

УДК 550.34.09

ЛИТОСФЕРНЫЕ МАГНИТНЫЕ АНОМАЛИИ ПОЛЯРНОЙ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА СНАМР

© 2024 г. Д. Ю. Абрамова^{1, *}, Л. М. Абрамова^{2, **}

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова (ИЗМИРАН), Москва, Троицк, Россия

²Центр геоэлектромагнитных исследований Института физики Земли
им. О.Ю. Шмидта РАН (ЦГЭМИ ИФЗ РАН), Москва, Троицк, Россия

*e-mail: f.step2014@mail.ru

**e-mail: labramova@igemi.troitsk.ru

Поступила в редакцию 12.10.2023 г.

После доработки 11.01.2024 г.

Принята к публикации 25.01.2024 г.

Изучение глубинного строения и тектоники Арктического региона актуально не только для решения фундаментальных проблем современной геодинамики, но и в контексте освоения природных ресурсов приполярных областей, а также представляет интерес с геополитической точки зрения при определении границ шельфов окраинных морей. Для анализа аномального магнитного поля в регионе Полярной Арктики были использованы экспериментальные данные спутника СНАМР, полученные на последнем этапе его работы, когда высота орбиты понизилась до 280–260 км, что позволило получить геомагнитные параметры с более высоким пространственным разрешением. Для нескольких секторов Полярной Арктики построены карты распределения поля литосферных магнитных аномалий различных масштабов и степени осреднения по площади. Проведен анализ параметров аномалий, предложено объяснение геологической и физической природы аномалий, являющихся образами наиболее значимых геолого-тектонических структур Северо-Атлантической магматической провинции и комплекса Центрально-Арктических подводных поднятий. Обсуждаются связи обнаруженных особенностей распределения литосферного аномального магнитного поля с известными геологическими структурами Америки и Евразии и протекавшими здесь в прошлом и протекающими в настоящее время тектоническими процессами. Полученные результаты представляют интерес для дальнейших комплексных геолого-геофизических исследований и построения обоснованных моделей эволюции литосферы Арктического региона.

DOI: 10.31857/S0016794024040116, EDN: RSPZQJ

1. ВВЕДЕНИЕ

Полярная Арктика является исключительно важным регионом для понимания глубинного строения и истории формирования Мирового океана и Земли в целом. Необходимость геолого-геофизического изучения ее территории диктуется практическими задачами, связанными с разведкой месторождений нефти и газа и их дальнейшим освоением, а также геополитической потребностью разграничения особых экономических зон арктических шельфовых областей [Конторович и др., 2010]. Несмотря на сложности и высокую стоимость проведения полевых работ в этом труднодоступном северном регионе, российские ученые еще в начале 80-х годов прошло-

го столетия смогли провести и обобщить результаты аэромагнитной съемки практически всей акватории Северного Ледовитого океана [Карасик, 1980], что позволило составить представление не только о магнитных неоднородностях земной коры, но и о глубинном строении литосферы. В последние десятилетия теоретические и экспериментальные исследования Полярной Арктики развиваются быстрыми темпами, причем полученные результаты указывают на гораздо более сложную структуру арктической литосферы, чем считалось ранее [Глебовский, 2002; Mosher et al., 2012; Петрова и др., 2022].

Начиная с 2005 года несколькими национальными организациями России, Швеции, Финлян-

дии, Дании, США, Канады и Норвегии в рамках совместного проекта были проведены работы по сбору и систематизации геофизических и геологических данных для региона Полярной Арктики. Проект был направлен на создание атласа геолого-геофизических цифровых карт масштаба 1: 5 000 000 для области полярной шапки, ограниченной параллелью 60° N [Gaina et al., 2014]. Эти исследования показали, что вплоть до настоящего времени в Полярном Арктическом регионе продолжают развиваться геодинамические процессы тектонической активизации различного масштаба: от активного спрединга морского дна в Северной Атлантике и Евразийском бассейне до процессов субдукции плит в Северной части Тихого океана.

Учитывая, что различные области земной коры характеризуются контрастом плотности минералов и степенью намагниченности слоев, оказалось достаточно практичным использовать в комплексе с имеющимися геофизическими данными измерения аномального магнитного поля (АМП) литосферы. Причем одним из наиболее дешевых и доступных методов для этих труднодоступных территорий является именно спутниковая магнитная съемка, существенным преимуществом которой является возможность анализа и интерпретации огромных массивов данных и построения магнитных карт на различных уровнях наблюдений над земной поверхностью в регионах, где отсутствуют приземные измерения. Нужно отметить, что возможности анализа параметров литосферных магнитных аномалий (ЛМА) серьезно расширились после запуска в 2000 г. германского искусственного спутника Земли CHAMP, поставившего в течение более 10 лет высокоточные геомагнитные данные практически в масштабе реального времени [Reigber et al., 2002].

Пространственное распределение поля литосферных магнитных аномалий определяется структурой магнитоактивного слоя, поскольку именно в нем сосредоточены его источники. Магнитное поле контролируется степенью концентрации магнитных минералов в коре и верхней мантии и может использоваться как маркер для определения их структуры и состава [Nemant and Maus, 2005]. АМП отражает современное положение тектонических структур и их физические свойства, в связи с чем может быть использовано для установления различий типов коры и выделения зон тектонической активизации, например, таких, как Северо-Атлантическая магматическая провинция Арктики. Карты аномального магнитного поля полезны при исследовании вза-

имодействия литосферных плит с мантией, поскольку процессам сжатия и растяжения земной коры, сопровождаемым крупномасштабным вулканизмом, свойственны различные особенности магнитных полей [Roest et al., 1995; Bokelmann, Wustefeld, 2009]. Магнитные аномалии предоставляют возможность исследовать закономерности распределения магнитных неоднородностей в глубинной структуре земной коры, как бы “просвечивая” древние платформы [Nemant and Maus, 2005].

Таким образом, использование геомагнитных экспериментальных данных позволяет фиксировать тектонические границы различного вида, а именно, между континентальной и океанической зонами, между океаническими блоками с различной полярностью намагниченности и т.п. Целью данного исследования было изучение генетических связей ЛМА, полученных по данным спутниковых измерений магнитного поля в регионе Полярной Арктики, с известными геологическими структурами и протекающими здесь тектоническими процессами. Вопрос представляется достаточно актуальным, поскольку если тектоническая природа Северо-Атлантической магматической провинции в настоящее время не вызывает сомнений, то в отношении прилегающих структур Амеразии и Евразии такого согласия нет. Полученный авторами опыт исследования спутникового литосферного поля над территориями других тектонически активных областей, таких как Эфиопское плато, Тарим, Исландия [Абрамова и Абрамова, 2021; Абрамова и Абрамова, 2022; Абрамова и др., 2022], позволяет надеяться на успешное решение поставленной задачи.

2. ВЫДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ ЛИТОСФЕРНЫХ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ ИЗ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Для анализа аномального магнитного поля региона Полярной Арктики были использованы геомагнитные данные спутника CHAMP, полученные на последнем этапе его работы в 2010 году, когда высота его полета над поверхностью Земли снизилась до 280–260 км. Это позволило за счет “приближения” уровня измерений к источникам поля получить более высокие (примерно в 2 раза) значения амплитуд модуля полного вектора геомагнитного поля (T) и ортогональных векторных компонент (X , Y , Z), чем на стандартной высоте полета 450 км. Точность измерений модуля скалярным магнитометром OVM составляла ± 0.5 нТл, компонент феррозондовым FGM — ± 3 нТл. По

времени данные имеют секундное разрешение, что составляет в пространстве ~ 7 км.

