

УДК 550.838.3

DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-5-579-598

Природа магнитных аномалий южной части Баренцевоморского шельфа по результатам комплексного анализа

А. С. Балувев¹, Ю. В. Брусиловский², А. Н. Иваненко²

¹Геологический институт РАН, 119017, Москва, пер. Пыжевский, 7, e-mail: albaluev@yandex.ru

²Институт океанологии РАН, 117997, Москва, Нахимовский просп., 36, e-mail: brusilovsky60@gmail.com

Поступила в редакцию 22.03.2022 г., принята к печати 16.05.2022 г.

Объектом исследования данной статьи является аномальное магнитное поле южной части Баренцевоморского шельфа. *Материалы и методы.* Основой для анализа послужила цифровая матрица (grid) аномального магнитного поля (АМП), составленная по материалам магнитных съемок, выполненных в 2002–2007 гг. рядом научных и научно-производственных организаций. По результатам выполненных исследований была создана модель строения и формирования магнитоактивного слоя южной части Баренцевоморского региона. Анализ радиально осредненного спектра поля позволил установить приуроченность верхних кромок источников поля к нескольким структурным горизонтам. Полосовая фильтрация в частотной области в соответствии с выделенными диапазонами глубин позволила разделить аномалии от разноглубинных источников. Для определения природы источников магнитных аномалий на разных уровнях земной коры применялся комплексный анализ магнитного и гравитационного полей, данных сейсмического профилирования и наземных исследований. *Результаты.* Выделены как минимум два уровня источников магнитных аномалий: распределение эффективной намагниченности для низкочастотной составляющей АМП, отражающей глубинное строение региона, и высокочастотной составляющей АМП, которая отражает распределение локальных интрузий в верхней части фундамента и осадочном чехле. Нижний уровень представлен массивными блоками глубинного заложения и отвечает комплексу SDR (Seaward Dipping Reflectors), представляющего собой чередование тектонических пластин континентального материала с базитами-ультрабазитами, внедрившимися в кору на пострифтовой стадии раскола континента. Зона положительных линейных аномалий магнитного поля отражает дивергентную границу древней континентальной плиты Балтика, возникшей при фрагментации суперконтинента Колумбия (Палеопангеи) в среднем рифее и формировании рифейского океанического бассейна. Эта зона затем была завуалирована последующими тектоническими процессами. Верхний структурный уровень свидетельствует о внедрении в верхние слои земной коры по зонам рифтообразующих разломов магмы основного состава в позднедевонское время в процессе континентального рифтинга на Свальбардской плите, что подтверждается наличием проявлений основного магматизма в пределах зоны пропагации Южно-Баренцевской рифтогенной впадины в тело Балтийского щита. *Заключение.* По результатам комплексной интерпретации аномального магнитного поля и других геолого-геофизических данных установлена природа источников магнитных аномалий, расположенных на разных структурных уровнях земной коры юго-западной части шельфа Баренцева моря. Магнитоактивный слой этого региона имеет сложное строение, в разрезе которого присутствуют как минимум два структурных уровня, отражающих определенные этапы эволюции земной коры.

Ключевые слова: шельф Баренцева моря, аномалии магнитного и гравитационного полей, модель магнитоактивного слоя, распределение полей, эффективная намагниченность, высокочастотная и низкочастотная составляющие, рифтогенез, комплекс SDR

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках государственных заданий лаборатории тектоники консолидированной коры ГИН РАН (№ 0135-2019-0047) и лаборатории геофизических полей Института океанологии РАН (№ FMWE 2021-0005)

The nature of magnetic anomalies in the southern part of the Barents Sea shelf according to the results of an integrated analysis

Aleksandr S. Baluev¹, Yurii V. Brusilovsky², Aleksandr N. Ivanenko²

Для цитирования: Балувев А.С., Брусиловский Ю.В., Иваненко А.Н. (2022) Природа магнитных аномалий южной части Баренцевоморского шельфа по результатам комплексного анализа. *Литосфера*, 22(5), 579–598. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-5-579-598>

For citation: Baluev A.S., Brusilovsky Yu.V., Ivanenko A.N. (2022) The nature of magnetic anomalies in the southern part of the Barents Sea shelf according to the results of an integrated analysis. *Lithosphere (Russia)*, 22(5), 579–598. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-5-579-598>

¹Geological Institute of RAS, 7 lane Pyzhevskii, Moscow 119017, Russia²P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, 36 Nakhimov av., Moscow 117997, Russia

Received 22.03.2022, accepted 16.05.2022

Research subject. The anomalous magnetic field of the southern part of the Barents Sea Shelf. **Materials and methods.** The research was based on a digital matrix (grid) of the anomalous magnetic field (AMP) compiled from the materials of magnetic surveys performed in 2002–2007 by a number of research organizations and research and production companies. A model describing the structure and formation of the magneto-active layer of the southern part of the Barentsevo-morsk region was developed. An analysis of the radially averaged field spectrum made it possible to establish the confinement of the upper edges of the field sources to several structural horizons. Band filtering in the frequency domain in accordance with the allocated depth ranges allowed anomalies to be distinguished from other sources. To determine the nature of sources of magnetic anomalies at different levels of the earth's crust, an integrated analysis of gravimagnetic fields, seismic profiling data and ground studies was conducted. **Results.** At least two levels of magnetic anomaly sources were found: the distribution of effective magnetization for the low-frequency component of AMP, reflecting the depth structure of the region, and the high-frequency component of AMP, reflecting the distribution of local intrusions in the upper part of the foundation and in the sedimentary cover. The lower level is represented by massive blocks of deep laying and corresponds to the SDR (Seaward Dipping Reflectors) complex, which is an alternation of tectonic plates of continental material with ultrabasic basites that were introduced into the crust at the post-rift stage of the continent's split. The zone of positive linear anomalies of the magnetic field reflects the divergent boundary of the ancient continental plate of the Baltic, which arose during the fragmentation of the supercontinent of Colombia (Paleopangea) in the middle reef and the formation of the Rifean oceanic basin, which was then veiled by subsequent tectonic processes. The upper structural level indicates the introduction of the main composition into the upper layers of the earth's crust in the zones of rift-forming faults of magma in late Devonian times during the process of continental rifting on the Svalbard Plate. This is confirmed by the presence of manifestations of the main magmatism within the propagation zone of the South Barents riftogenic depression into the body of the Baltic Shield. **Conclusions.** The conducted integrated analysis of the anomalous magnetic field and other geological and geophysical data allowed the authors to establish the nature of the sources of magnetic anomalies located at different structural levels of the earth's crust in the southwestern part of the Barents Sea shelf. The magnetoactive layer of this region is characterized by a complex structure, the section of which includes at least two structural levels, each reflecting certain evolutionary stages of the earth's crust.

Keywords: Barents Sea shelf, magnetoactive layer model, direct and inverse problem, separation of fields, effective magnetization, high-frequency and low-frequency components of AMP, correlation, riftingogenesis, Seaward Dipping Reflectors

Funding information

The work was carried out within the framework of state assignments from the Laboratory of Consolidated Crust Tectonics of the GIN RAS (No. 0135-2019-0047) and the Laboratory of Geophysical Fields of the Institute of Oceanology RAS (No. FMWE 2021-0005)

Acknowledgements

The article used materials from the archives of the Federal State Budgetary Institution "Rosgeolfond" on the work of the SSC FGUGP "Yuzhmorgeologiya" in the Barents Sea.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем современной геологии является изучение глубинного строения сложнопостроенных участков земной коры, таких как область сочленения Восточно-Европейского кратона и Западно-Арктической платформы. Исследование подобных объектов всегда вызывало повышенный интерес в связи с тем, что расшифровка структуры и происхождения обрамлений древних кратонов представляет собой проблему, в которой остается еще достаточно много нерешенных, спорных или неоднозначно решаемых вопросов, касающихся характера сочленения и взаи-

модействия этих платформ. Особенно это касается тех участков земной поверхности, которые недоступны для прямых наблюдений, т.е. покрыты водами Баренцева моря.

Благодаря геолого-геофизическим исследованиям последнего десятилетия в регионах Российской Арктики получены новые данные о геологическом строении районов арктического шельфа, проливающие свет на многие дискуссионные вопросы, позволившие не только уточнить оценку углеводородного потенциала арктических бассейнов, но и обосновать перспективность отдельных комплексов чехла и локальных объектов (Шельфовые..., 2020). В результате геолого-геофизиче-

ских работ, проведенных на шельфе Баренцева моря различными производственными и научными геологическими организациями, были построены серии геологических и тектонических карт нового поколения западноарктического шельфа и прилегающих территории (Государственная..., 2007, 2008; Тектоническая..., 2010; и др.). На основании этих исследований и была выделена Западно-Арктическая платформа (Баренцевоморская..., 1988; Сенин, Шпилов, 1993), контактирующая с Восточно-Европейским кратоном вдоль складчатого пояса тиманид, но имеющая более молодой гетерогенный фундамент гренвильско-байкальской консолидации. Строение зоны сочленения этих разновозрастных платформ, особенно на территории, покрытой водами Баренцева моря, осложнено еще и наложенной более молодой структурой Южнобаренцевской рифтогенной впадиной, на южном замыкании которой прослеживается структура ее пропагации в тело Балтийского щита в виде Хибино-Контозерской тектонической зоны, секущей вкрест простираения зону сочленения.

Однако, несмотря на то что в последние годы был выполнен большой объем работ по обработке, переинтерпретации и обобщению материалов региональных сейсморазведочных работ, обобщение, переобработка и анализ материалов крупномасштабных аэро- и морской магнитных съемок и гравиразведки, однозначной модели глубинного строения этой территории не существует.

Изучаемый район расположен на юго-западной окраине Баренцевоморского региона (рис. 1), которая характеризуется сложным строением тектонического фундамента, включающим в себя различные структуры земной коры. В данной работе мы представляем результаты комплексной интерпретации магнитного поля с привлечением данных поля силы тяжести и сейсмических профилей, а также полевых наземных исследований на баренцевоморском побережье, которые позволяют определить природу источников магнитных аномалий на разных уровнях земной коры. Основой для анализа магнитного поля послужили материалы магнитных съемок, выполненных в акватории Баренцева моря в 2002–2007 гг. рядом научных и научно-производственных организаций, при участии сотрудников ВНИИОкеангеология и любезно предоставленных авторам статьи для последующей обработки и интерпретации.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ

Регион, где проводились исследования, представляет собой область сочленения и взаимодействия Восточно-Европейской кратона (ВЕК) и Западно-Арктической платформы (ЗАП). Структура сочленения не является единым структурным

швом, а включает в себя как “объемные”, так и разделяющие их “линейные” тектонические элементы. С СВ на ЮЗ выделены: “линеament Тролльфиорд–Рыбачий–Канин (линия Соколова)”, “зона перикратонного опускания ВЕК”, “линеament Карпинского”, “Мурманский блок Балтийского щита”, “сдвиговая зона Колмозеро–Воронья” (Балуев и др., 2016) (см. рис. 1).

Линеament Тролльфиорд–Рыбачий–Канин (ТРК), более известный в западной литературе как разлом Тролльфиорд–Комагелльв (Siedlecka, 1985), является одним из крупнейших конвергентных структурных швов, и именно он фиксирует непосредственное соприкосновение Восточно-Европейского кратона и Западно-Арктической платформы. На перешейке между п-овами Средний и Рыбачий и в юго-восточной части п-ова Рыбачий шов выражен взбросо-сдвигом; в юго-восточном направлении линеament прослеживается в потенциальных геофизических полях через акваторию Баренцева моря и п-ов Канин (Балуев и др., 2012), а еще восточнее переходит в Западно-Тиманский глубинный разлом. Прослеживается шов и в северо-западном направлении на п-ове Варангер.

Линеament Карпинского (ЛК) ограничивает Мурманский блок с северо-востока и выражен системой молодых сбросов, трассирующихся вдоль северного края Кольского полуострова. ЛК является границей между Балтийским щитом и областью перикратонного опускания Восточно-Европейской платформы. Область перикратонного опускания выражена серией ступеней, формируемых сбросами и сбросо-сдвигами, по которым поверхность архейского основания ступенчато погружается к северу и северо-востоку под покров верхнерифейских, вендских (?) и фанерозойских образований платформы. С северо-востока область перикратонного опускания ограничена взбросо-сдвиговой зоной линеamenta Тролльфиорд–Рыбачий–Канин.

