

Изучение строения земной коры северных широт гравиметрическим и магнитометрическим методами

М. С. Чадаев¹, В. И. Костицын², Г. В. Простолупов¹, М. В. Тарантин¹, Ю. В. Баранов¹

¹Горный институт УрО РАН, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А, e-mail: gena-prost@yandex.ru

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: kostitsyn@psu.ru

Поступила в редакцию 27.11.2025 г., принята к печати 13.02.2026 г.

Объект исследования. Центральные-Арктические поднятия, включая Канадскую котловину, хребет Нортвинд, Чукотское плато, хребет Менделеева и хребет Ломоносова. **Цель.** Исследование возможностей гравиметрического и магнитометрического методов для изучения глубинного строения земной коры и неоднородностей горных пород. **Материалы и методы.** Авторские методы ВЕКТОР, ПОЛЮС и АДМИТТАНС. Первые два метода являются специальными для интерпретации потенциальных полей в гравиметрии и магнитометрии, а метод АДМИТТАНС – одна из форм описания всеобщей взаимосвязи земных процессов, использующая соотношение аномального гравитационного и магнитного полей и позволяющая расширить сферу применения в геологии. **Результаты.** Получен горизонтальный срез гравитационного куба Северного полюса, контура Центрально-Арктического ареала, сочленения Гренландской, Евразийской и Северо-Американской плит, Срединно-Атлантического хребта, а также гравиметрический разрез модели в сравнении со скоростной моделью земной коры и верхней мантии по профилю глубинного сейсмического зондирования. **Выводы.** Гравиметрическая карта, построенная в системе ВЕКТОР, согласуется с картографической сейсмической моделью European Moho и рекомендуется для изучения внутреннего строения хребтов, котловин, островов и других объектов моря и суши. Метод АДМИТТАНС отражает Центральные-Арктические поднятия значительно рельефнее, чем в отдельности карты гравитационного и магнитного поля. Применение метода ПОЛЮС позволяет локализовать источники аномалий от структур, разломов, ступенчатых форм фундамента и предлагается для локализации, прослеживания и уточнения границы Мохоровичича (Мохо).

Ключевые слова: земная кора, Мохо, шельф, море, хребты и впадины, котловины, Центральные-Арктические поднятия, гравиметрия, магнитометрия, метод ВЕКТОР, метод ПОЛЮС, метод АДМИТТАНС

Research into the Earth's crust structure in northern latitudes by gravimetric and magnetometric methods

Mikhail S. Chadaev¹, Vladimir I. Kostitsyn², Gennady V. Prostolupov¹,
Mikhail V. Tarantin¹, Yuriy V. Baranov¹

¹Mining Institute, UB RAS, 78A Sibirskaya st., Perm 614007, Russia, e-mail: gena-prost@yandex.ru

²Perm State University, 15 Bukirev st., Perm 614068, Russia, e-mail: kostitsyn@psu.ru

Received 27.11.2025 г., accepted 13.02.2026

Research subject. The Central Arctic Rise (CAR), including the Canada Basin, Northwind Ridge, Chukchi Plateau, Mendeleev Ridge, and Lomonosov Ridge. **Aim.** To explore the potential of gravimetric and magnetometric methods for studying the deep structure of the Earth's crust and rock heterogeneities. **Materials and methods.** The VECTOR, POLE, and ADMITTANS methods developed by the authors were used. The first two methods are intended for interpreting potential fields in gravimetry and magnetometry, while the ADMITTANS method is a form of describing the general interrelationship of terrestrial processes, using the ratio of anomalous gravitational and magnetic fields and allowing for expanded application in geology. **Results.** A horizontal section of the North Pole gravity cube, the contour of the Central Arctic area, the junction of the Greenland, Eurasian, and North American plates, and the Mid-Atlantic Ridge were obtained, as well as a gravimetric section of the model compared to the velocity model of the Earth's crust and upper mantle along the deep seismic sounding (DSS) profile. **Conclusions.** The gravimetric map constructed using the VECTOR system is