Следует отметить, что анализ аномального магнитного поля в высоких геомагнитных широтах, кроме технических сложностей, имеет серьезные геофизические ограничения, поскольку наблюдения проводятся в области влияния сложных динамических ионосферных токовых систем, искажающих экспериментальные данные. Соответственно, для преодоления указанных ограничений с целью повышения надежности результатов обработка спутниковых данных проводилась с использованием усложненной методики. Значительная часть измерений ($\sim 35\%$), отобранных из базы данных СНАМРа для рассматриваемого региона, была отбракована по причине выявленных искажений локальными и региональными магнитными возмущениями, связанными с ионосферно-магнитосферными субполярными эффектами.

Несмотря на искажающее влияние, для Полярной Арктики удалось сформировать обширную базу данных ЛМА за 7 месяцев работы СНАМР в 2010 г. Количество данных, использованных для анализа поля, составило 10000 – 12000 значений каждой компоненты. Надежность построений пространственного распределения поля ЛМА обеспечивалась путем сравнения полученных карт для нескольких независимых наборов спутниковых данных. Сравнение рассчитанных вариантов подтвердило достаточно надежное воспроизведение структуры пространственного распределения поля магнитных аномалий.

Геомагнитное поле на спутниковых высотах является сложной функцией пространства и времени. Основная проблема при проведении анализа и выделении части, связанной с литосферным полем, состоит в корректном исключении из измеренного спутником суммарного магнитного поля составляющих, связанных с другими физическими источниками: главного поля, генерируемого в жидкой части земного ядра; полей от токов в проводящих слоях земной коры и верхней мантии; внешних полей магнитосферно-ионосферных токовых систем. Эта проблема решается с использованием технологии выделения параметров поля ЛМА из суммарного геомагнитного поля, измеренного на спутнике, опубликованной ранее [Abramova and Abramova, 2014], которая была скорректирована и усовершенствована применительно к особенностям изучаемого полярного региона.

Известно, что спутниковые наблюдения малочувствительны к поверхностным структурам, т.к. мелкие локальные аномалии, расположенные

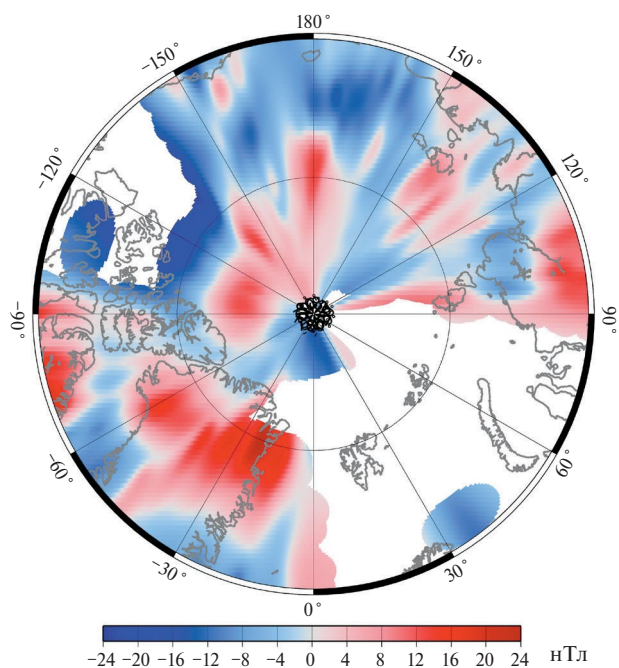


Рис. 1. Пространственное распределение поля ЛМА (литосферного аномального магнитного поля T_a) над Полярной Арктикой на уровне орбиты спутника ~ 260 – 280 км.

в верхних слоях земной коры, с увеличением расстояния от источника подавляются быстрее крупных региональных. Размеры выделяемых литосферных магнитных аномалий соотносимы с высотой съемки – измерение геомагнитного поля на спутниковых высотах является аналогом “фильтра низких частот”. Таким образом, на высоте орбиты спутника 260–280 км в магнитном поле будут отражаться структуры с горизонтальными размерами ~ 130 – 150 км, т.е. порядка половины пространственной длины волны. Более мелкие аномалии на получаемых картах АМП неразличимы.

На рис. 1 показана сводная карта аномального магнитного поля T_a , скомпилированная для рассмотренных секторов Арктического региона, ограниченного параллелью 70° N. Расчет параметров АМП по данным спутника СНАМР в области полярной шапки проводился по нескольким секторам, анализ которых приводится ниже. Все карты ЛМА построены с использованием средств GMT [Wessel and Smith, 2007].

3. КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМОГО РЕГИОНА

Гипотезы, предлагаемые для объяснения происхождения и строения Полярной Арктики, зача-

инам Северного Ледовитого океана, где в настоящее время они представляют собой террейны и микроплиты, включенные в складчатые пояса или покрытые отложениями. Строение дна Северного Ледовитого океана, состоящего из молодых и древних океанических бассейнов и разбросанных среди них континентальных блоков, в настоящее время вызывает неподдельный интерес научного сообщества. Вопрос о том, к континентальному или океаническому типу относится земная кора этого региона, до сих пор является объектом постоянно продолжающихся дискуссий. Существование реликтов древней платформы в пределах Северного Ледовитого океана, изменившей свою форму в ходе тектонических процессов, подтверждается геофизическими исследованиями. Соответственно предполагается, что кора хребтов Ломоносова, Альфа и Менделеева построена породами континентального типа [Vogt et al., 1979; Grantz et al., 2001; Поселов и др., 2002; Филатова и Хаин, 2007; Артюшков, 2010].

4. ЛИТОСФЕРНЫЕ МАГНИТНЫЕ АНОМАЛИИ НАД ОБЛАСТЬЮ СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОЙ МАГМАТИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Определяющими источниками тектонического развития Полярной Арктики, как было отмечено выше, являлись мощное воздействие Исландского мантийного плюма и спрединг в северной части Атлантики. Результаты этих процессов не могли не отразиться в современном распределении поля ЛМА над рассматриваемой областью, в частности, построенном с использованием данных наблюдений спутника CHAMP. Рассмотрим подробнее полученное распределение на примере литосферного аномального магнитного поля T_a на высоте ~ 280 км над сектором NAIP в зоне перехода северной части акватории Атлантического океана к Северному Ледовитому океану (рис. 3). При построении использовано медианное осреднение по площади 80×80 км [Wessel, Smith, 2007].

Для океанической части изучаемой области (восточнее побережья острова Гренландия, обозначенного извилистой линией) характерны пониженные, над срединно-океаническим хребтом в полосе меридиана 350° W переходящие в отрицательные, значения аномального поля. Полученный результат хорошо согласуется с имеющимися геофизическими представлениями о влиянии спрединговых процессов на состояние литосферы: вследствие активных процессов разогрева астеносферы происходит потеря магнитных свойств [Alvey et al., 2008; Artemieva and Thybo, 2013].

Остров Гренландия, напротив, по данным современных сейсмических исследований является участком прочной континентальной литосферы, прежде всего докембрийского возраста. Наиболее тонкой корой характеризуется восточный край Гренландии, что предположительно обусловлено прохождением здесь в геологическом прошлом Исландского плюма [Lawver and Müller, 1994; Gaina et al., 2014]. Следует заметить, что $\sim 80\%$ поверхности острова, за исключением прибрежной области шириной ~ 300 км, покрыто толстым, до 3400 м, ледяным щитом, что препятствует получению точных сейсмических оценок [Alley et al., 2010].