С точки зрения геодинамической позиции край Балтийского щита, а именно **Мурманский блок** и его ограничения, также находящиеся в пределах зоны взаимодействия ВЕП и ЗАП в ходе их тектонической эволюции. Мурманский блок по составу пород и по структуре отличается от других доменов Балтийского щита. Блок сложен плагиогритами, мигматитами, чарно-эндербитами с редкими включениями амфиболитов и, возможно, гранулитов. Благодаря экзотическому по отношению к Балтийскому щиту составу породных комплексов, подковообразному структурному рисунку и признакам сдвиговых перемещений Мурманский блок рассматривается нами как крупный плито-поток, причлененный к телу Балтийского щита по сдвиговой зоне Колмозеро–Воронья. В современной морфоструктуре Мурманский блок представляет собой “краевой вал”, компенсирующий перикратонное опускание ВЕП или плечо палеорифтового грабена, про-

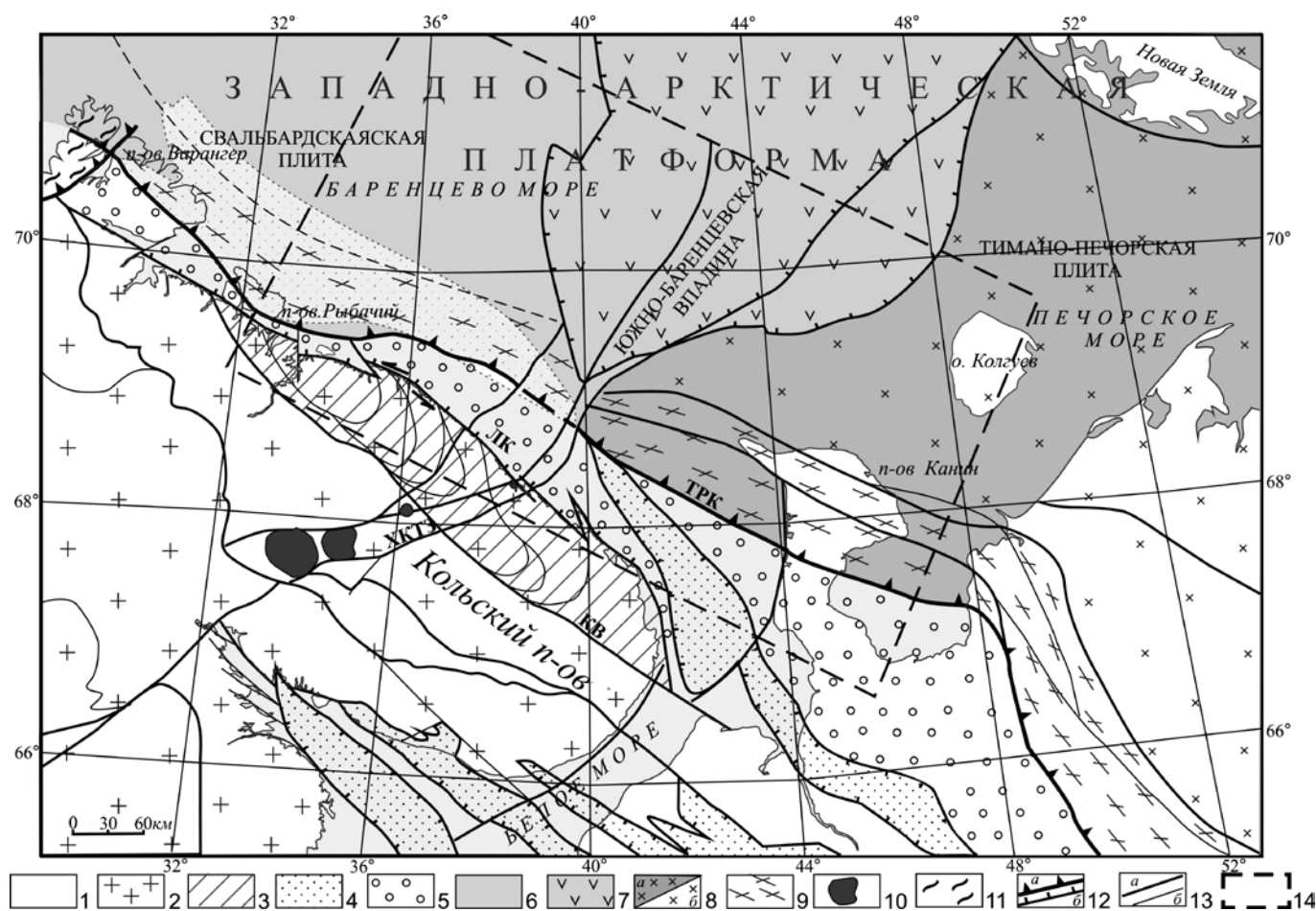


Рис. 1. Тектоническая схема области сочленения Восточно-Европейского кратона с Западно-Арктической платформой, по (Балуев и др., 2016) с незначительными изменениями.

1 – плитная часть ВЕК; 2 – Балтийский щит; 3 – Мурманский блок Балтийского щита; 4 – рифейские грабены палеорифтовой системы Белого моря; 5 – перикратонный прогиб; 6 – Свальбардская плита ЗАП; 7 – Южно-Баренцевская рифтогенная впадина; 8 – Тимано-Печорская плита ЗАП (а – шельфовая часть, б – сухопутная часть); 9 – тиманиды; 10 – массивы щелочно-ультраосновной формации; 11 – норвежские каледониды; 12–13 – шовные зоны и разломы: 12 – с установленной кинематикой (а – взбросо-надвиги, б – сбросы); 13 – с неустановленной кинематикой (а – основные, б – прочие); 14 – площадь исследований. Буквенные обозначения: ТРК – линиямент Тролляфиорд–Рыбачий–Канин, ЛК – линиямент Карпинского, КВ – шовная зона Колмозеро–Воронья, ХКТЗ – Хибино–Контозерская тектоническая зона.

Fig. 1. Tectonic scheme of the Eastern European Craton with the Western Arctic Platform, according to (Baluev et al., 2016) with minor changes.

1 – plate part of the BEK; 2 – Baltic Shield; 3 – Murmansk block of the Baltic Shield; 4 – Rifean grabens of the Paleoryft system of the White Sea; 5 – pericraton deflection; 6 – Swabard slab ZAP; 7 – South Barents Riftogenic Depression; 8 – Timan-Pechora plate ZAP (a – shelf part, b – land part); 9 – thymanides; 10 – alkaline-ultrabasic formation arrays; 11 – Norwegian caledonids; 12, 13 – suture zones and faults: 12 – with installed kinematics (a – overburdens, b – discharges); 13 – with unknown kinematics (a – main, b – other); 14 – area of research. Letter designations: TRK – Trollfjord-Rybachy-Kanin lineament, LK – Karpinsky lineament, KV – Kolmozero-Voronya suture zone, KhKTZ – Khibino-Kontozersky tectonic zone.

тягивающегося в пределах акватории Баренцева моря вдоль побережья Кольского полуострова.

Западно-Арктическая платформа объединяет три главных тектонических элемента: Баренцевскую (Свальбардскую), Тимано-Печорскую и Карскую (Северо-Карскую) плиты (Шкарубо, Шипилов, 2007), входившие, как считают в последнее время многие авторы (Балуев и др., 2012; Кузнецов,

2006; Филатова, Хаин, 2010 и др.), в состав древнего палеоконтинента Арктида, причлененного в конце венда–начале кембрия (?) к раннекембрийскому остоу Восточно-Европейского кратона – Балтике, сформировав композитный палеоконтинент Аркт-Европа. Впоследствии Арктида распалась при формировании циркумполярного бассейна Северного Ледовитого океана, оставив причлененным к ВЕП

свой фрагмент в виде Западно-Арктической платформы с более молодым гетерогенным фундаментом. Структурно-тектонический каркас Западно-Арктической платформы и основной набор ее элементов строения сложился в раннекембрийскую эпоху тектогенеза. Свальбардская (Баренцевская) плита сформировалась на гетерогенном основании, в состав которого входят как блоки гренвилльского, так и, не исключено, байкальского (тиманского) фундамента (Шкарубо, Шипилов, 2007). На юге Баренцевской плиты (в пределах Канино-Варангерского складчатого пояса тиманид) предполагается полоса байкальского (тиманского) фундамента – Кольско-Финмаркенский мегаблок. Тимано-Печорская плита (ТПП) возникла на месте обширной области байкальской (кадомской) складчатости, простиравшейся от Западно-Тиманского краевого шва на юго-западе до Байдарацкого глубинного разлома на северо-востоке. Современные Баренцевская плита и морская часть Тимано-Печорской плиты получили развитие уже как шельфовые плиты.

Вдоль шва ТРК Восточно-Европейскую платформу с северо-востока обрамляет **Канино-Тиманский (Канино-Варангерский) складчатый пояс**, получивший название “тиманиды” (Pushkov, 1997), протягиваясь от п-ова Варангер в Северной Норвегии до Полудова кряжа на Урале, захватывая краевую приграничную область Западно-Арктической платформы, включая Свальбардскую и Тимано-Печорскую плиты. В последнее десятилетие в литературе они фигурируют под названием Тиманский ороген (Gee, Pease, 2004) или ороген Протоуралид-Тиманид (Кузнецов, 2006) с возрастным интервалом кристаллических комплексов орогена примерно 620–540 млн лет назад (Балуев и др., 2016). На п-овах Варангер, Рыбачий, Канин и на Тиманском кряже обнажаются осадочно-метаморфизованные складчатые образования, отождествляемые с тиманидами. К выходам на поверхность складчатых пород рифея на п-овах Канин и Рыбачий приурочены положительные линейные аномалии гравитационного поля. Здесь выделены две структурно-формационные зоны, характеризующиеся определенной спецификой состава и тектонически-отделенные друг от друга разломом ТРК.

1. Внешняя (Кильдинская) структурно-формационная зона – это зона развития континентальных и предельно мелководных морских отложений (кильдинская и волоковая серии), в некоторых случаях стратиграфически налегающих на раннекембрийские образования Балтийского щита. На п-ове Варангер эта зона называется зоной Танафьорд-Варангерфьорд (Siedlecka et al., 1995). На юго-востоке она продолжается на п-ов Средний и о-в Кильдин как Кильдинская зона.

2. Внутренняя (Рыбачинская) структурно-формационная зона – это зона развития более глубоко-

водных образований (эйновская и боргоутная серии). На п-ове Варангер эта зона называется зоной Баренцшавс (или Баренц-си). На юго-восток она продолжается на п-ов Рыбачий как Рыбачинская зона. В пределах п-ов Средний и Рыбачий установлено, что структуры и комплексы этой зоны надвинуты в юго-западном направлении на структуры и комплексы Кильдинской зоны. Этот структурный парагенез сформировался в результате направленного на юго-запад тектонического смещения масс, произошедшего на рубеже венда и кембрия (Кузнецов, 2008).

К переходной зоне между Восточно-Европейской платформой и Свальбардской (Баренцевской) плитой, выраженной сбросами, по которым структуры фундамента погружаются, приурочена положительная аномалия магнитного поля и линейный гравитационный максимум (см. рис. 3). Аномалии, прослеживающиеся к северо-западу на продолжении Тимано-Канинских структур, служили основанием для гипотезы перикратонных надвигов вдоль северо-восточного обрамления Балтийского щита. Между тем, результаты гравимагнитных съемок и моделирования геологического разреза показали, что здесь наблюдается утонение верхней консолидированной коры за счет поднятия нижней ее части. Линейный гравитационный максимум обусловлен эффектом Гельмерта, проявляющимся в зонах резкого изменения структуры и петрофизических свойств коры. На разрезе ему соответствует поднятие границы нижней коры, что, по-видимому, отражает приподнятое положение границы “палеоМохо”. Линейные аномалии магнитного поля, приуроченные к гравитационному максимуму, могут свидетельствовать о повышенной проницаемости земной коры на этой региональной тектонической границе (Журавлев и др., 2012).

МЕТОДЫ АНАЛИЗА МАГНИТНОГО ПОЛЯ И МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Структура магнитного поля формируется за счет суперпозиции аномалий разного происхождения, обусловленных магнитными неоднородностями геологических тел. Они имеют разные латеральные размеры, разные контрасты магнитных свойств и разную глубину залегания источников поля. Именно эти факторы объясняют появление аномалий, которые принято называть или региональными, или локальными.

Крупные региональные аномалии отражают глубинное строение земной коры, а характер, интенсивность и конфигурация локальных аномалий обусловлены источниками, расположенными в верхней ее части. Поэтому одной из основных задач, требующих решения в процессе интерпретации, является разделение полей по глуби-

не до источников. Анализ радиально осредненного спектра поля позволил установить приуроченность верхних кромок источников поля к нескольким структурным горизонтам (уровням). Выделение спектральной составляющей каждого предполагаемого горизонта позволило оценить глубину до его верхних и нижних кромок. Полосовая фильтрация в частотной области в соответствии с выделенными диапазонами глубин позволила эффективно разделить аномалии от разноглубинных источников. Дальнейшая интерпретация магнитного поля выполнялась для каждого горизонта в отдельности, при этом авторами использовались независимые, взаимодополняющие методы количественной интерпретации, разработанные в лаборатории геофизических полей Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова (Иваненко и др., 2012). В трехмерном варианте это пакет программ Magdepth3D, который впервые был использован при интерпретации детальных магнитных съемок на Каспии (Иваненко, Шишляев, 2013).

Для оценок глубин до верхних и нижних кромок источников аномалий в нем применяются различные методы – спектральный, работающий в частотной области, алгоритм “эйлеровской деконволюции”, а также параметрический подбор формы аналитического сигнала; два последних работают в пространственной области.

Для решения обратной задачи в плоском варианте был использован комплекс Linverse2D, описание которого достаточно подробно приведено в статье (Пальшин и др., 2020). В этом комплексе реализовано большинство современных алгоритмов решения таких задач. При этом широко привлекалась априорная информация – данные о рельефе дна, сейсмические данные (Строение..., 2005; Marell et al., 2013), учитывалась глубина изотермы Кюри (Artemieva, 2009; Волк, 1984), результаты интерпретации другой геолого-геофизической информации, а также материалы наземных геологических исследований.