Для цитирования: Чадаев М.С., Костицын В.И., Простолупов Г.В., Тарантин М.В., Баранов Ю.В. (2026) Изучение строения земной коры северных широт гравиметрическим и магнитометрическими методами. *Литосфера*, 26(4), 799–808. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2026-26-4-799-808>. EDN: YXVCHA

For citation: Chadaev M.S., Kostitsyn V.I., Prostolupov G.V., Tarantin M.V., Baranov Yu.V. (2026) Research into the Earth's crust structure in northern latitudes by gravimetric and magnetometric methods. *Lithosphere (Russia)*, 26(4), 799–808. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2026-26-4-799-808>. EDN: YXVCHA

© М.С. Чадаев, В.И. Костицын, Г.В. Простолупов, М.В. Тарантин, Ю.В. Баранов, 2026

consistent with the European Moho seismic mapping model and is recommended for studying the internal structure of ridges, basins, islands, and other marine and land features. The ADMITTANS method reflects the Central Arctic uplifts with a significantly greater relief than gravity and magnetic field maps alone. The use of the POLE method is effective for localizing the sources of anomalies from structures, faults, and stepped basement features and is proposed for localizing, tracing, and refining the Moho boundary.

Keywords: *Earth's crust, Moho, shelf, sea, ridges and depressions, basins, Central Arctic uplifts, gravimetry, magnetometry, VECTOR, POLE, ADMITTANCE methods*

ВВЕДЕНИЕ

Северные территории Земли в последнее время привлекают повышенное внимание ведущих стран мира. Истощение запасов полезных ископаемых в традиционных местах освоения недр и в то же время быстрое развитие технологий подталкивают принимать меры для более активного изучения геологии Севера. Возможности легких, не требующих значительных затрат методов, основанных на интерпретации данных гравитационного и магнитного полей с помощью современных методов, могут получить новое развитие.

Изучаемый регион имеет неоднородную геологическую структуру и обладает следующими предпосылками для исследования потенциальных полей. Фенноскандинавский щит, ограничивающий рассматриваемую территорию с запада, выражен в наблюдаемом гравитационном поле отрицательными значениями порядка -10 мГал, в магнитном поле – положительными: от 0 до 200 нТл, для него характерна высокая сейсмическая активность, в особенности на побережье Норвегии (Нарышкин, 1987; Гайнанов, Пантелеев, 1991; Шаров, 2017).

Плотность пород верхней части континентальной коры на данной территории составляет 2.65 г/см³, нижней – 2.87 г/см³. Для океанической коры под осадочным слоем плотность может быть также принята 2.87 г/см³. Поле корреляции между значениями аномалий силы тяжести (плотность 2.67 г/см³, осреднение в радиусе 100 км) и глубинами границы Мохо (в км) для Циркумполярной области и Евразии приведено в работах (Кашубин и др., 2011; Шаров, 2017).

Совмещенные данные сейсморазведки и гравиметрии на основе корреляционной связи между скоростью продольных волн V_p и плотностью σ позволяют вычислить отношения (АДМИТТАНС) для структурно-тектонического анализа (Баранов, 2016; Шаров, 2017; Чадаев и др., 2023). Зависимость между коэффициентами трансформанты в системе ВЕКТОР и геологическими параметрами позволяет выявить особенности глубинного строения раздела Мохо, изучить скрытые на большой глубине подводные поднятия и понижения и в итоге получить сведения о морфологии и взаимном положении объектов.

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ГРАВИТАЦИОННОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ

Метод ВЕКТОР. Компьютерная система разработана в Горном институте Уральского отделения РАН под руководством проф. В.М. Новоселицкого. Программа ВЕКТОР предоставляет возможность выбора алгоритма расчета: классическое осреднение с разделением поля на локальную и региональную составляющие, подобно приемам Тихонова – Буланже, Гриффина, Саксова – Нигарда, или использование истокообразных аппроксимаций (Тарантин, 2016; Долгаль, 2023). На выходе программа позволяет параметрически отобразить плотностную структуру недр в цветном изображении.