Геометрия полученных региональных магнитных спутниковых аномалий (рис. 3) вполне согласуется с этими представлениями. Так, вся северная часть Гренландии характеризуется положительными значениями магнитного поля. Причем, достижение амплитудой аномального магнитного поля значений около 30 нТл на высоте ~ 280 км над геоидом свидетельствует о значительной величине источника данной ЛМА. Такой тип магнитных аномалий соответствует

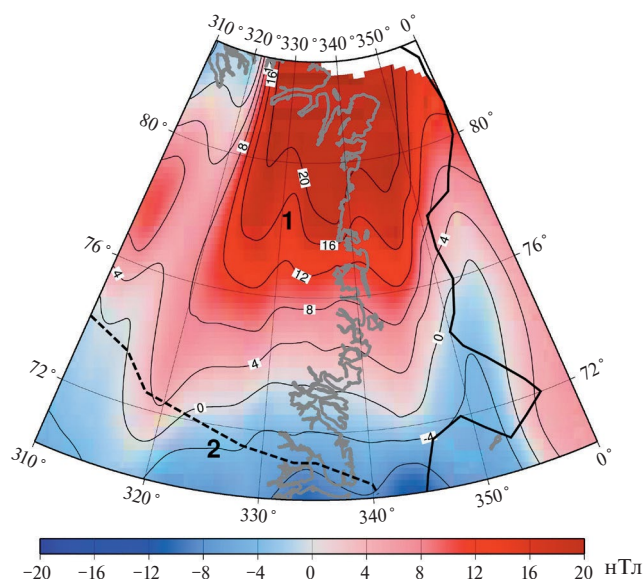


Рис. 3. Пространственное распределение поля ЛМА (T_a) на высоте ~ 280 км над территорией Центральной и Северной Гренландии и прилегающей акваторией Атлантического океана. Жирная сплошная линия — положение Срединно-Атлантического хребта, пунктир — предполагаемая траектория прохождения Исландского плюма. Цифрами обозначены: 1 — положительная ЛМА; 2 — зона отрицательных значений магнитного поля, обусловленная последствиями прохождения Исландского плюма.

природе древней архейской континентальной коры [Nemant and Maus, 2005]. Четко выраженная южная окраина рассматриваемой положительной аномалии проходит в ЮЗ – СВ направлении через территорию Центральной Гренландии, что практически точно совпадает с зоной предполагаемого раздела архейской и протерозойской её частей [Lawver and Müller, 1994; Henriksen, 2008].

Обширная область отрицательных значений T_a в центральной части Гренландии продолжается на восток в сторону Срединно-Атлантического хребта. Известно, что на востоке Центральной Гренландии и в центральной части ее западного побережья преобладает третичный вулканизм, что, как правило, связывается с процессами спрединга, протекавшими в Северной Атлантике в позднем палеоцене [Allen et al., 2002].

Между 60.5 и 54.5 млн лет назад Гренландская плита начала расходится с Северо-Американской плитой, в результате этого процесса в Северной Атлантике была повышенная вулканическая активность — третья по мощности за последние 150 млн лет. Происходили обширные излияния лавы, особенно в Восточной Гренландии, которая в палеогене примыкала к Британии.

Томографическими исследованиями [Jakovlev et al., 2012] как раз в этой области выделена низкоскоростная аномалия, которая, весьма вероятно, отражает свойства литосферы, предположительно частично разрушенной Исландским плюмом. Поскольку земная кора растягивалась над горячей точкой мантии под воздействием напряжения, вызванного рифтогенезом плит, эта область пониженных значений сейсмических скоростей совпадает также с положением зоны аномального увеличения теплового потока и повышенной скоростью таяния льдов [Fahnestock et al., 2001]. Повышенный тепловой поток, в свою очередь, вызывает поднятие изотермической поверхности Кюри магнетита, приводя к уменьшению мощности магнитоактивного слоя, что приводит к понижению наблюдаемых значений аномального магнитного поля и объясняет существование отрицательной ЛМА в центральной части Гренландии.

Таким образом, пространственное распределение аномального магнитного поля корректно отражает суперпозицию процессов спрединга и магматической деятельности, протекающих в рассматриваемом регионе, причем не только непосредственно вдоль оси Срединно-Атлантического хребта, но и по периферийным ответвлениям, что дает возможность рассматривать

карты ЛМА в качестве образов последствий тектонических процессов, проходивших и развивающихся в регионе NAIP.

5. ЛИТОСФЕРНЫЕ МАГНИТНЫЕ АНОМАЛИИ НАД ОСНОВНЫМИ ТЕКТОНИЧЕСКИМИ СТРУКТУРАМИ АМЕРАЗИИ

Топография и батиметрия Северного Ледовитого океана (СЛО) отражает сложное блочное строение его коры и литосферы. Поскольку покрытые льдом акватории Арктических бассейнов труднодоступны, слабо изучены, представления об эволюции верхней мантии, кристаллической коры и осадочного чехла развиваются медленнее, чем для незамерзающих океанических бассейнов. Наряду с шельфовыми участками окраинных морей с корой континентального типа, существование реликтов древней платформы подтверждается геофизическими исследованиями [Поселов и др., 2002; Филатова и Хаин, 2007; Артюшков, 2010] в пределах глубоководных частей СЛО. Определенной частью исследователей предполагается, что и кора положительных форм рельефа дна океана: хребтов Ломоносова, Менделеева, Альфа, представлена породами континентального типа [Vogt et al., 1979; Grantz et al., 2001; Артюшков, 2010]. В работе [Лаверов и др., 2013] сделано предположение, что структуры литосферы Центральной Арктики, расположенные в глубоководной части СЛО, принадлежат к фрагменту литосферы древнего континента Арктиды, сохранившего тектоническую связь с континентальными окраинами Евразии и Северной Америки. Соответственно, эти окраины имеют непосредственное продолжение в глубоководную часть СЛО, а провинция Центрально-Арктических поднятий и бассейнов представляет собой сохранившийся фрагмент разрушенного в ходе геологической эволюции палеоконтинента Арктиды и является естественным компонентом этих окраин.

Тем не менее, вопрос о генезисе и природе земной коры этой территории: является ли она континентальной или океанической — и поныне не имеет однозначного ответа. Использование измерений аномального литосферного поля в комплексе с другими геофизическими данными, как было показано выше, может внести свой вклад в изучение этого вопроса.

С этой целью для приполярного сектора акватории СЛО со стороны Амеразии по магнитным измерениям спутника CHAMP в 2010 г. были построены карты пространственного распределения поля ЛМА различных масштабов и степеней

осреднения. Необходимо отметить, что в силу наклона орбиты спутника СНАМР, данных, полученных в непосредственной близости от полюса, значительно меньше, чем в более низких широтах. Тем не менее, до широты 88° N покрытие измерениями оказалось достаточно плотным и равномерным. Это позволило рассчитать параметры аномального магнитного поля для изучаемого сектора 120° E – 140° W и 65° – 88° N с высокой степенью надежности (значения АМП были рассчитаны для нескольких независимых выборок данных и показали хорошую воспроизводимость результата). На рис. 4 приведен пример построенной карты T_a литосферного аномального магнитного поля (поля ЛМА) на высоте полета спутника. Применено медианное осреднение по блокам размером 80×80 км средствами GMT [Wessel and Smith, 2007].

Положительные и отрицательные магнитные сегменты различной формы и интенсивности на рис. 4 являются образами намагниченных структур, лежащих в нижних слоях земной коры. Пред-

ставляется интересным рассмотреть основные ЛМА в связи с геолого-тектоническими образованиями, к которым они топографически относятся, при этом принимая во внимание, что размеры и положение географических объектов на дне Северного Ледовитого океана могут значительно отличаться от соответствующих им глубинных структур литосферы.