АНАЛИЗ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Аномальное магнитное поле изучаемой акватории Баренцева моря (рис. 2) характеризуется сложной структурой с преобладанием линеаментов северо-западного простирания, субпараллельных береговой линии Кольского полуострова, протягивающейся вдоль Баренцевоморского побережья и далее на юго-восток вдоль Предтиманского прогиба (Verhoef et al., 1996). Наличие подобной зоны магнитных аномалий служит подтверждением существования обширной зоны разломов глубинного заложения, по которым и произошло внедрение большого объема магматических пород. Сопоставление этой аномальной зоны с результатами морских магнитных съемок, выполненных на Белом

море (Брусиловский и др., 2007; Балуев и др., 2018), показывает, что линейные зоны северо-западного простирания в южной части Баренцева моря субпараллельны линейным аномальным зонам, связанным с Беломорским палеорифтом. Это вполне соответствует представлениям о том, что на северо-востоке Восточно-Европейской платформы выделяются две крупные палеорифтовые системы, сформировавшиеся в среднем и позднем рифее: Беломорская, упирающаяся на северо-западе в восточную окраину Балтийского щита, и Баренцево-морская. Обе эти палеорифтовые системы заложены по дорифейским глубинным разломам северо-западного простирания, окаймляющим Кольский полуостров с юга и севера.

Помимо аномальной зоны северо-западного простирания достаточно уверенно выделяется ортогональная ей зона северо-восточного простирания. Наложенный характер разломов северо-восточного простирания отчетливо проявляется в западной части полигона, к северо-востоку от п-ова Рыбачий, где линеаменты поля северо-западного простирания распадаются на отдельные фрагменты, рассеченные и смещенные наложенными ортогональными разломами северо-восточного простирания. На этом фоне в пределах изученного региона выделяются изометричные локальные магнитные аномалии, расположенные на морском продолжении Хибино-Контозерской тектонической зоны. На рис. 2 показано положение аномалий магнитного поля (А и Б), для которых был выполнен подбор эквивалентных моделей, соответствующих субвертикальным интрузивным телам.

По своим параметрам эти модели наиболее адекватно отражают представление о геологическом строении участка морского продолжения Хибино-Контозерской тектонической зоны. Для аномалии А эффективная намагниченность модели составляет 5 А/м, а диапазон залегания верхней и нижней кромок – 7 и 14 км соответственно. Фактически эта аномалия расположена в узле пересечения шовной зоны ТРК и Хибино-Контозерской тектонической зоны (см. рис. 1).

Для аномалии Б эффективная намагниченность модели составляет 4 А/м, а диапазон глубин залегания верхней и нижней кромок – 20 и 45 км. Полученные параметры моделей указывают на то, что эти интрузивные тела находятся на разных гипсометрических уровнях и связаны, по-видимому, со штокообразными позднедевонскими и раннекарбонowymi щелочными интрузивами (Шипилов, Тарасов, 1998). На материковой части Хибино-Контозерской тектонической зоны с ней пространственно и генетически связан целый ряд щелочных массивов (Хибинский, Ловозерский, Контозерский, Ивановский) разного уровня локализации в земной коре с тенденцией погружения с юго-запада на северо-восток.

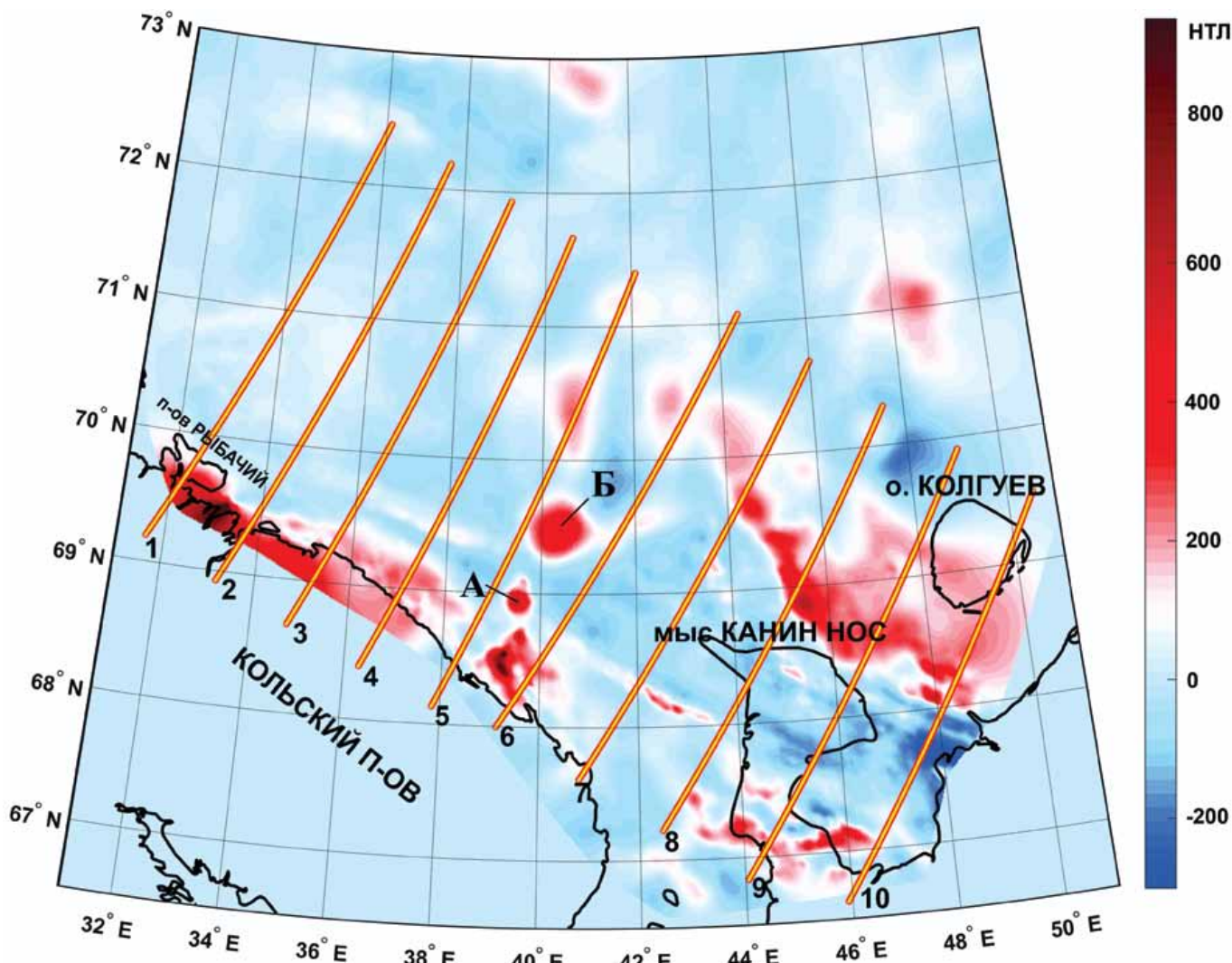


Рис. 2. Карта аномального магнитного поля с профилями для решения обратной задачи.

А, Б – местоположение аномалий, для которых был выполнен подбор эквивалентных моделей.

Fig. 2. An anomalous magnetic field map with profiles for solutions to the inverse problem.

A, B – location of the anomalies for which the selection of equivalent models was performed.

Дальнейшая интерпретация материалов заключалась в разделении поля по глубине до источников и решении обратной задачи для каждого горизонта. Эта процедура выполнялась для серии профилей, представленных на рис. 2.

На рис. 3 показана модель распределения эффективной намагниченности для низкочастотной составляющей АМП, отражающей глубинное строение региона. На исследуемой площади выделяется вытянутая зона аномального магнитного поля интенсивностью до 1000 нТл с простираением северо-запад – юго-восток и протяженностью около 380 км. Как показал анализ расчетных моделей, выполненных для каждого профиля, такая аномальная зона

может отражать источник аномалии с эффективной намагниченностью 1.0–2.5 А/м. Основной диапазон залегания нижних кромок лежит в интервале глубин 20–40 км.

Максимальная глубина залегания нижней кромки наблюдаются на профиле 8, где они достигают глубин до 56 км и где выделяется массивный, сильномагнитный источник аномалий с эффективной намагниченностью 1.0–1.5 А/м. Видимая протяженность этого объекта вдоль профиля составляет почти 150 км. Верхние крошки этого массива определяются на глубинах от 2 до 10 км. Далее, к северо-западу, наблюдается уменьшение уровня залегания нижних кромок, уменьшается и видимая про-

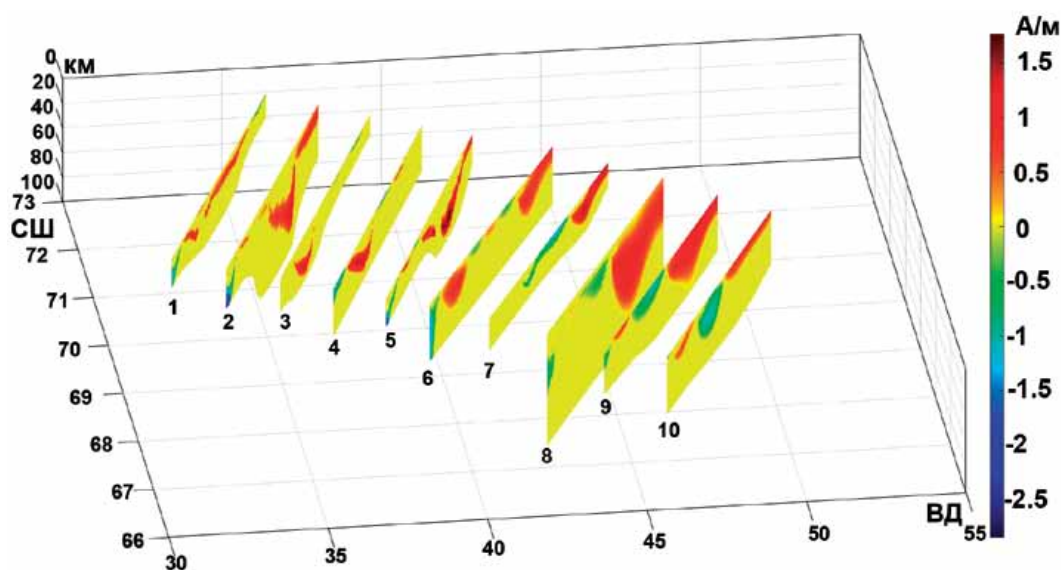


Рис. 3. Эшелон моделей распределения источников АМП в формате 2D для низкочастотной составляющей АМП.

Fig. 3. Echelon of models of distribution of AMP sources in 2D format for the low-frequency component of the magnetic field.

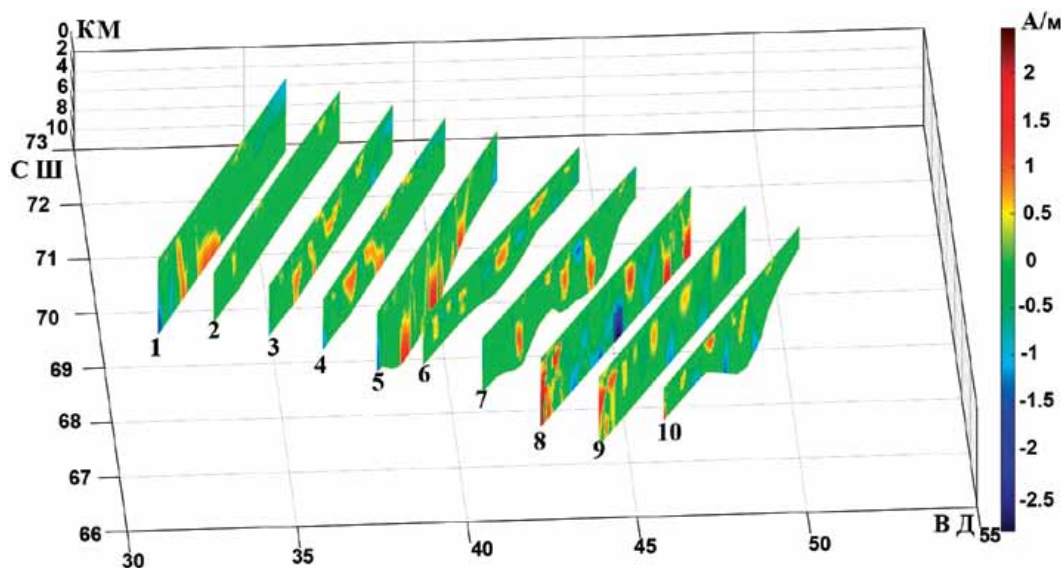


Рис. 4. Эшелон моделей распределения источников АМП в формате 2D для высокочастотной составляющей магнитного поля.

Fig. 4. Echelon of models of distribution of AMP sources in 2D format for the high-frequency component of the magnetic field.