С увеличением размеров сканирующего окна (осреднения) происходит увеличение глубины “зондирования” геологической среды, т. е. возрастает эффективная мощность изучаемого слоя. Это позволяет предположить, что локальная составляющая поля отражает строение верхней части разреза – от земной поверхности до некоторой эффективной глубины $h_{эф(i)}$, определяемой коэффициентом трансформации k_i . При увеличении коэффициента трансформации k_{i+1} , эффективная глубина (глубина “зондирования”) также возрастет и станет равной $h_{эф(i+1)}$. Тогда разностную составляющую поля градиентов можно считать отражением строения “пачки пород” на глубине от $h_{эф(i)}$ до $h_{эф(i+1)}$, понимая под “пачкой пород” квазигоризонтальный слой, заключающий в себе совокупность источников поля, например точечных. В результате получаем разностную карту восстановленного поля, определяемую двумя коэффициентами трансформации и двумя соответствующими эффективными глубинами.

Рассчитав серию разностных карт (слоев) восстановленного поля, получаем объемное распределение трансформант или трехмерную разностную диаграмму. По вертикальной шкале такой диаграммы откладывается коэффициент трансформации k или эффективные глубины $h_{эф}$. Рассчитанная изложенным путем диаграмма приближенно отражает объемное распределение плотности горных пород, хотя и в размерности трансформанты V_z (в рамках модели), поэтому ее можно считать “квази-

плотностной" моделью среды (Простолупов и др., 2006).

Метод АДМИТТАНС. Геологические тела, различающиеся плотностью и намагниченностью, образуют аномалии разного рода. Данный метод позволяет оценить взаимосвязи между физическими полями (Чадаев и др., 2012). Связь гравитационного и магнитного полей выражается формулой Пуассона:

$$U = -\frac{J}{f\sigma} \frac{\partial V}{\partial i},$$

где U – магнитный потенциал, J – намагниченность, V – гравитационный потенциал, f – гравитационная постоянная, σ – плотность вещества.

Исходя из формулы Пуассона, для применения метода АДМИТТАНС требуется построение поля отношений V_{zz}/T_a , но, учитывая подобие полей V_{zz} и Δg , в этом нет практической необходимости (Чадаев и др., 2012).

Наглядной представляется карта модуля горизонтального градиента этого отношения, вычисляемого по формуле Gradient module $(I) = (A^2 + B^2)^{1/2}$, где для приведенного далее участка сеточного слоя имеем:

	$i4$	
$i1$	I	$i2$
	$i3$	

Здесь $A = (xi2 - xi1)/(i2 - i1)$, $B = (xi4 - xi3)/(i4 - i3)$; $(i2 - i1)$ и $(i4 - i3)$ – расстояние между узлами сетки ($i2$ и $i1$) и ($i4$ и $i3$) в километрах, x – значение поля. Если в какой-нибудь из узлов сетки слоя $i1$, $i2$, $i3$, $i4$ значение поля не задано, то принимается xi , соответственно в 2 раза уменьшается знаменатель (база оценки производной: Баранов, 2016).

Метод ПОЛЮС. Использует геометрические свойства векторов полного градиента потенциала ∇V в трехмерном пространстве – быть направленными в сторону возмущающей массы. Точка пересечения пары векторов дает интерпретационную единицу P (полюс), полюсы положительного знака (красные) предполагают избыточную массу, отрицательного знака (синие) – разуплотнение. При определении ∇V необходимо знать его составляющие по осям координат, т. е. V_x , V_y и V_z .

Значение V_z измеряется непосредственно гравиметром на пунктах съемки, горизонтальные градиенты потенциала V_x , V_y определяются с помощью алгоритма истокообразных аппроксимаций поля. Вторые и третьи производные потенциала вычисляются в следующем порядке. Сначала по имеющейся аппроксимационной конструкции определяется потенциал V . Затем вычисляются первые горизонтальные V_x , V_y , вертикальная V_z и вторые производные V_{xx} , V_{yy} . Все эти расчеты можно провести аналитически ввиду относительно слабого их расхож-

дения вблизи нуля аргумента. Вторая вертикальная производная V_{zz} вычисляется через потенциал V по формуле Гендерсона и Зитца, которая может быть получена путем преобразований уравнения Лапласа в конечно-разностном виде. Третья смешанная производная V_{zx} , V_{zy} вычисляется по второй вертикальной V_{zz} , а третья вертикальная производная V_{zzz} рассчитывается по упомянутым формулам через вертикальную производную V_z .