5.1. Литосферные магнитные аномалии над хребтом Ломоносова

Хребет Ломоносова имеет протяженность 1800 км при ширине в пределах 50–150 км и как геологическая структура прослеживается от Новосибирских островов до Канадского архипелага, являясь двухсторонней континентальной границей, разделяющей между собой Евразийский и Американо-Азиатский бассейны (рис. 2). Ступенчатые и пилообразные профили рельефа в сочетании с крутизной склонов хребта свидетельствуют о блоковой тектонике, типичной для

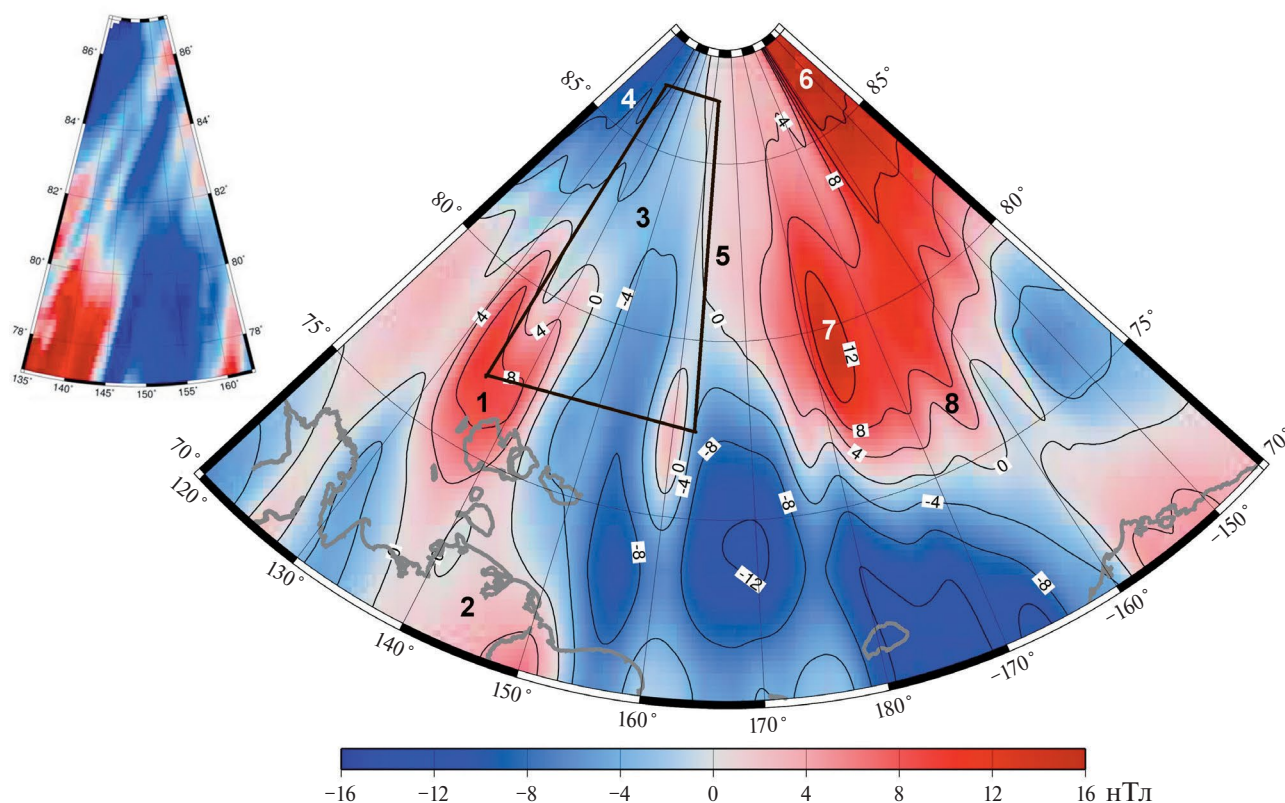


Рис. 4. Пространственное распределение поля ЛМА (T_a) на высоте ~280 км над акваторией Полярной Арктики. Цифрами обозначены: 1, 2, 3 – части ЛМА хребта Ломоносова и зоны его сопряжения с прилегающим шельфом; 4 – котловина Амундсена; 5 – котловина Подводников; 6 – хребет Альфа; 7 – поднятие Менделеева; 8 – поднятия Чукотского купола. На врезке слева – поле ЛМА для сектора 77–87° N; 135–163° E (контур выделен жирной линией), рассчитанное с меньшими параметрами осреднения.

континентальной коры. По геофизическим данным хр. Ломоносова представляет собой погружившийся блок континентальной коры древней платформы значительной мощности (до 28 км), переработанной в процессе тектономагматической активизации [Vogt et al., 1979; Grantz et al., 2001; Backman et al., 2008; Артюшков, 2010].

Полученная по спутниковым данным литосферная магнитная аномалия, топографически приуроченная к этой структуре, точнее, к части хребта Ломоносова, находящейся в восточном полушарии, состоит из нескольких сегментов разного знака и различной интенсивности (на рис. 4 обозначены цифрами 1, 2, 3).

Положительный сегмент аномалии (1) расположен в пределах сектора $\sim 73\text{--}80^\circ \text{ N}$ по широте и $\sim 130\text{--}140^\circ \text{ E}$ по долготе. Наиболее интенсивная его часть с амплитудой T_a литосферного аномального магнитного поля порядка 8–12 нТл в центральной области наблюдается к северу от Новосибирских островов в пределах широт $\sim 73\text{--}80^\circ \text{ N}$. При уменьшении степени осреднения (рис. 4, врезка слева) оказывается, что она не однородна, а распадается на несколько полос с субмеридиональным простираанием, максимальные амплитуды которых достигают значений $\sim 14\text{--}16$ нТл. Данный результат хорошо согласуется с современными представлениями о том, что вблизи сибирского шельфа хребет разбит на комплекс параллельных структур шириной до 200 км.

Ближе к матерiku к юго-восточной части рассмотренного сегмента примыкает континентальное продолжение (2) положительной ЛМА, также с достаточно большой для высоты 280 км амплитудой. Очевидно, что сегменты аномалии 1 и 2, несмотря на некоторое широтное смещение, имеют одинаковое простираание вдоль меридиана, соответствующее направлению хр. Ломоносова. Значительная для такой высоты измерения магнитного поля величина амплитуд T_a полученных аномалий свидетельствует о том, что источники в нижней коре, магнитными образами которых они являются, залегают достаточно глубоко и обладают большой мощностью магнитоактивного слоя. Из этого также следует, что изотермическая поверхность Кюри магнетита залегает здесь на значительной глубине. Обнаружение южного “материкового” сегмента (2) ЛМА свидетельствует в пользу существующих гипотез о том, что в области сопряжения с Евразией подножие и склон хребта Ломоносова морфологически связаны с ее континентальной окраиной, и указывает на их генетическую связь. Таким образом, хр. Ломоносова, по крайней мере, в восточном полушарии, должен рассматриваться как естественное про-

должение континентальной окраины. Этот результат, полученный по геомагнитным данным, вносит существенный вклад в изучение глубинного строения хр. Ломоносова и важен для понимания природы генезиса шельфовой зоны этого труднодоступного приполярного региона.