тяженность этого массива вдоль профиля и в районе профиля 4 этот интрузивный массив почти исчезает, но на профиле 2 он проявляется вновь в верхних слоях земной коры. На карте АМП этот массив отчетливо прослеживается вдоль Кольской-Канинской моноклинали в виде крупных линейных положительных аномалий магнитного поля.

Для высокочастотной составляющей АМП также решалась обратная задача и был выполнен под-

бор эквивалентных моделей для каждого профиля (рис. 4, 6). В этом случае полученные модели аппроксимируются набором локальных источников магнитного поля и отражают распределение локальных интрузий в верхней части фундамента и осадочном чехле. Эффективная намагниченность этих объектов лежит в пределах 0.5–1.5 А/м. Нижние кромки находятся на глубине от 1 до 10 км, а верхние кромки – в диапазоне глубин 0.2–4 км.

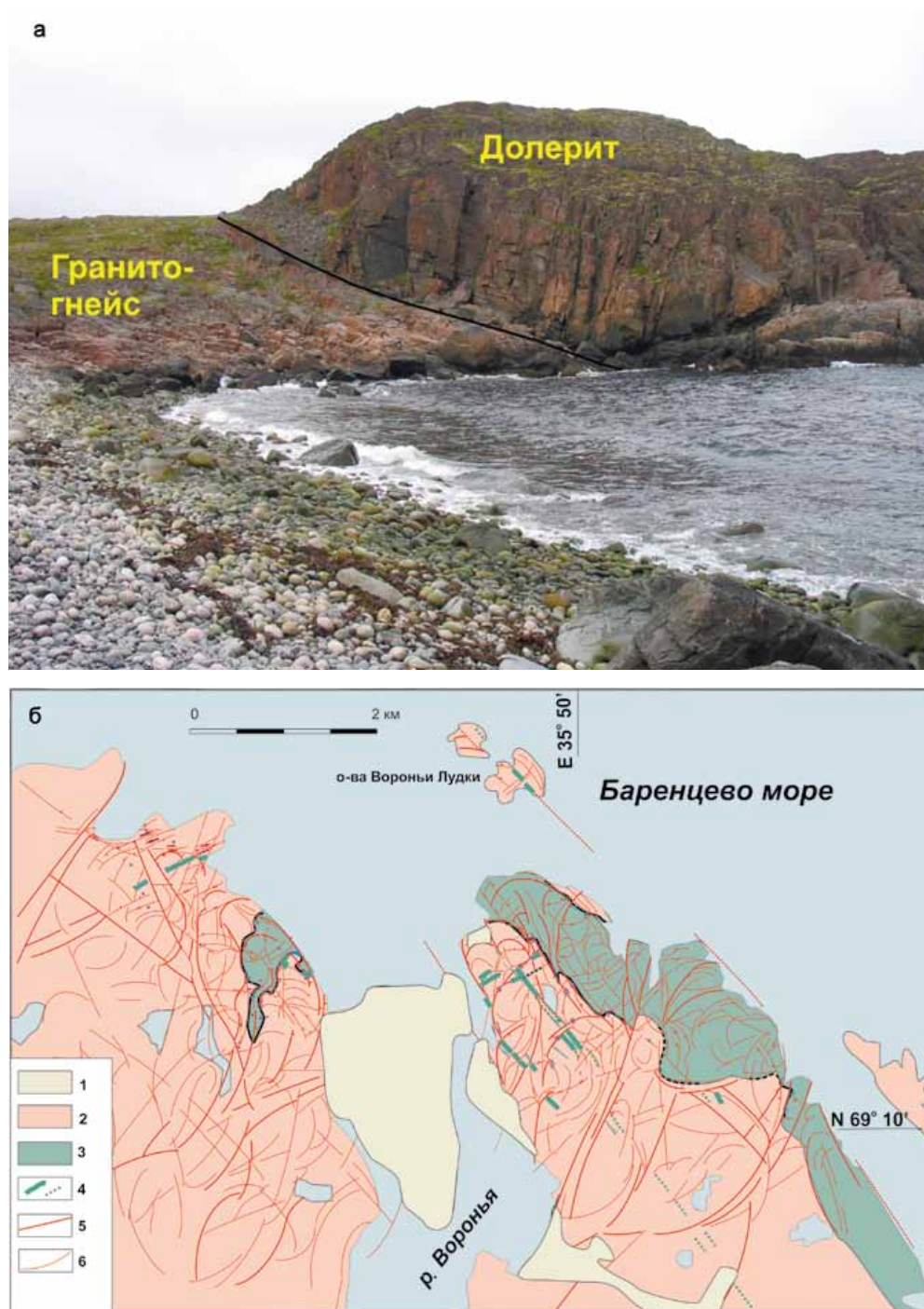


Рис. 5. а. Силлоподобное тело долеритов (возраст 1.8–1.9 млрд лет) в неоархейском гранитогнейсовом фундаменте Мурманского блока Балтийского щита. б. Геологическая карта участка на Баренцевоморском побережье (Балуев и др., 2012):

1 – четвертичные отложения; 2 – неоархейский гранитогнейсовый фундамент Мурманского блока Балтийского щита; 3 – силлоподобное тело долеритов палеопротерозойского возраста; 4 – долеритовые дайки палеопротерозойского возраста; 5, 6 – разрывные нарушения: 5 – основные, 6 – второстепенные.

Fig. 5. а. A sill-like body of dolerites (age 1.8–1.9 Ba) in the Neo-Archean granitogneiss foundation of the Murmansk block of the Baltic Shield. б. Geological map of the site on the Barentsevomorsky coast (Baluev and others, 2012):

1 – Quaternary deposits; 2 – Neo-Archean granitogneiss foundation of the Murmansk block of the Baltic Shield; 3 – sill-like body of dolerites of Paleoproterozoic age; 4 – dolerite dikes of Paleoproterozoic age; 5, 6 – bursting disorders: 5 – main, 6 – secondary.

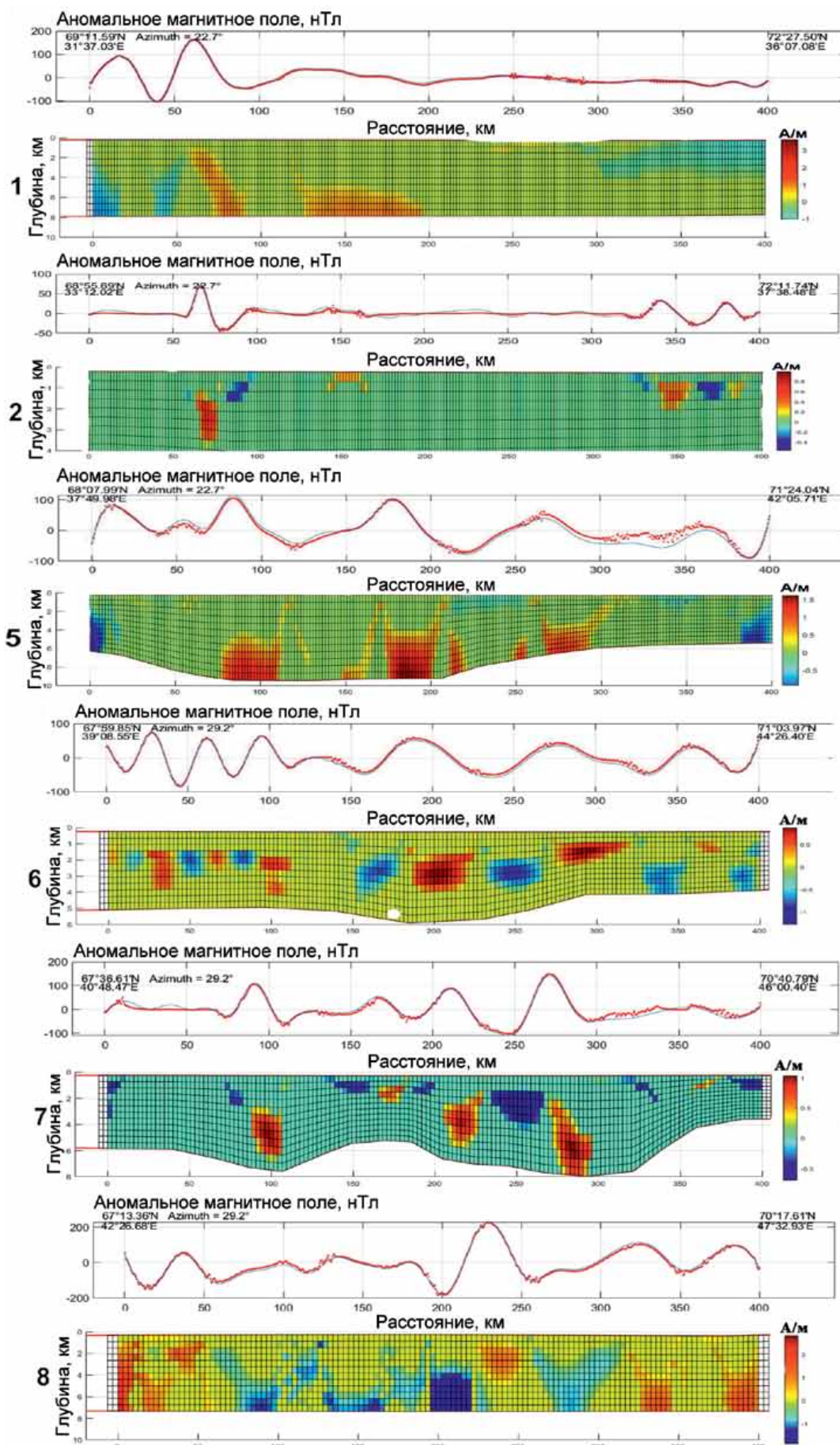


Рис. 6. Модели распределения источников АМП для профилей (1, 2, 5–8 (см. рис. 4)) в формате 2D для высокочастотной составляющей магнитного поля.

Fig. 6. AMP source distribution models for profiles (1, 2, 5–8 (see Fig. 4)) in 2D format for the high-frequency component of the magnetic field.

Южное окончание всех моделей отмечается локальными источниками поля. Эффективная намагниченность этих объектов лежит в пределах 0.5–1.0 А/м. Верхние крошки находятся на глубине 1–15 км, а нижние крошки расположены на глубине 7–25 км. В отличие от крупного интрузивного массива в северной части площади эти объекты сформированы локальными источниками, расположенными на другом гипсометрическом уровне. Это подтверждается, например, для положительных локальных магнитных аномалий в районе южного основания п-ова Канин, где бурением Нижнепешской скважины в разрезе девона на глубине около 2.5 км были вскрыты два тела долеритов общей мощностью более 450 м.

Береговая аномалия, протягивающаяся от п-ва Средний на юго-восток вдоль побережья, отражает, видимо, глубинные камеры магматических пород основного состава, являвшихся источником обнажающихся на поверхности многочисленных силлоподобных тел и даек долеритов, генетически связанных с процессами рифтинга в рифейское время (рис. 5).

Помимо процедуры разделения поля и решения обратной задачи была оценена связь между гравитационным и магнитным полем, для чего выполнен расчет коэффициента корреляции (**R**). Предварительно аномальное магнитное поле приводилось к полюсу, а для гравитационного поля рассчитывалась вертикальная производная. Полученные значения коэффициента корреляции варьируют в пределах от –1 до 1. Коэффициент корреляции рассчитывался отдельно, как для низкочастотной, так и для высокочастотной составляющей. Для каждой из составляющих поля были построены карты распределения коэффициента корреляции. На (рис. 7а), представлена карта распределения коэффициента корреляции для глубинной части разреза. Выделяемые обширные области положительной и отрицательной корреляции, распределены на изучаемой площади приблизительно в одинаковой пропорции. На гистограмме распределения (рис. 7б) выделяются две равнозначные группы положительных и отрицательных значений коэффициента корреляции.