В результате после обработки всей системы полигонов получаем диаграмму множества полюсов разного знака и массы. Вся совокупность точек пересечений является избыточной по способу построения – каждый морфологический элемент наблюдаемого поля обуславливает большое число таких пересечений одновременно. Получающаяся совокупность полюсов обычно имеет кластерный характер и потому может быть разбита на отдельные скопления, каждое из которых обуславливает ограниченный морфологический элемент исходного поля, а взаимное расположение кластеров позволяет судить в первом приближении о характере распределения возмущающих тел в изучаемом пространстве. Каждому такому скоплению точечных источников можно поставить в соответствие объем пространства и аномальную гравитационную массу (Простолупов, Тарантин, 2013).

ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУР ЗЕМНОЙ КОРЫ

Для Центрально-Арктических поднятий, включая Канадскую котловину, хр. Нортвинд, Чукотское плато, хр. Менделеева и хр. Ломоносова, нами получен срез гравиметрического куба в системе ВЕКТОР (рис. 1). Эффективная глубина среза 10–12 км в соответствии со средней глубиной очагов сейсмических событий. Местоположения землетрясений на этой карте фактически совпадают с протяженной узкой положительной аномалией среза куба гравитационного поля.

Глубоководную часть океана создают котловины Нансена и Амундсена с расположенным между ними Срединно-океаническим хребтом Гаккеля на границе Евразийской и Североамериканской раздвигающихся литосферных плит, характеризующихся мощным процессом роевых землетрясений (Федоренко, 2017; Ассиновская и др., 2019).

Интенсивность магнитных и гравитационных аномалий обуславливается составом и глубиной нахождения интрузивных тел. Основные и ультраосновные породы характеризуются повышенными значениями магнитной восприимчивости и плотности, однако серпентизированные разности этих пород имеют пониженные значения физических свойств, за исключением случаев образования магнетитов в результате разложения пироксенов. За счет раздробленности и дифференциации пород