К северу от интенсивного положительного сегмента (1) на рис. 4 амплитуды поля ЛМА понижаются до нулевых значений и, начиная с широты 82° N , становятся отрицательными (3). Простираание хр. Ломоносова, который в области $83^\circ\text{--}84^\circ \text{ N}$ поворачивает к северо-востоку и далее в рассматриваемом диапазоне широт продолжается на север практически вдоль меридиана 150° E , прослеживается в области отрицательных значений достаточно чётко, в особенности при расчете параметров ЛМА с меньшим осреднением.

Западнее хребта Ломоносова на карте ЛМА выделяется ярко выраженная область отрицательных значений магнитного поля (4), приуроченная к котловине Амундсена.

Котловина Амундсена на значительной части своей площади представляет собой глубоководное дно, образовавшееся, как принято считать, в кайнозойское время за счёт прироста океанической коры в осевой зоне срединно-океанического хребта Гаккеля. Мощность кристаллической коры в котловине Амундсена оценивается равной 9 км. Отрицательные значения аномального магнитного поля обусловлены уменьшением мощности магнитоактивного слоя ввиду высокого положения нагретой астеносферы, а, следовательно, подъемом изотермической поверхности Кюри магнетита, что соответствует представлениям об океаническом типе коры этой структуры.

Котловина Подводников представляет собой обширную депрессию, расположенную между хребтом Ломоносова и системой поднятий дна Менделеева — Альфа. Котловина имеет континентальную кору толщиной 19–20 км, утонённую в результате меловых рифтогенных процессов. Этой области (5) соответствуют низкие, практически нулевые значения АМП, причиной которых является утонение земной коры и поднятие поверхности изотермы Кюри.

5.2. Литосферные магнитные аномалии над акваторией хребта Альфа

Наиболее интенсивной и самой большой по площади положительной аномалией литосферного поля на рассматриваемой акватории является область поднятия Менделеева (7) и примыкающего к нему хребта Альфа (6) (рис. 4), которые большинство исследователей относят

к единой морфоструктуре. Это предположение вполне подтверждается полученным по данным СНАМРа распределением поля: соответствующая магнитная аномалия выглядит практически как единый объект со значениями амплитуды T_a литосферного аномального магнитного поля, достигающими на высоте 280 км до 20 нТл, что свидетельствует о значительных размерах и намагниченности ее источника.

Хребет Альфа к настоящему времени достаточно хорошо исследован геологическими и геофизическими методами: он подстилается мощной корой от 20–25 км до 40 км [Asudeh et al., 1988]. Такие структуры принято связывать с выплавлением базальтовых магм из крупных мантийных плюмов, поступивших к океанической литосфере с большой глубины вблизи осей спрединга [MacLennan et al., 2001; Sobolev et al., 2007]. Однако, по крайней мере в отношении южной части хр. Альфа и области между ней и хр. Ломоносова, существует альтернативное мнение: по результатам анализа данных аэромагнитной съемки ряд исследователей [Døssing et al., 2013; Gaina et al., 2014] предполагают формирование здесь в мезозое сильно ослабленной континентальной коры. Гравиметрические данные также не дают однозначного ответа на вопрос определения типа коры в этой области [Alvey et al., 2008].

В работе [Døssing et al., 2013] были проанализированы материалы аэромагнитной съемки на площади 550 000 км² в районе слабо исследованной части хребта Ломоносова около Гренландии и прилегающих бассейнов Амеразии и Евразии. Эти результаты дали первое прямое доказательство подобия особенностей и согласованности параметров линейных магнитных аномалий поднятия Альфа и хребта Ломоносова, что позволяет сделать выводы об общности тектонической природы бассейна Амеразии и Северо-Атлантической магматической провинции.

Весьма значимым результатом явилось обнаружение над южной оконечностью хр. Альфа крупной региональной положительной магнитной аномалии в форме кольца с максимальными значениями амплитуды более 500 нТл, окружающего зону пониженных значений поля в центре структуры (обозначено буквой *E* на рис. 5а).

Батиметрия, связанная с кольцевой аномалией, представляет собой самую мелкую часть хребта и имеет форму вулканического сооружения. Эта ЛМА диаметром 300 км является самой интенсивной магнитной аномалией бассейна Амеразии и прослеживается на различных подборках магнитных данных даже с низкой степенью разрешения. Основываясь на данных сейсмического профилирования, имеющихся для

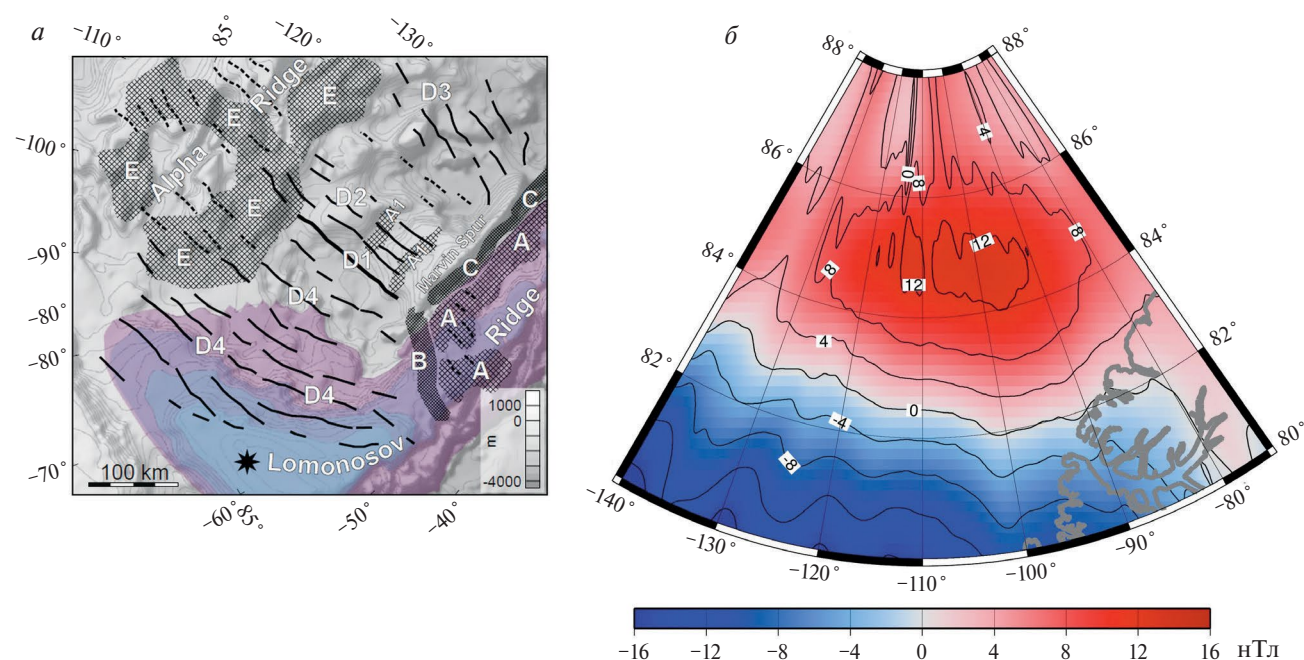


Рис. 5. Кольцевая магнитная аномалия над южной оконечностью хр. Альфа: (а) — интерпретация аэромагнитных аномалий [Døssing et al., 2013]; (б) — T_a литосферного аномального магнитного поля по данным спутника СНАМР на высоте 260 км.

южной оконечности кольцевой аномалии, с учетом морфологии региона авторы работы связывают ее с верхней корой и интерпретируют как вулканические экстрезии.