Такое распределение может служить доказательством того, что на гипсометрическом уровне,

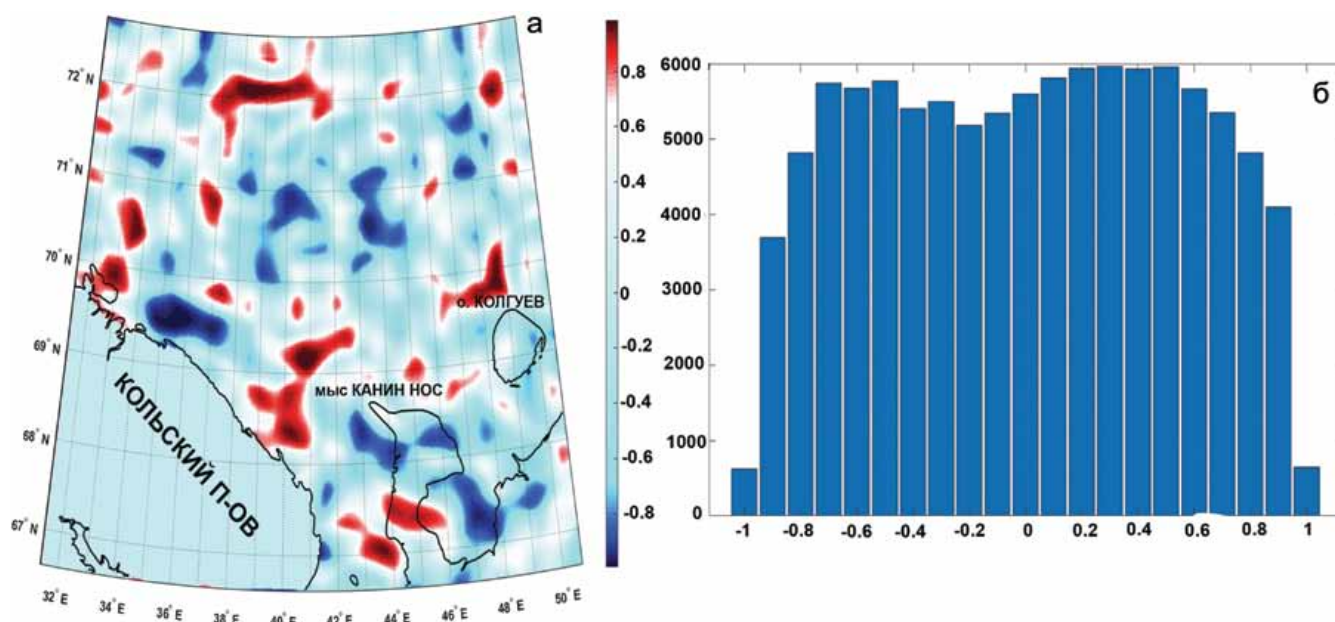


Рис. 7. а. Карта распределения коэффициента корреляции низкочастотной составляющей гравитационного и магнитного полей для $|R| \geq 0.7$. **б.** Гистограмма распределения для низкочастотной составляющей.

Fig. 7. a. Map of correlation coefficient distribution of low-frequency component of gravitational and magnetic fields for $|R| \geq 0.7$. **б.** Distribution histogram for low-frequency component.

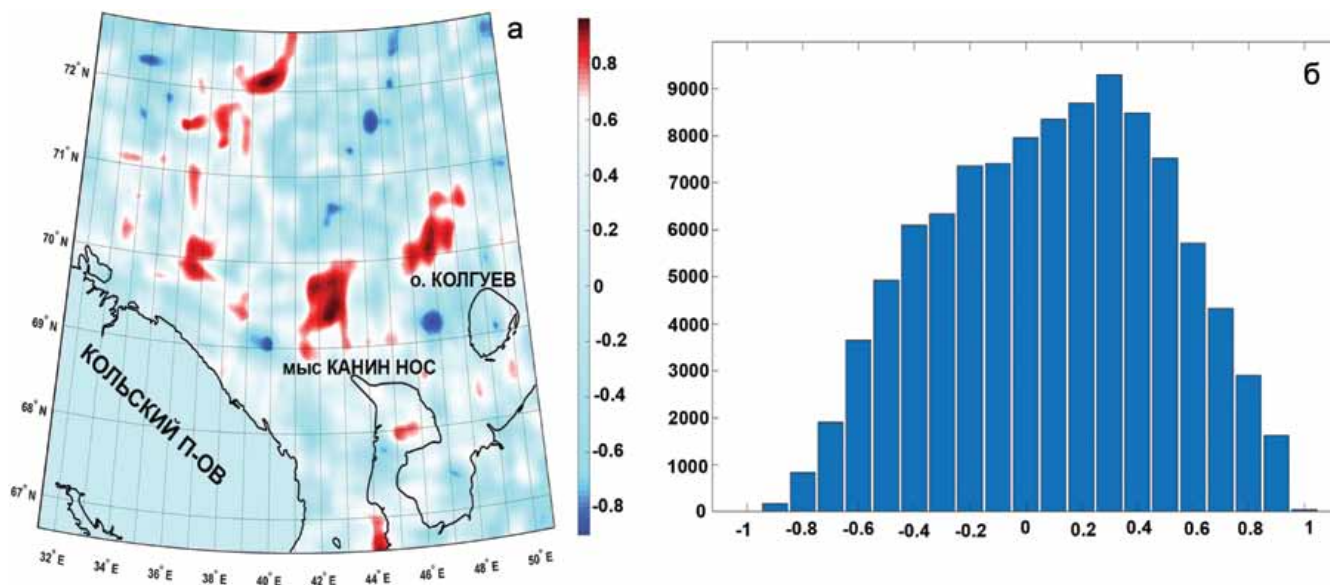


Рис. 8. а. Карта распределения коэффициента корреляции высокочастотной составляющей гравитационно-магнитного полей для $|R| \geq 0.7$. б. Гистограмма распределения для высокочастотной составляющей.

Fig. 8. а. Map of correlation coefficient distribution of high-frequency component of gravitational and magnetic fields for $|R| \geq 0.7$. б. Histogram of distribution for high-frequency component.

представленном низкочастотной составляющей, присутствуют два типа глубинных геологических комплексов, которые имеют различное отражение в потенциальных полях и, соответственно, отображаются разными областями коэффициента корреляции: положительной или отрицательной.

Области положительной корреляции соответствуют структурам, которые в потенциальных полях отражаются положительными гравитационными аномалиями и положительными аномалиями магнитного поля.

Области отрицательной корреляции соответствуют структурам, которые в потенциальных полях отражаются положительными гравитационными аномалиями и отрицательными аномалиями магнитного поля. В границах исследуемого региона это может быть скрытая под осадками Тимано-Канинская зона, которая прослеживается на шельфе характерными линейными положительными гравитационными и отрицательными магнитными аномалиями.

На рис. 8а представлена карта распределения коэффициента корреляции для менее глубокой части разреза. Здесь также выделяются области положительной и отрицательной корреляции, но в отличие от глубокой части разреза областей отрицательной корреляции значительно меньше. На рис. 8б представлена гистограмма с асимметричным распределением, где модальные значения смещены в область положительного коэффициента корреляции. Из решения обратной задачи для это-

го горизонта было установлено, что он сложен локальными источниками, распределенными в верхней части осадочного чехла.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как уже отмечалось, площадь исследований охватывает область сочленения Восточно-Европейского кратона и Западно-Арктической платформы, которая обнажается фрагментарно и доступна для изучения лишь в небольшой части, свободной от вод Баренцева моря. Поэтому здесь особое значение приобретают геофизические методы и интерпретация геофизических данных, благодаря чему мы можем опосредованно судить о глубинном строении земной коры этого региона.

Эшелон моделей для низкочастотной составляющей АМП (см. рис. 3) демонстрирует относительно мощную зону источников положительных аномалий преимущественно в пределах фундамента и нижней части коры, протягивающуюся вдоль северо-восточного побережья Кольского полуострова, на удалении от него на 200–300 км. Нижняя кромка источников аномалий по простиранию ундулирует, местами достигая поверхности Мохо, как показано на рис. 9.

Наличие зоны гравитационных и магнитных аномалий, протягивающейся вдоль Баренцевоморского побережья и далее на юго-восток вдоль Предтиманского прогиба, является немаловажным обстоятельством, которое может служить косвенным

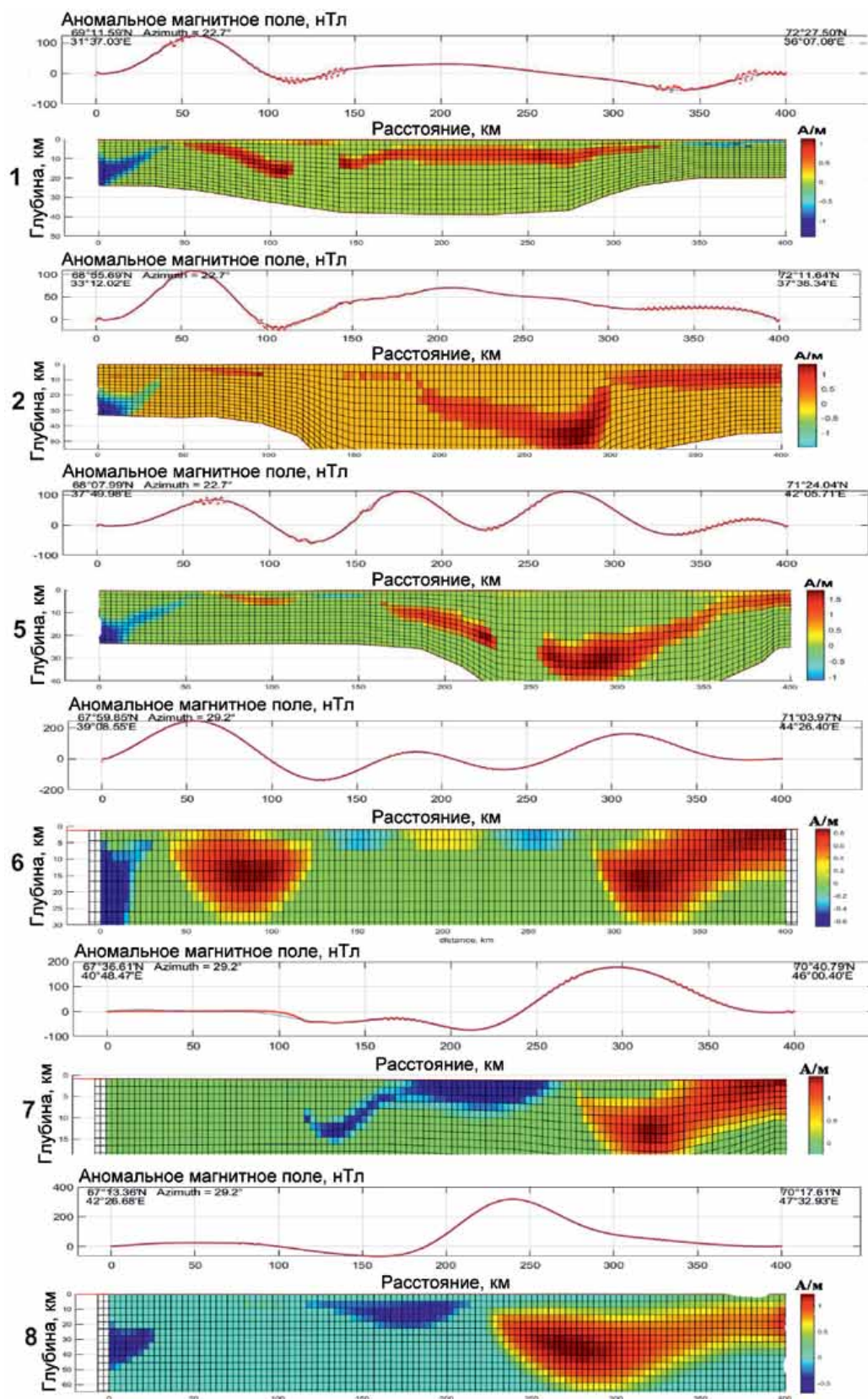


Рис. 9. Модели распределения источников АМП для профилей (1, 2, 5–8) в формате 2D для низкочастотной составляющей магнитного поля.

Fig. 9. AMP source distribution models for profiles (1, 2, 5–8) in 2D format for the low-frequency component of the magnetic field.

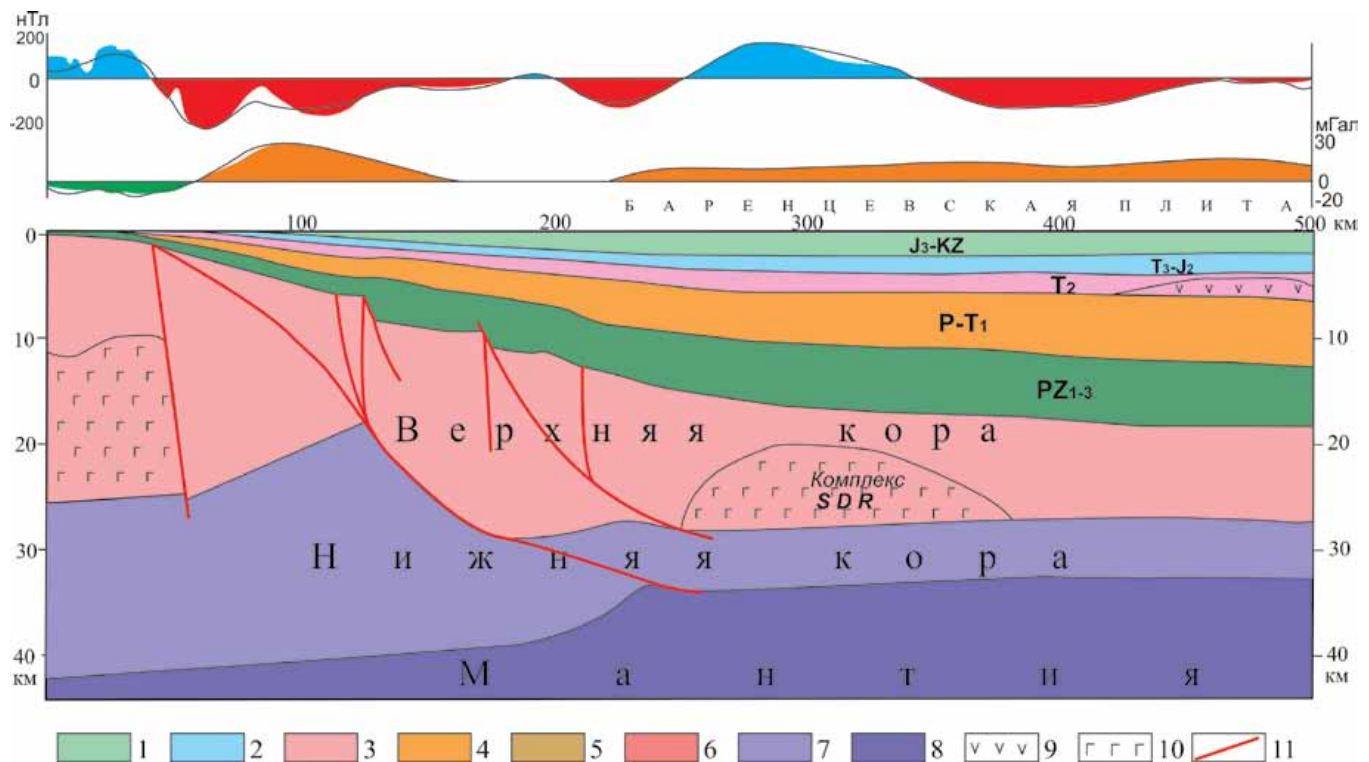


Рис. 10. Сейсмогеологический профиль KS-0908, по (Журавлев и др., 2012) с изменениями.