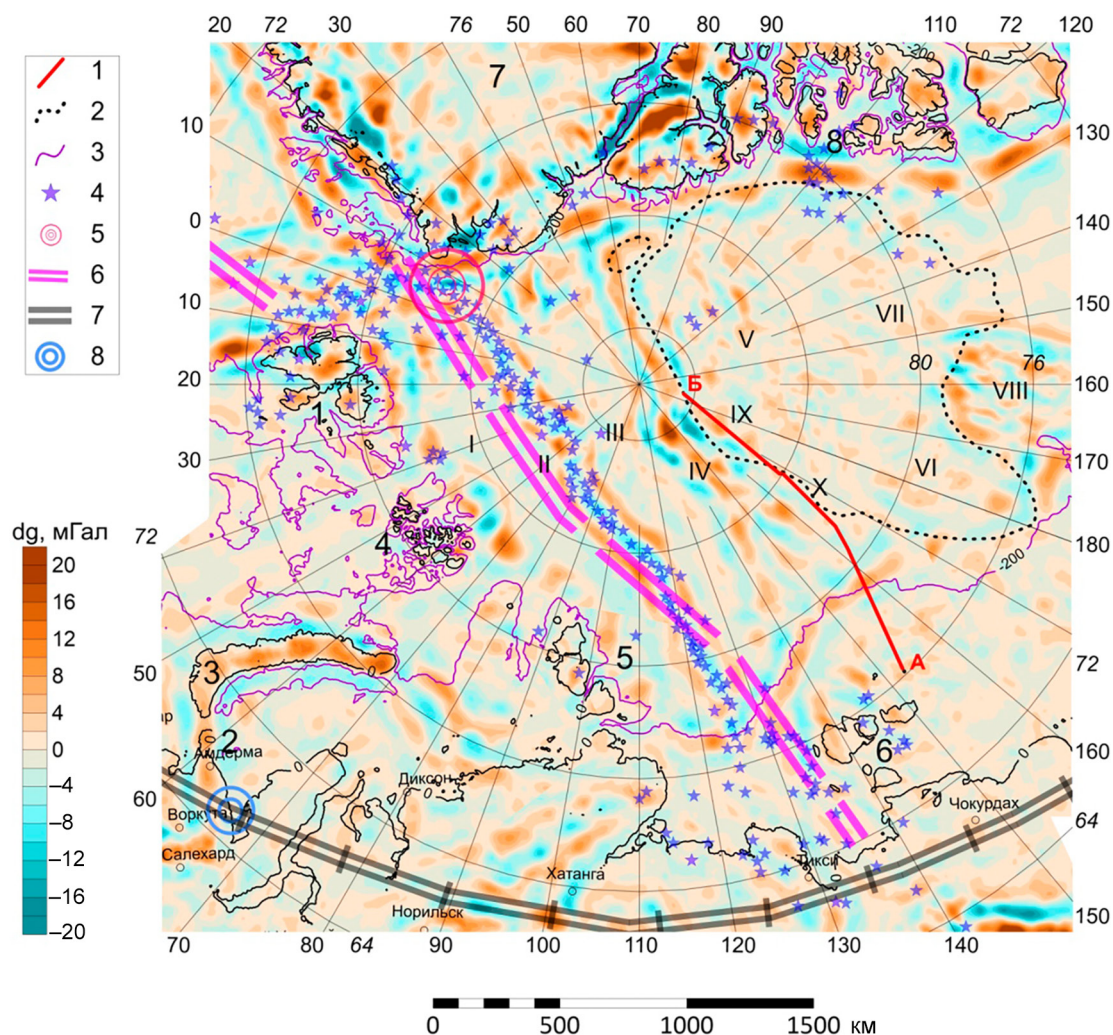


Рис. 1. Горизонтальный срез гравитационного куба в системе ВЕКТОР на эффективной глубине 12 км.

1 – положение разреза АБ, совпадающего с геотраверсом; 2 – контур Центрально-Арктического ареала (Морозов и др., 2013); 3 – изобата –200 м; 4 – эпицентры землетрясений; 5 – тройное сочленение плит: Гренландской, Евразийской и Северо-Американской (Кутинов, 2005); 6 – Срединно-Атлантический хребет; 7 – цепь глубинных кратеров (фрагмент); 8 – кратер Кара. I – котл. Нансена, II – хр. Гаккеля, III – котл. Амундсена, IV – хр. Ломоносова, V – хр. Альфа, VI – хр. Менделеева, VII – Канадская котл., VIII – Чукотское плато, IX – котл. Макарова, X – котл. Подводников, XI – Центрально-Арктические поднятия. Острова: 1 – Шпицберген, 2 – Вайгач, 3 – арх. Новая Земля, 4 – Земля Франца-Иосифа, 5 – арх. Северная Земля, 6 – Новосибирские, 7 – Гренландия, 8 – Канадские Арктические: Баффинова Земля, Элсмир, Виктория и др., находятся на территории Северной Америки.

Fig. 1. Horizontal section of the gravity cube in the VECTOR system at an effective depth of 12 km.

1 – the position of the AB section coinciding with the geotraverse; 2 – contour of the Central Arctic area (Morozov et al., 2013); 3 – isobath –200 m; 4 – earthquake epicenters; 5 – triple junction of the Greenland, Eurasian, and North American plates (Kutinov, 2005); 6 – Mid-Atlantic Ridge; 7 – Chain of deep craters (fragment); 8 – Kara Crater. I – Nansen Basin, II – Gakkel Ridge, III – Amundsen Basin, IV – Lomonosov Ridge, V – Alpha Ridge, VI – Mendeleev Ridge, VII – Canadian Basin, VIII – Chukchi Plateau, IX – Makarov Basin, X – Basin. Podvodnikov, XI – Central Arctic uplifts. Islands: 1 – Spitsbergen, 2 – Vaygach, 3 – Novaya Zemlya Archipelago, 4 – Franz-Josef Land, 5 – Severnaya Zemlya Archipelago, 6 – New Siberian Islands, 7 – Greenland, 8 – Canadian Arctic Islands: Baffin Island, Ellesmere Island, Victoria Island, etc., located in North America.