Спутниковые наблюдения малочувствительны к поверхностным структурам: скорость затухания амплитуды магнитных аномалий с высотой, в первую очередь определяется параметрами источников литосферных аномалий: чем больше глубина залегания намагниченного тела и его вертикальные и горизонтальные размеры, тем она меньше. Таким образом, в пространственном распределении поля ЛМА, построенном по геомагнитным данным спутника, естественным образом должны проявиться аномалии, вызванные крупномасштабными структурами, которые залегают на больших глубинах в низах земной коры [Nemant and Maus, 2005]. Представляется интересным выяснить, имеет ли источник этой оригинальной аномалии продолжение в нижней части земной коры, отклик от которого должен быть виден в геомагнитных измерениях на спутниковых высотах.

С этой целью по экспериментальным данным спутника CHAMP, полученным в июле–августе 2010 г., были дополнительно рассчитаны параметры поля ЛМА над территорией, ограниченной координатами 75° – 140° W, 80° – 88° N. На рис. 5б показано распределение аномального литосферного магнитного поля T_a для указанного сектора на высоте 260 км. При построении карты использовано медианное осреднение по блокам размером 40×40 км средствами GMT [Wessel and Smith, 2007].

Очевидно, что изолированная положительная ЛМА с амплитудой ~ 15 нТл и положением центра $\sim 105^{\circ}$ W/ 85° N, выделенная по измерениям спутника CHAMP, четко фиксируется над той же областью южной оконечности поднятия Альфа. Достаточно высокие для такой высоты измерений значения амплитуды поля и изометричная, практически круговая форма аномалии свидетельствуют о значительных размерах и однородности ее источника в нижней части земной коры. Размеры глубинной ЛМА по широте и долготе примерно составляют ~ 400 км в центральной, более интенсивной части, и ~ 700 км в целом, что существенно больше размеров кольцевой аномалии Е (рис. 5а) в верхней части коры. Данный факт не является противоречием, а лишь подтверждает, что вулканическое сооружение, продуцирующее литосферную аномалию, рассчитанную по аэромагнитным данным, которые фиксируют магнитное поле в верхних слоях земной коры, имеет в нижних слоях литосферы глубокие и мощные корни.

Основываясь на своих построениях, авторы работы [Døssing et al., 2013] полагают, что кольцевая аномалия над возвышенной областью хребта Альфа отмечает возможное местоположение мантийного плюма Северо-Атлантической магматической провинции и максимальной выпуклости земной коры. Полученный результат ставит под сомнение представление о хр. Альфа как о полностью мощном океаническом плато, которое сформировалось когда материал магматической провинции LIP (*large igneous province*) извергался на существующую океаническую кору возрастом 131–127.5 млн лет. Вместо этого, по крайней мере, южная часть хр. Альфа, а также большая часть акватории между хребтами Ломоносова и Альфа, по-видимому, подстилается сильно ослабленной и подвергшейся интрузивному вулканизму континентальной корой, то есть этот район может быть фрагментом (или фрагментами) вулканически пассивной окраины, образованной полифазным континентальным разломом с добавлением LIP вулканизма.

Вид ЛМА, полученной по данным спутника CHAMP, типичен для образов древних мантийных плюмов, рассмотренных нами ранее над различными территориями: древний мантийный плюм отражается в литосферном магнитном поле как конформная положительная аномалия значительной амплитуды [Абрамова и Абрамова, 2021; Абрамова и др., 2022].

Большие пространственные размеры обнаруженной региональной аномалии и высокие значения аномального магнитного поля на площади всей ее центральной части свидетельствуют о том, что вещество нижней части коры в этой области обладает достаточной намагниченностью, то есть литосфера здесь мощная и холодная. Можно предположить, что природа таких аномалий объясняется тем, что в областях, где при прохождении плюмов происходили процессы мощной тектонической активизации, под активные области были погружены отдельные микроплиты (микроконтиненты) разрушавшейся континентальной коры с высокими значениями намагниченности.

Таким образом, распределение литосферного аномального поля, полученное в настоящей работе по спутниковым данным для акватории южной части хр. Альфа, подтверждает гипотезу формирования данного тектонического региона [Døssing et al., 2013], интерпретирующую аномалию в форме кольца как центр мантийного плюма в предположении, что выраженная интрузивная активность, связанная с мантийным плюмом хребта Альфа, имела место задолго до позднего мела

и вызвала континентальный распад в северной части бассейна Америки.

5.3. Литосферные магнитные аномалии над акваторией поднятия Менделеева

Регион поднятия Менделеева изучен значительно слабее.

Поднятие Менделеева представляет собой крупную положительную морфоструктуру дна субпараллельную хребту Ломоносова (рис. 2). Поднятие протягивается в северном направлении более чем на 700 км, сужаясь от 450 км около шельфа Восточно-Сибирского моря до 150–200 км перед смыканием с хребтом Альфа.

В распределении поля ЛМА, полученном нами по данным СНАМРа (рис. 4), положение хребта Менделеева трассируется вытянутой в меридиональном направлении положительной аномалией (7) высокой интенсивности, что указывает на существование в нижней части земной коры магнитоактивного слоя большой мощности и глубокого положения изотермической поверхности Кюри магнетита. В то же время нельзя не отметить, что область положительных значений литосферного магнитного поля, ограниченная изолиниями 0–4 нТл в приполярном секторе 170° E – 140° W, рассматриваемая в целом, выглядит, скорее, как единая структура значительных размеров с достаточно высокой (принимая во внимание высоту наблюдений) амплитудой аномального магнитного поля на всей ее площади, и территориально приурочена к арктическим поднятиям Менделеева и Альфа.

Поднятие Менделеева характеризуется значительной мощностью земной коры с глубиной залегания границы Мохо около 34 км. Lawver et al. [2002] полагают, что эта структура с сильно повышенной мощностью коры представляет собой след на океанической коре горячего пятна, с которым были связаны мощные излияния траппов на Сибирской платформе. При этом большинством исследователей поднятия Менделеева и Альфа относятся к единой структуре в контурах крупной положительной магнитной аномалии и сложены корой континентального типа.

Магнитные параметры этой структуры, отражающие повышенную намагниченность земной коры, не противоречат результатам гравитационного 3D-моделирования [Глебовский и др., 2013], согласно которому эти поднятия представлены единым блоком с корой, утолщенной до 32 км. На континентальный тип земной коры поднятия Менделеева указывают также результаты сейсми-

ческого профилирования по широте 82° N [Lebedeva-Ivanova et al., 2006].

Южнее крупного сегмента положительных значений аномального поля наблюдается обширная область отрицательных значений амплитуды T_a , простирающаяся до континентальной области Евразии. На поднятиях Чукотского плато (8), представляющего собой выдвинутый в сторону глубоководного бассейна фрагмент континентальной окраины, амплитуда ЛМА снижается с севера на юг с 9 до 0 нТл. Такой результат выглядит противоречиво, принимая во внимание, что Чукотское плато по современным представлениям рассматривается как относительно неглубоко погруженный аваншельфовый выступ континентальной коры со значительной мощностью (~34 км).

Уменьшение значений амплитуды магнитных аномалий в южном направлении связаны, по-видимому, с дополнительным прогревом литосферы в регионе, что вызывает изменение положения изотермической поверхности Кюри магнетита и потерю корой магнитных свойств. Подтверждением протекания таких процессов под Чукоткой, Якутией и Аляской служит обнаружение по данным сейсмической томографии [Яковлев и др., 2012] обширных областей низкоскоростных аномалий, отражающих присутствие относительно тонкой сильно деформированной пластичной литосферы, а также очагов современного вулканизма Якутии и прилегающих шельфов с вероятно мантийной природой.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние десятилетия эффективность использования для изучения глубинного строения Земли данных литосферного аномального магнитного поля уже не вызывает сомнений, поскольку именно в коре и верхней мантии до глубин, где температура достигает температуры точки Кюри, расположены источники этой части геомагнитного поля.