1–5 – осадочные комплексы Южно-Баренцевской впадины: 1 – верхней юры–кайнозоя, 2 – верхнего триаса–средней юры, 3 – среднего триаса, 4 – перми–нижнего триаса, 5 – палеозоя; 6 – консолидированная верхняя кора; 7 – нижняя кора; 8 – верхняя мантия; 9 – магматические породы основного состава в осадочном чехле; 10 – породы повышенной плотности и намагниченности (базиты и ультрабазиты); 11 – разломы. Местоположение профиля см. на рис. 12а.

Fig. 10. Seismogeological profile KS-0908 (according to Zhuravlev et al., 2012 with changes).

1–5 – sedimentary complexes of the South Barents Depression: 1 – the upper Jura–Cenozoic, 2 – the Upper Triassic–Middle Jura, 3 – the Middle Triassic, 4 – the Perm–Lower Triassic, 5 – the Paleozoic; 6 – consolidated upper crust; 7 – lower crust; 8 – upper mantle; 9 – igneous rocks of the main composition in the sedimentary cover; 10 – rocks of increased density and magnetization (basites and ultrabasites); 11 – faults. For the location of the profile, see Fig. 12a.

подтверждением существования северо-восточной пассивной континентальной окраины ВЕП в позднем докембрии (Балуев, 2006). В районе линейного гравитационного максимума по сейсмическим данным отмечается увеличение граничной скорости с 6.0 до 6.5 км/с и прогиб поверхности кристаллического основания. Такое увеличение скорости можно объяснить внедрением большого объема магматических пород по субпараллельным разломам, которые выделяются магнитными аномалиями и по сейсмическим данным в зоне гравитационного максимума. Результаты плотностного моделирования подтверждают эти данные. На сейсмогеологических разрезах Кольско-Канинской моноклинали, составленных по переобработанным профилям (один из них представлен на рис. 10), на временах 2.5–4.0 с в зоне Баренцевоморского авлакогена в рифейской толще иногда прослеживаются регулярные отражения. Сейсмические разрезы зоны сочленения Балтийского щита и Баренцевомор-

ской плиты показывают, что и здесь аномальной зоне соответствует скоростная сейсмическая аномалия, в то время как под ней отмечается выступ более скоростных ($V_r = 7.0$ км/с), т.е. более плотных пород, что находит свое отражение в довольно интенсивной положительной магнитной аномалии, вытянутой вдоль побережья Баренцева моря (Журавлев и др., 2012).

Зона магнитных аномалий, выделенная при решении обратной задачи в формате 2D для низкочастотной составляющей АМП (см. рис. 9), отвечает, видимо, крупным магматическим телам, внедрившимся в кору по разломам на пострифтовой стадии раскола континента и заложения океанической коры. По своим характеристикам эта ситуация соответствует наличию комплекса SDR (Seaward Dipping Reflectors – рефлекторы, падающие в сторону океана), или, как его назвал Н.А. Богданов (2001), “начальной океанической коре”. Комплекс SDR представляет собой чередование тектонических

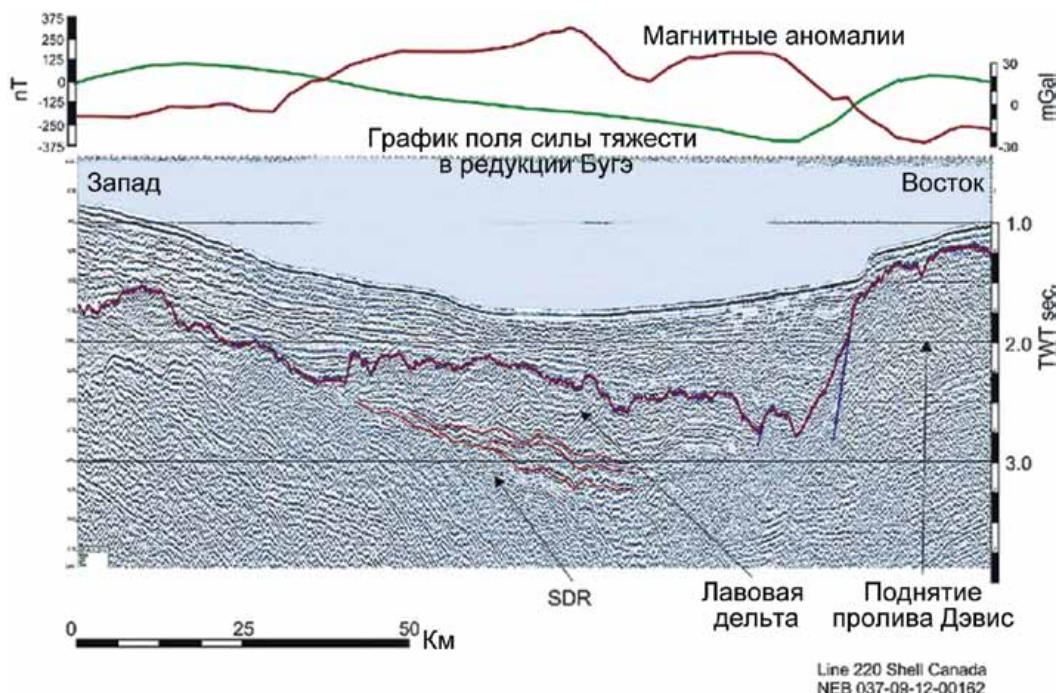


Рис. 11. Сейсмический профиль 220 в северной оконечности пролива Дэвиса, Канада (Jauer, et al., 2019).

Видны наклонные в сторону моря рефлекторы SDR. Над ними расположен комплекс лавовой дельты, который фиксируется по изменению характера сейсмической записи ниже регионального горизонта фундамента. Вышележащий магнитный профиль подтверждает интерпретацию этой особенности сейсмического разреза как погребенный вулканический комплекс.

Fig. 11. Seismic line 220 at the northern end of Davis Strait, Canada (Jauer, et al., 2019).

SDR reflectors tilted towards the sea are visible. Above them is the lava delta complex, which is fixed by the change in the nature of the seismic record below the regional horizon of the foundation. The overlying magnetic profile confirms the interpretation of this feature of the seismic section as a buried volcanic complex.

пластин континентального материала с базитами-ультрабазитами, серпентинизированными на изгибе под подножием континентального склона. Такие аномальные зоны зафиксированы вдоль западной и восточной пассивных континентальных окраин Атлантического океана (Talwani, Abreu, 2000; Jauer C.D., et al., 2019) (рис. 11) и являются переходными структурами между континентальной и океанической корой. В нашем случае источник глубинной аномалии магнитного поля был захоронен под надвинутой в конце венда-кембрии коллизионной структурой тиманид.

Термический режим, создавшийся в земной коре в результате апвеллинга астеносферы в зоне континентального склона в среднем рифее и процессов андерплейтинга на ранней стадии эволюции, был, вероятно, сходным с термическим режимом Индо-Атлантического типа современных пассивных окраин (Хаин, Левин, 2001; Lister et al., 1991) и мог способствовать генерации и накоплению углеводородов в пределах древнего континентального склона.

Таким образом, вышеописанная зона положительных линейных аномалий магнитного поля фактически отражает дивергентную границу древней

континентальной плиты Балтика (древнее основание литосферной плиты Восточно-Европейской платформы), которая возникла при фрагментации суперконтинента Колумбия (Палеопангеи) в среднем рифее и формировании рифейского океанического бассейна, а затем была завуалирована последующими тектоническими процессами (Балуев, 2006).

Обращает на себя внимание закономерное дуговое расположение аномалий положительной корреляции магнитного и гравитационного полей вдоль флексурно-сбросовых зон, ограничивающих с запада и востока Южно-Баренцевский рифтогенный прогиб (рис. 12). Совмещение магнитных и гравитационных аномалий в данном случае свидетельствует об единых источниках этих аномалий, которыми могут служить магматические массивы основного состава, внедрившихся по сбросовым зонам рифтообразующих разломов в верхние слои земной коры в девонское время в процессе континентального рифтинга на Свальбардской плите.

Этот прогноз находит подтверждение при анализе глубинного динамического разреза по сейсмическому профилю KS 0913 C3 простирания, секущего вкрест простирания зону сочленения Тимано-Пе-

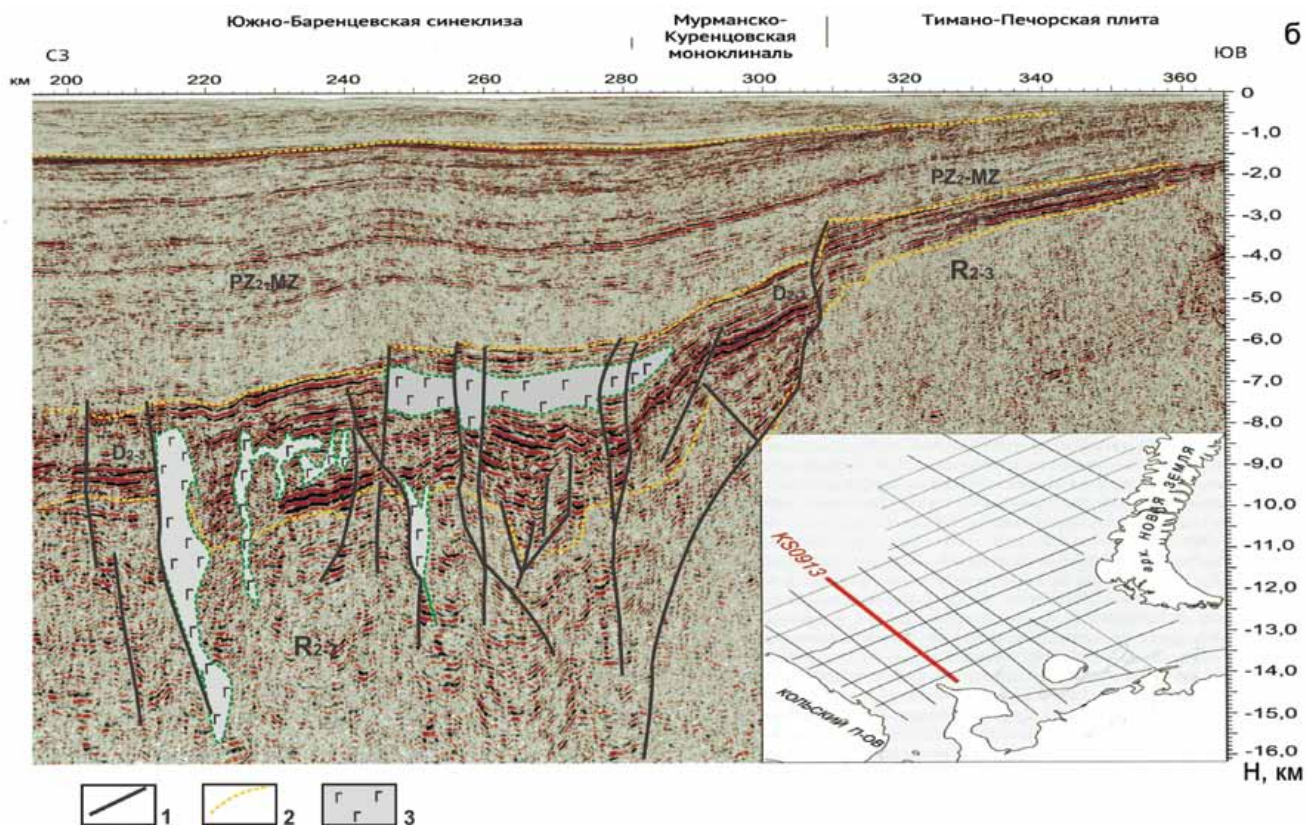
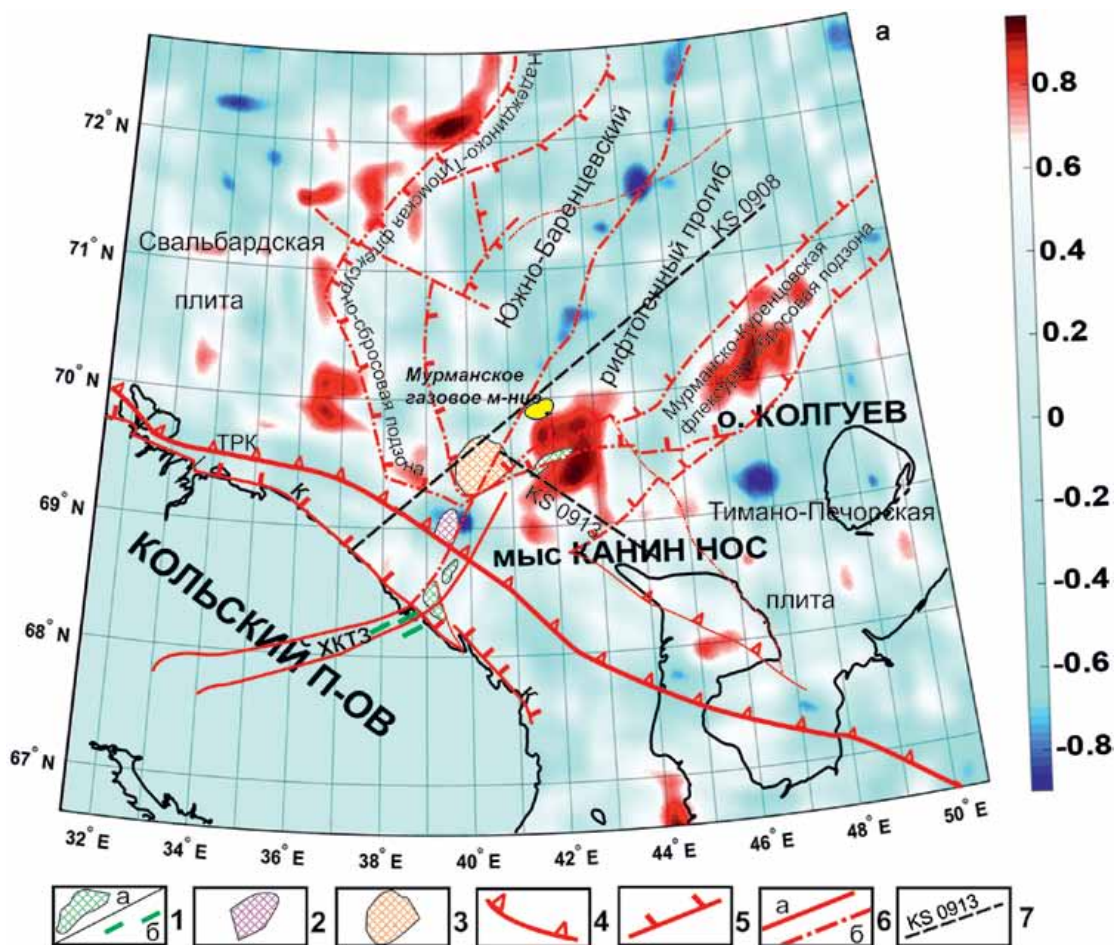