в зоне разлома также наблюдается относительное уменьшение скорости продольных волн и плотности. В общем случае в полосе разломов отмечается согласованная плановая изменчивость аномальных гравитационного и магнитного полей. Основываясь на этом факте, для трассирования разломов можно

выделить узкие протяженные участки с равной относительной напряженностью полей. Данная задача была апробирована при использовании метода АДМИТТАНС – в модификации численного соотношения нормированных амплитуд силы тяжести и магнитных аномалий ($\Delta g_B / \Delta T$).

Отображение глубинного структурного плана в геофизических полях

На рис. 2 приведен профиль глубинного сейсмического зондирования (Кашубин и др., 2013) в сопоставлении с разрезом, полученным нами в системе ВЕКТОР. Можно считать, что основные детали геологического строения представляются одинаково. В частности, на рис. 2б проявляется характер морфологии аномалий: выше границы Мохо расположены аномалии малой интенсивности, ниже – наблюдаются более интенсивные аномалии разного знака, особенно в интервале разреза от 400 до 1100 км. Визуально прослеживается корреляция между поднятиями Мохо и положительными аномалиями на участках с отметками 400, 700, 1200–1300 км. В интервале от 350 до 1400 км фиксируется относительно повышенное положение границы Мохо. Положительные (1) и отрицательные (2) полюсы свидетельствуют о слоистости разреза.

Планы геологических структурных форм (см. рис. 2) на скоростной модели и по данным гравиметрии в системе ВЕКТОР, несмотря на разные под-

ходы к их отображению, имеют сходимость по существу.

При сейсморазведочных работах на нефть и газ важной интерпретационной задачей выступает изучение слоистости разреза (Бычков, 2010). Решение данной задачи является сложным и для гравиметрии, но положительные и отрицательные аномалии, полученные на рис. 2, свидетельствуют о слоистости геологического разреза и целесообразности использования данного метода.

Совместные исследования потенциальных геофизических полей и сейсмической активности позволяют выявить и уточнить природу аномалии, а именно – определить расстояния между ними и получить сведения о происходящих процессах в земной коре и верхней мантии.

Картографические модели раздела Мохо

Геофизические методы (гравиметрические, магнитометрические, сейсмические, радиометрические) широко применяются при изучении глубинного строения земной коры и расширяют возможности прогноза структурно-вещественных неоднородностей.