В процессе предыдущих исследований авторами накоплен большой опыт использования спутниковых измерений для анализа пространственного распределения аномального магнитного поля, в том числе в высоких геомагнитных широтах, где кроме технических сложностей обработки имеются серьезные геофизические ограничения, поскольку наблюдения проводятся в области влияния сложных динамических ионосферных токовых систем, искажающих экспериментальные данные. Использование специальных подходов позволило сформировать обширную базу данных ЛМА для региона Полярной Арктики за

7 месяцев работы спутника CHAMP в 2010 г. и построить достаточно подробные карты распределения регионального литосферного магнитного поля, отражающие положение основных тектонических элементов рассматриваемой области.

Распределение аномалий геомагнитного поля, приведенное для литосферного аномального магнитного поля T_a на высоте 280 км над уровнем моря, как и следовало ожидать, демонстрирует те же общие тенденции, что и глобальные модели глубинного строения дна Северного Ледовитого океана, не противоречит другим известным параметрам литосферы исследуемого региона (мощности земной коры и литосферы, гравиметрическим и сейсмическим данным), и при этом характеризуется хорошей детализацией.

Полученные результаты подтверждают, что поле региональных литосферных магнитных аномалий Полярной Арктики представляет собой сложный комплекс положительных и отрицательных структур различной формы и амплитуды, что обусловлено тектоническим строением дна Северного ледовитого океана, состоящего из молодых и древних океанических бассейнов и континентальных блоков, разбросанных среди них. В современном распределении поля ЛМА над рассматриваемой областью можно наблюдать последствия тектонических процессов, проходивших ранее и развивающихся в настоящее время. В частности, пространственное распределение, построенное по данным CHAMP, корректно отражает суперпозицию процессов спрединга и магматической деятельности, протекающих в Северо-Атлантической магматической провинции, причем не только непосредственно вдоль оси Срединно-Атлантического хребта, но и по периферийным ответвлениям. В дискуссионном вопросе о происхождении и природе земной коры в области комплекса Центрально-Арктических подводных поднятий (к какому типу она относится) полученный результат свидетельствует в пользу гипотезы континентального типа. Подтверждением служит обнаружение в нижних слоях литосферы над южной оконечностью хр. Альфа мощной положительной аномалии, являющейся образом корней магнитной аномалии в форме кольца, связанной с верхней корой. Эта ЛМА диаметром 300 км является самой интенсивной магнитной аномалией бассейна Амеразии и прослеживается на различных подборках магнитных данных даже с низкой степенью разрешения.

Работа показывает перспективность использования спутниковых наблюдений геомагнитного поля для более детального изучения региональной тектоники, глубинного картирования неоднород-

ностей коры и верхней мантии, в особенности, в труднодоступных регионах, с целью построения геофизически обоснованных моделей эволюции литосферы и создания нового поколения карт прогноза скрытых месторождений.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена за счёт бюджетных средств Российской Федерации в рамках плановых заданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамова Л.М., Абрамова Д.Ю. Отражение процессов мантийного плюмового магматизма в литосферных магнитных аномалиях, полученных по данным спутника CHAMP // Исслед. Земли из космоса. № 4. С. 3–14. 2021. <https://doi.org/10.1134/S0001433821120021>
- Абрамова Л.М., Абрамова Д.Ю. Аномальное литосферное магнитное поле горячей точки Эфиопия/Афар (по данным миссии спутника CHAMP) // Исслед. Земли из космоса. № 5. С. 20–29. 2022. <https://doi.org/10.1134/S0001433822120027>
- Абрамова Д.Ю., Филиппов С.В., Абрамова Л.М., Вареницов И.М. Литосферные магнитные аномалии над территориями крупных магматических провинций // Геофизические процессы и биосфера. № 1. С. 33–42. 2022. <https://doi.org/10.1134/S0001433822100012>
- Артюшков Е.В. Континентальная кора на хребте Ломоносова, поднятии Менделеева и в котловине Макарова. Образование глубоководных впадин в неогене // Геология и геофизика. Т. 51. № 11. С. 1515–1530. 2010.
- Глебовский В.Ю. Цифровые базы данных и карты потенциальных полей Северного Ледовитого океана / В.Ю. Глебовский, А.В. Зайончек, В.Д. Каминский, С.П. Машенков // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. СПб. С. 134–141. 2002.
- Глебовский В.Ю., Астафурова Е.Г., Черных А.А., Корнева М.С., Каминский В.Д., Поселов В.А. Мощность земной коры в глубоководной части Северного Ледовитого океана: результаты 3-D гравитационного моделирования // Геология и геофизика. Т. 54. № 3. С. 327–344. 2013.
- Карасик А.М. Основные особенности истории развития и структуры дна Арктического бассейна по аэромагнитным данным // Морская геология, седиментология, осадочная петрография и геология Океана. Л.: Недра. С. 178–193. 1980.
- Конторович А.Э., Эпов М.И., Буриштейн Л.М., Каминский В.Д., Курчиков А.Р., Малышев Н.А., Прищепина О.М., Сафронов А.Ф., Ступакова А.В., Супруненко О.И. Геология, ресурсы углеводородов шельфов Арктических морей России и перспективы их освоения // Геология и геофизика. Т. 51. № 1. С. 7–17. 2010.
- Лавров Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В. и др. Геодинамическая модель развития Арктического бассейна и примыкающих территорий для мезозоя и кайнозоя и внешняя граница континентального шельфа