Рис. 12. а. Схема распределения коэффициентов корреляции гравимагнитных полей для высокочастотной составляющей в южной части Баренцевоморского шельфа.

1–3: гравимагнитные аномалии в пределах акватории, интерпретируемые как интрузивные массивы: 1 – основного состава, 2 – кислого состава, 3 – щелочного состава; 4–6 – разломы: 4 – взбросо-надвиговая тектоническая зона, 5 – сбросы, 6 – разломы осевой линии Южно-Баренцевской впадины: 6а – на суше, 6б – в акватории; 7 – линия разреза, показанного на рис. 12б. Справа – шкала коэффициента корреляции от +1 до –1.

б. Фрагмент глубинного динамического разреза по профилю KS0913 (Шельфовые..., 2020) с дополнениями.

1 – разрывные нарушения, 2 – сейсмические границы комплексов, 3 – интрузивные тела, внедрившиеся в осадочную толщу девона.

Fig. 12. а. Distribution of correlation coefficients of gravimagnetic fields for the high-frequency component in the southern part of the Barents Sea shelf.

1–3: gravimagnetic anomalies within the water area, interpreted as intrusive arrays: 1 – of the basite composition, 2 – of the acidic composition, 3 – of the alkaline composition; 4–6 – faults: 4 – overhang tectonic zone, 5 – discharges, 6 – the faults of axial line of Southern Barents rift trough: 6a – on land, 6b – in water area. 7 – the cut line shown in fig. 16. On the right is the correlation coefficient scale from +1 to –1.

б. A fragment of a deep dynamic section according to the profile KS0913 (Shelf..., 2020) with additions.

1 – faults, 2 – seismic boundaries of complexes, 3 – intrusive bodies embedded in the sedimentary thickness of the Devonian.



Рис. 13. Долеритовые дайки позднедевонского возраста на Баренцевоморском побережье, трассирующие Хибино-Контозерскую тектоническую зону.

Fig. 13. Dolerite dikes of late Devonian age on the Barentsevomorsky coast tracing the Hibino-Kontozersky tectonic zone.

чорской плиты с восточным бортом Южно-Баренцевской впадины, вдоль которого отмечаются аномалии положительной корреляции гравимагнитных полей. На профиле интервалы нарушенной сейсмической записи, обусловленные, по всей видимости, внедрением в осадочную толщу магматических по-

род, совпадают пространственно с вышеупомянутыми аномалиями положительной корреляции.

Судя по размерам аномалий положительной корреляции, массивы магматических пород имеют площадное распространение в виде sill-подобных тел, вероятнее всего, долеритового состава. Об этом

свидетельствуют наличие крупных (до 50 м мощностью) долеритовых даек ССВ простираения в прибрежной части Баренцева моря (рис. 13), в пределах Хибино-Контозерской тектонической зоны, являющейся структурой пропагации Восточно-Баренцевского трога в тело Балтийского щита. Эти дайки прорывают верхнерифейские отложения Ивановского грабена и имеют девонский возраст.

На северном берегу Ивановской губы выделено силлоподобное тело, сложенное долеритами. По химическому составу и петрографическим характеристикам (Терехов и др., 2020) породы силла и подводющего канала (дайка) идентичны девонским долеритам. Таким образом, данные наземных исследований предполагают формирование девонских траппов вдоль сбросовых зон Южно-Баренцевского рифтогенного прогиба. Причиной же образования такой обширной области траппового магматизма и собственно начала проявления процессов рифтогенеза в девоне на Свальбардской плите могло служить возникновение плюмового воздействия на литосферу плиты.

К похожей модели строения Баренцевоморской (Свальбардской) плиты пришли авторы статьи (Marello et al., 2013), модель была разработана ими по анализу потенциальных полей. Для Баренц-региона авторы отмечают довольно сложное строение земной коры, выделяя в юго-восточной части баренцевоморского шельфа сильномагнитные блоки фундамента докембрийского заложения и структуры верхней коры, сформированные в более позднее время. Результаты наших исследований достаточно хорошо коррелируются с этими данными и детализируют их.

Представляет интерес и тот факт, что вдоль осевой линии Южно-Баренцевской впадины (см. рис. 12а), простирается цепочка аномалий отрицательной корреляции, где положительные гравитационные аномалии совпадают с отрицательными магнитными аномалиями. То есть, вдоль оси впадины располагаются источники аномалий с высокой плотностью, но с пониженной намагниченностью. Пространственно эта цепочка аномалий отрицательной корреляции совпадает с центральным разломом впадины, который являлся в свое время осью растяжения земной коры в процессе рифтинга. Однако природа этих образований остается пока неясной. Примечательно, что к этой осевой структуре у 70-й параллели приурочено Мурманское газовое месторождение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам комплексной интерпретации аномального магнитного поля и других геолого-геофизических данных была установлена природа источников магнитных аномалий, расположенных на разных структурных уровнях земной коры юго-западной части шельфа Баренцева моря. Магнитоактивный слой этого региона имеет сложное стро-

ение, в разрезе которого присутствуют как минимум два структурных уровня, отражающих определенные этапы эволюции земной коры.

Нижний уровень представлен массивными блоками глубинного заложения и отвечает, вероятней всего, комплексу SDR, представляющему собой чередование тектонических пластин континентального материала с базит-ультрабазитами, внедрившимся в кору на пострифтовой стадии раскола континента. Зона положительных линейных аномалий магнитного поля фактически отражает дивергентную границу древней континентальной плиты Балтика, которая возникла при фрагментации суперконтинента Колумбия (Палеопангея) в среднем рифее и формировании рифейского океанического бассейна, а затем была завуалирована последующими тектоническими процессами.

Верхний структурный уровень свидетельствует о внедрении в верхние слои земной коры по зонам рифтообразующих разломов магмы основного состава в позднедевонское время в процессе континентального рифтинга на Свальбардской плите. Это подтверждается наличием проявлений основного магматизма в пределах зоны пропагации Южно-Баренцевской рифтогенной впадины в тело Балтийского щита.

Для двух аномалий, расположенных на морском продолжении Хибино-Контозерской тектонической зоны и вызывающих интерес с точки зрения их возможной перспективы на УВ-сырье (Балуев и др., 2020), методом подбора эквивалентных моделей, соответствующих субвертикальным интрузивным телам, определены диапазоны залегания их верхних и нижних кромок на глубинах 7–14 и 20–45 км соответственно.

Благодарности

В статье использовались материалы из архивов ФГБУ “Росгеолфонд” по работам ГНЦ ФГУГП “Южморгеология” в Баренцевом море.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балуев А.С. (2006) Геодинамика рифейского этапа эволюции северной пассивной окраины Восточно-Европейского кратона. *Геотектоника*. **40**(3). 183-196. DOI: 10.1134/S0016852106030034
- Балуев А.С., Брусиловский Ю.В., Иваненко А.Н. (2018) Структура земной коры Онежско-Кандалакшского палеорифта по данным комплексного анализа аномального магнитного поля акватории Белого моря. *Электронный журнал Геодинамика и тектонофизика*, **9**(4), 1293-1312. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-4-0396>
- Балуев А.С., Морозов Ю.А., Терехов Е.Н., Баянова Т.Б., Тюпанов С.Н. (2016) Тектоника области сочленения Восточно-Европейского кратона и Западно-Арктической платформы. *Геотектоника*, (5), 3-35. DOI:10.7868/S0016853X16050027
- Балуев А.С., Морозов Ю.А., Терехов Е.Н., Щербакowa Т.Ф., Баянова Т.Б., Серов П.А. (2020) Массивы