- России // Геотектоника. № 1. С. 3–35. 2013. <https://doi.org/10.7868/s0016853x13010050>
- Петрова А.А., Латышева О.В., Копытенко Ю.А. Глубинное строение Арктики и Антарктики по магнитным аномалиям компонент и аномалиям силы тяжести // Космические исследования. Т. 60. № 4. С. 331–347. 2022.
- Поселов В.А., Грамберг И.С., Мурзин Р.Р., Буценко В.В., Каминский В.Д., Сорокин М.Ю., Погребницкий Ю.Е. Структура и границы континентальной и океанической литосферы Арктического бассейна / Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. Ред. Д.А. Додин, В.С. Сурков. СПб.: ВНИИ-Океангеология, С. 49–62. 2002.
- Филатова Н.И., Хаин В.Е. Тектоника Восточной Арктики // Геотектоника. № 3. С. 3–29. 2007.
- Яковлев А.В., Бушенкова Н.А., Кулаков И.Ю., Добрецов Н.Л. Структура верхней мантии Арктического региона по данным региональной сейсмотомографии // Геология и геофизика. Т. 53. № 10. С. 1261–1272. 2012.
- Abramova D.Yu., Abramova L.M. Lithospheric magnetic anomalies in the territory of Siberia (from measurements by the CHAMP satellite) // Russian Geology and Geophysics. V. 55. N. 7. P. 854–863. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.06.005>
- Allen R., Nolet G., Morgan W., et al. Plume-driven plumbing and crustal formation in Iceland // J. of Geophys. Res.: Solid Earth. 107 (B8). 2163. 2002. <https://doi.org/10.1029/2001JB000584>
- Alley R.B., Andrews J.T., Brigham-Grette J., et al. History of the Greenland ice sheet: paleo-climatic insights // Quaternary Science Rev. V. 29. (15–16). P. 1728–1756. 2010.
- Alvey A., Gaina C., Kuszniir N.J., Torsvik T.H. Integrated crustal thickness mapping and plate reconstructions for the high Arctic // Earth and Planet. Science Lett. № 27. P. 310–321. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.07.036>
- Artemieva I.M., Thybo H. EUNASEIS: A seismic model for Moho and crustal structure in Europe, Greenland, and the North Atlantic region // Tectonophysics. V. 609. P. 97–153. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.08.004>
- Asudeh I., Green A.G., Forsyth D.A. Canadian expedition to study the Alpha Ridge complex: results of the seismic refraction study // Geophys. J. Intern. V. 92. P. 283–302. 1988. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1988.tb01140.x>
- Backman J., Jakobsson M., Frank M. et al. Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge // Paleocyanography. V. 23. PA1S03. 15 p. 2008. <https://doi.org/10.1029/2007PA001476>
- Bokelmann G.H.R., Wustefeld A. Comparing crustal and mantle fabric from the North American craton using magnetism and seismic anisotropy // Earth Planet. Sci. Lett. 277[3–4]. P. 355–364. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.10.032>
- Døssing A., Jackson H.R., Matzka J., Einarsson I., Rasmussen T.M., Olesen A.V., Brožena J.M. On the origin of the Amerasia Basin and the High Arctic Large Igneous Province – Results of new aeromagnetic data // Earth and Planet. Science Lett. V. 363. P. 219–230. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2012.12.013>
- Fahnestock M., Abdalati W., Joughin I., Brožena J., Gogineni P. High geothermal heat flow, basal melt, and origin of rapid ice flow in Central Greenland // Science. 294 (5550). P. 2338–2342. 2001. <https://doi.org/10.1126/science.1065370>
- Gaina C., Medvedev S., Torsvik T.H., Koulakov I., Werner S.C. 4D Arctic: A Glimpse into the Structure and Evolution of the Arctic in the Light of New Geophysical Maps, Plate Tectonics and Tomographic Models // Surv Geophys. V. 35. P. 1095–1122. 2014. <https://doi.org/10.1007/s10712-013-9254-y>
- Grantz A., Pease V.L., Willard D.A., Phillips R., Clark D. Bedrock cores from 89° North: implication of the geologic framework and Neogene paleoceanography of Lomonosov Ridge and a tie to the Barents shelf // Geol. Soc. Amer. Bull. V. 113. № 10. P. 1272–1281. 2001. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2001\)113<1272:BCFNIF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2001)113<1272:BCFNIF>2.0.CO;2)
- Hemant K., Maus S. Geological modeling of the new CHAMP magnetic anomaly maps using a geographical information system technique // J. Geophys. Res. V. 110. P. 1–23. 2005. <https://doi.org/10.1029/2005JB003837>
- Henriksen N. Geological history of Greenland: Four Billion Years of Earth Evolution / Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), Copenhagen, 272 p. 2008. <https://doi.org/10.1017/S0032247409008560>
- Hjartarson Á., Erlendsson Ö., Blischke A. The Greenland–Iceland–Faroe Ridge Complex. In: G. Péron-Pinvidic, J.R. Hopper, T. Funck, M.S. Stoker, C. Gaina, J.C. Doornenbal, U.E. Ártung (Eds.) The NE Atlantic Region: a reappraisal of crustal structure, tectonostratigraphy and magmatic evolution / Geological Society. London. Special Publications, V. 447. P. 127–148. 2017. <https://doi.org/10.1144/SP447.14>
- Jakovlev A.V., Bushenkova N.A., Koulakov I.Yu., Dobretsov N.L. Structure of the upper mantle in the Circum-Arctic region from regional seismic tomography // Russian Geol. and Geophys. V. 53. № 10. P. 963–971. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2012.08.001>
- Lawver L.A., Müller R.D. Iceland hotspot track // Geology. V. 22. № 4. P. 311–314. 1994.
- Lawver L.A., Grantz A., Gahagan L.M. Plate kinematic evolution of the present Arctic region since the Ordovician // Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. V. 360. P. 336–362. 2002.
- Lebedeva-Ivanova N.N., Zamansky Y.Y., Langinen A.E., Sorokin M.Y. Seismic profiling across the Mendeleev Ridge at 82 degrees N: evidence of continental crust // Geophys. J. Int. V. 165. P. 527–544. 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.02859.x>
- MacLennan J., McKenzie D., Gronvold K. Crustal accretion under northern Iceland // Earth Planet. Sci. Lett. V. 191. P. 295–310. 2001. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00420-4](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00420-4)

- Mosher D., Shimeld J., Hutchinson D., Chian D., Lebedeva-Iyanova N., Jackson R. Canada Basin revealed / Offshore Technology Conference / Arctic Technology Conference. Houston. TX. 2012. <https://doi.org/10.4043/23797-MS>
- Reigber C., Lühr H., Schwintzer P. CHAMP mission status // *Advances in Space Research*. V. 30 № 2. P. 129–134. 2002. [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(02\)00276-4](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(02)00276-4)
- Roest W.R., Verhoef J., Macnab R. Magnetic anomalies and tectonic elements of northeast Eurasia / GSC Open File. 2574. / *Geol. Surv. of Can*, Dartmouth N. S., 1995.
- Saunders A.D., Fitton J.G., Kerr A.C., Norry M.J., Kent R.W. The North Atlantic igneous province. In: Mahoney, J.J., Coffin, M.F. (eds) *Large Igneous Provinces* / Amer. Geophys. Union, Geophysical Monograph. V. 100. P. 45–93. 1997. <https://doi.org/10.1029/GM100p0045>
- Sobolev A.V., Hofmann A.W., Kuzmin D.V. et al. The amount of recycled crust in sources of mantle-derived melts // *Science*. V. 316 (5823). P. 412–417. 2007. <https://dx.doi.org/10.1126/science.1138113>
- Vogt P.R., Taylor P.T., Kovacs L.C., Johnson G.L. Detailed aeromagnetic investigation of the Arctic basin // *J. Geoph. Res.* V. 84. P. 1071–1089. 1979.
- Wessel P., Smith W.H.F. The generic mapping tools / Technical reference and cookbook version 4.2. 2007. <https://doi.org/10.1029/98EO00426>

Lithospheric Magnetic Anomalies over the Polar Arctic (Based on the *CHAMP* Satellite Data)

D. Yu. Abramova^{1,*}, L. M. Abramova^{2,**}

¹*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Troitsk, Russia*

²*Geoelectromagnetic Research Centre, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Troitsk, Russia*

*e-mail: f.step2014@mail.ru

**e-mail: labramova@igemi.troitsk.ru

The study of the deep structure and tectonics of the Arctic region is actual both for the modern geodynamics fundamental problems solving and for the natural resources developing in the Polar Regions, besides it is of interest from a geopolitical perspective in determining the boundaries of the marginal seas shelf.

To analyze the anomaly magnetic field in the Polar Arctic region *CHAMP* satellite experimental data obtained at the last stage of its mission, when its orbit altitude dropped to 280–260 km, were used. The reduced height of passes made it possible to obtain geomagnetic parameters with a higher spatial resolution. The maps of the lithospheric magnetic anomalies field lateral distribution have been constructed for the various scales and degrees of space averaging over the discussed Arctic sectors. The analysis of the magnetic anomaly parameters is carried out and an explanation of their geological and physical nature is proposed supposing they are the images of the most significant geological and tectonic structures of the North Atlantic Igneous Province and of the Central Arctic ridges complex.

The connections of the discovered features of the lithospheric magnetic anomaly field distribution with the known geological structures of Amerasia and Eurasia and the tectonic processes that took place here in the past and are currently taking place are discussed. The obtained results could be useful for further comprehensive geological and geophysical studies and for construction of the reasonable lithosphere evolution models of the Arctic region.