- дезинтегрированных гранитоидов в зоне сочленения Восточно-Европейской и Западно-Арктической платформ: состав, возраст и углеводородный потенциал. *Геотектоника*, (2), 32-47. DOI: 10.31857/S0016853X20020022
- Балуев А.С., Журавлев В.А., Терехов Е.Н., Пржиялговский Е.С. (2012) Тектоника Белого моря и прилегающих территорий (Объяснительная записка к “Тектонической карте Белого моря и прилегающих территорий” масштаба 1 : 1 500 000). Тр. ГИН РАН. Вып. 597. М.: ГЕОС, 104 с.
- Баренцевоморская шельфовая плита. (1988) Тр. ВНИИ Океангеология. Т. 196. 263 с.
- Богданов Н.А. (2001) Континентальные окраины: общие вопросы строения и тектонической эволюции. *Фундаментальные проблемы общей тектоники*. М.: Науч. мир, 231-249.
- Брусиловский Ю.В., Городницкий А.М., Горшков А.Г., Иваненко А.Н., Филин А.М., Хан Ю.В., Шишкина Н.А. (2007) Анализ геомагнитного поля Белого моря. *Океанология*, **47**(3), 439-447.
- Волк В.Э. (1984) Геомагнитная характеристика земной коры Северной полярной области Земли. *Структура земной коры Мирового океана*. Л.: Севморгеология, 38-45.
- Государственная геологическая карта РФ – R-35-36 м-ба 1 : 1 000 000 (третье поколение). (2007) СПб., ВСЕГЕИ.
- Государственная геологическая карта РФ – R-37-38 м-ба 1 : 1 000 000 (третье поколение). (2008) СПб., ВСЕГЕИ.
- Журавлев В.А., Павлов С.П., Рыжова Е.Ю., Шлыкова В.В. (2012) Структура земной коры Российской части Баренцева моря. *Мат.-лы Второй Междунар. науч.-практич. конф. ЕАГО*, Сочи.
- Иваненко А.Н., Брусиловский Ю.В., Филин А.М., Шишкина Н.А. (2012) Современные технологии обработки и интерпретации магнитных данных при работах на морских месторождениях нефти и газа. *Геофизика*, (3), 60-71.
- Иваненко А.Н., Шишляев В.В. (2013) Автоматическое картирование источников потенциальных полей. *Мат.-лы XX Междунар. науч. конф. Школа по морской геологии*. Т. 5. М.: ГЕОС, 116-119.
- Кузнецов Н.Б. (2006) Кембрийская коллизия Балтики и Арктиды, ороген Протоуралид Тиманид и продукты его размыва в Арктике. *Докл. АН*, **411**(6), 788-793.
- Кузнецов Н.Б. (2008) Кембрийский ороген протоуралид-тиманид: структурные доказательства коллизии природы. *Докл. АН*, **423**(6), 774-779.
- Пальшин Н.А., Иваненко А.Н., Алексеев Д.А. (2020) Неоднородное строение магнитоактивного слоя Курильской островной дуги. *Геодинамика и тектонофизика*, **11**(3), 583-594.
- Сенин Б.В., Шипилов Э.В. (1993). Классификация и номенклатура региональных структурных элементов метаплатформы. *Осадочный чехол Западно-Арктической метаплатформы*. НИИ Моргеофизики, ИПП “Север”, г. Мурманск, 16-25.
- Строение литосферы российской части Баренц-региона. (2005) (Ред.: Н.В. Шаров, Ф.П. Митрофанов, М.Л. Верб, К. Гиллен) Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 318 с.
- Тектоническая карта Белого моря и прилегающих территорий. М-б 1 : 1 500 000. (2010) (Гл. ред.: М.Г. Леонов, Г.С. Казанин, отв. ред. А.С. Балуев) М.: ИПП Куна.
- Терехов Е.Н., Баянова Т.Б., Балуев А.С., Кузнецов Н.Б., Щербак Т.Ф., Серов П.А. (2020) Геохимия палеозойских долеритовых даек северо-востока Кольского полуострова и их соотношения с трапповым и щелочным магматизмом. *Геохимия*, **65**(8), 752-767. DOI: 10.31857/S0016752520080099
- Хаин В.Е., Левин Л.Э. (2001) Тектоника континентов и океанов. *Геология и геофизика*, **42**(11/12), 1724-1738.
- Шельфовые осадочные бассейны Российской Арктики: геология, геоэкология, минерально-сырьевой потенциал (2020), (Ред. Г.С. Казанин). АО “МАГЭ”, Мурманск, СПб., 544 с.
- Шипилов Э.В., Тарасов Г.А. (1998) Региональная геология нефтегазоносных осадочных бассейнов Западно-Арктического шельфа. Апатиты: КНЦ РАН. 306 с.
- Шкарубо С.И., Шипилов Э.В. (2007) Тектоника Западно-Арктической платформы. *Разведка и охрана недр*, (9), 32-47.
- Филатова Н.И., Хаин В.Е. (2010) Кратон Арктида и неопротерозойские-мезозойские орогенные пояса Циркумпольного региона. *Геотектоника*, (3), 3-29.
- Artemieva I.M. (2009) The continental lithosphere: Reconciling thermal, seismic, and petrologic data. *Lithos*, **109**, 23-46.
- Gee D.G., Pease V., editors al. (2004) The Neoproterozoic Timanide Orogen of eastern Baltica: Introduction. *Geol. Soc. Lond., Mem.*, **30**, 1-3.
- Jauer Ch.D., Oakey G.N., Li Q. (2019) Western Davis Strait, a volcanic transform margin with petroliferous features. *Marine and Petrol. Geol.*, **107**, 59-80.
- Lister R.J., Kerr R.C. (1991) Fluid-mechanical models of crack propagation and their application to magma transport in dykes. *J. Geophys. Res. Atmospher.*, **96**(6), 10049-10077. DOI: 10.1029/91jB00600
- Marello L., Ebbing J., Gernigon L. (2013) Basement inhomogeneities and crustal setting in the Barents Sea from a combined 3D gravity and magnetic model. *Geophys. J. Intern.* Advance Access published, 1-28. doi: 10.1093/gji/ggt018
- Puchkov V.N. (1997) Structure and geodynamics of the Uralian orogen. *Orogeny through time*. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, **121**, 201-234.
- Siedlecka A. (1985) Development of the Upper Proterozoic sedimentary basins of the Varanger peninsula, East Finnmark, North Norway *Geol. Surv. Finl. Bull.*, **331**, 175-185.
- Siedlecka A., Negrutsa V., Pickering K. (1995) Upper Proterozoic Turbidite System of the Rybachi Peninsula, northern Russian – a possible stratigraphic counterpart of the Kongsfjord Submarine Fan of the Varanger Peninsula, northern Norway. *Nor. Geol. Unders. Spec. Publ.*, **7**, 201-216.
- Talwani M., Abreu V. (2000) Inferences regarding I Rnitiation of oceanic crust formation from the U.S. East Coast Margin and Conjugate South Atlantic. *Margins Geophys. Monograph. Ser.*, **115**, 211-233.
- Verhoef J., Roest W.R., Macnab R. et al. (1996) Magnetic Anomalies of the Arctic and North Atlantic Oceans and Adjacent Land Areas. *Geol. Surv. Canada. Open File*. **3**, 125 a.

REFERENCES

- Artemieva I. M. (2009) The continental lithosphere: Reconciling thermal, seismic, and petrologic data. *Lithos.*, **109**, 23-46.
- Baluev A.S. (2006) Geodynamics of the Rifean stage of evolution of the northern passive margin of the East European craton. *Geotektonika*, **40**(3), 183-196. (In Russ.) DOI: 10.1134/S0016852106030034
- Baluev A.S., Brusilovsky Yu.V., Ivanenko A.N. (2018) The crustal structure of Onega-Kandalaksha paleorift identified by

- complex analysis of the anomalous magnetic field of the White Sea. *Geodinamika i tectonofizika*, **9**(4), 1293-1312. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-4-0396>
- Baluev A.S., Morozov Yu.A., Terekhov E.N., Bayanova T.B., Tyupanov S.N. (2016) Tectonics of the Junction Region between the Eastern European Craton and the West Arctic Platform. *Geotektonika*, **50**(5), 453-483. (In Russ.)
- Baluev A.S., Morozov Yu.A., Terekhov E.N., Shcherbakova T.F., Bayanova T.B., Serov P.A. (2020) Massifs of disintegrated granitoids in the junction zone of the East European and West Arctic platforms: composition, age and hydrocarbon potential. *Geotektonika*, **54**(2), 173-187. (In Russ.) DOI: 10.1134/S0016852120020028
- Baluev A.S., Zhuravlev V.A., Terekhov E.N., Przhiyalgovskii E.S. (2012) Tectonics of the White Sea and adjacent territories (Explanatory note to the "Tectonic map of the White Sea and adjacent territories" scale 1 : 1 500 000). Proc. GIN RAS. **597**. Moscow, GEOS Publ., 104 p. (In Russ.)
- Barents Sea Shelf plate. (1988) Proc. of the VNII Okeanologiiya. V. 196, 263 p. (In Russ.)
- Bogdanov N.A. (2001) Continental margins: general issues of structure and tectonic evolution. *Fundamental problems of general tectonics*. Moscow, Nauchnyi mir. Publ., 231-249. (In Russ.)
- Brusilovsky Yu.V., Gorodnitsky A.M., Gorshkov A.G., Ivanenko A.N., Filin A.M., Khan Yu.V., Shishkina N.A. (2007) Analysis of the White Sea geomagnetic field. *Okeanologiya*, **47**(3), 439-447. (In Russ.)
- Gee D.G. and Pease V., editors al. (2004) The Neoproterozoic Timanide Orogen of eastern Baltica: Introduction: *Geol. Soc. Lond., Mem.* **30**, 1-3.
- Filatova N.I., Khain V.E. (2010) The Arctida Craton and Neoproterozoic-Mesozoic orogenic belts of the Circum-Polar region. *Geotektonika*, **44** (3), 3-29. (In Russ.)
- Ivanenko A.N., Brusilovsky Yu.V., Filin A.M., Shishkina N.A. (2012) Modern technologies for processing and interpreting magnetic data during work at offshore oil and gas fields. *Geofizika*, (3), 60-71 (In Russ.)
- Ivanenko A.N., Shishlyaev V.V. (2013) Automatic mapping of sources of potential fields. *Materials XX Inter. Sci. Conf. (Schools in marine geology)*. V. 5 Moscow, GEOS Publ., 116-119. (In Russ.)
- Jauer Ch.D., Oakey G.N., Li Q. (2019) Western Davis Strait, a volcanic transform margin with petroliferous features. *Mar. Petrol. Geol.*, **107**, 59-80.
- Khain V.E., Levin L.E. (2001) Tectonics of continents and oceans. *Geol. Geofiz.*, **42**(11/12), 1724-1738 (In Russ.)
- Kuznetsov N.B. (2006) The Cambrian Baltica-Arctida Collision, Pre-Uralide-Timanide Orogen, and Its Erosion Products in the Arctic. *Dokl. Earth Sci.*, **411**(9), 1375-1380. DOI: 10.1134/S1028334X06090091
- Kuznetsov N.B. (2008) The Cambrian Pre-Uralide-Timanide Orogen: Structural Evidence for Its Collisional Origin. *Dokl. Earth Sci.*, **423**(9), 1383-1387. DOI: 10.1134/S1028334X08090122
- Palshin N.A., Ivanenko A.N., Alekseev D.A. (2020) Heterogeneous structure of the magnetoactive layer of the Kuril island arc. *Geodinamika i tectonofizika*, **11**(3), 583-594. (In Russ.)
- Lister R.J., Kerr R.C. (1991) Fluid-mechanical models of crack propagation and their application to magma transport in dykes. *J. Geophys. Res. Atmosphere*, **96**(6), 10049-10077, DOI: 10.1029/91JB00600
- Lithosphere structure of the Russian part of the Barents region (2005) (Eds.: N.V. Sharov, F.P. Mitrofanov, M.L. Verba, K. Gillen). Petrozavodsk, Karelskii NTs RAS, 318 p.
- Marello L., Ebbing J., Gernigon L. (2013) Basement inhomogeneities and crustal setting in the Barents Sea from a combined 3D gravity and magnetic model. *Geophys. J. Intern.* Advance Access published, 1-28. doi: 10.1093/gji/ggt018
- Puchkov V.N. (1997) Structure and geodynamics of the Uralian orogen. *Orogeny through time. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, **121**, 201-234.
- Senin B.W., Shipilov E.V. (1993) Classification and nomenclature of regional structural elements of the metaplatform. *Sedimentary cover of the Western Arctic metaplatform*. Research Institute Morgeophysica. IPP "Nord", Murmansk, 16-25.
- Shkarubo A.S., Shipilov E.V. (2007) Tectonics of the Western Arctic Platform. *Razvedka i Okhrana Nedr*, (9), 32-47 (In Russ.)
- Shelf sedimentary basins of the Russian Arctic: geology, geo-ecology, mineral resources potential. (2020) (Ed. G.S. Kazanin). AO "MAGE". Murmansk, St.Petersburg, Renome Publ., 544 p. (In Russ.)
- Shipilov E.V., Tarasov G.A. (1998) Regional geology of oil and gas-bearing sedimentary basins of the West Arctic shelf. Apatites, KSC RAS, 306 p. (In Russ.)
- Siedlecka A. (1985) Development of the Upper Proterozoic sedimentary basins of the Varanger peninsula, East Finnmark, North Norway, *Geol. Surv. Finl. Bull.*, **331**, 175-185.
- Siedlecka A., Negrutsa V., Pickering K. (1995) Upper Proterozoic Turbidite System of the Rybachii Peninsula, northern Russian – a possible stratigraphic counterpart of the Kongsfjord Submarine Fan of the Varanger Peninsula, northern Norway. *Nor. Geol. Unders. Spec. Publ.*, (7), 201-216.
- State Geological Map of the Russian Federation Scale 1 : 1 000 000 (new series). Sheet R-35-36. (2007) St.Petersburg, VSEGEI Publ, (In Russ.)
- State Geological Map of the Russian Federation Scale 1 : 1 000 000 (new series). Sheet R-37-38. (2007) St.Petersburg, VSEGEI Publ, (In Russ.)
- Talwani M., Abreu V. (2020) Inferences regarding initiation of oceanic crust formation from the U.S. East Coast Margin and Conjugate South Atlantic. *Margins Geophysical Monograph Series*, **115**, 211-233.
- Tectonic map of the White Sea and adjacent areas. At a scale of 1 : 1 500 000. (2010) (Chief eds: M.G. Leonov, G.S. Kazanin; Managing Ed.: A.S. Baluev). Moscow, IPP KUNA Publ. (In Russ.)
- Terekhov E.N., Bayanova T.B., Baluev A.S., Kuznetsov N.B., Shcherbakova T.F., Serov P.A. (2020) Geochemistry of Paleozoic Dolerite Dikes in the Northeastern Kola Peninsula and Their Relations to Flood-Basalt and Alkaline Magmatism. *Geochem. Int.*, V. **58**(8), 887-902. DOI: 10.1134/S0016702920080091
- Verhoef J., Roest W.R., Macnab R. et al. (1996) Magnetic Anomalies of the Arctic and North Atlantic Oceans and Adjacent Land Areas. *Geol. Surv. Canada. Open File*. 3, 125 a.
- Volk V.E. (1984) Geomagnetic description of Earth's crust of Northern Polar area of the Earth. *Structure of the World ocean earth's crust*. Leningrad, PGO Sevmorelogiya Publ., 38-45. (In Russ.)
- Zhuravlev V.A., Pavlov S.P., Ryzhova E.Yu., Shlykova V.V. (2012) Structure of the Earth's crust of the Russian part of the Barents Sea. *Materials of the second international scientific and practical conference of the EAGO*. Sochi: EAGO. (In Russ.)