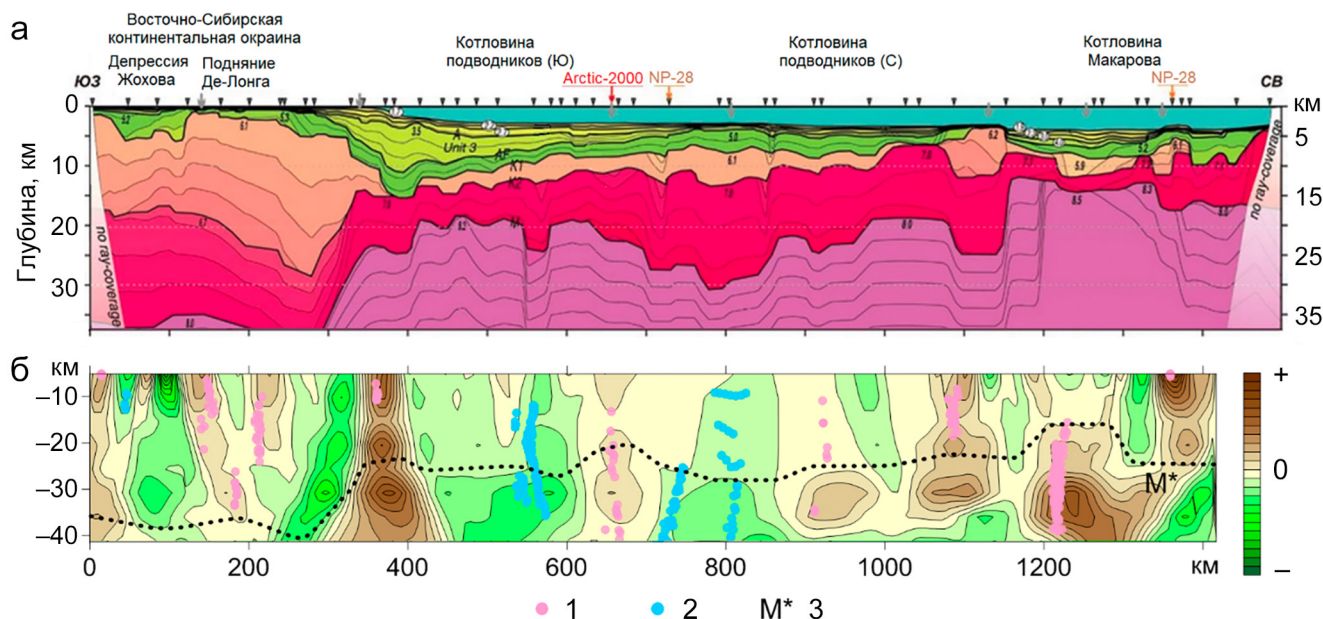


Рис. 2. Скоростная модель земной коры и верхней мантии по геотраверсу и разрез АБ гравиметрической модели в системе ВЕКТОР.

а – сейсмическая модель по геотраверсу (Кашубин и др., 2013), утолщенные линии – сейсмические границы, разделяющие слои, тонкие линии – изолинии скорости с интервалом 0.1 км/с, треугольники – пункты взрыва; б – гравиметрический разрез в системе ВЕКТОР; полюсы: 1 – положительные, 2 – отрицательные, 3 – прогнозируемое положение границы Мохо.

Fig. 2. Velocity model of the earth's crust and upper mantle along the geotraverse and AB section of the gravimetric model in the VECTOR system.

а – seismic model based on geotraverse (Kashubin et al., 2013), thick lines – seismic boundaries separating layers, thin lines – velocity isolines with an interval of 0.1 km/s, triangles – explosion points; б – gravimetric section in the VECTOR system; poles: 1 – positive, 2 – negative, 3 – predicted position of the Moho boundary.

родностей глубинных горных пород и определения геологического возраста пород. Эти обстоятельства привели к почти одновременному созданию глобальных карт Мохо Земли в ряде стран:

- Grad et al., 2009;
- Reguzzoni M. et al., 2013;
- European Moho (2009): (28 N–86 N, 40 W–70 E); (10 S–45 S–110 E–160 E);
- North America Moho (2009): (30 N–50N, 70 W–100 W);
- Italy Moho (2013): комбинация двух моделей CRUST2.0 model и GOCE data (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer).

Эти карты получены в основном по данным сейсмических методов, но в большинстве случаев с использованием гравиметрических материалов (Chadaev et al., 2019). Среди моделей Мохо выделяется Italy Moho, 2013 (Reguzzoni et al., 2013), созданная на основе сейсмической CRUST2.0 model и гравиметрических данных, полученных спутником GOCE data (Sjöberg, Bagherbandi, 2011).

Анализ карты модуля АДМИТТАНСА

На рис. 3 приведена карта гравитационного поля, а на рис. 4 – карта магнитного поля. Эти карты использовались для расчета модуля АДМИТТАНСА, позволяющего выделять переходы и свя-

зи между аномалиями, которые слабо отражаются в геофизических полях по отдельности. Данный метод хорошо отражает морфологию хр. Гаккеля и его сопряжение со Срединно-океаническим хребтом Атлантического океана (см. рис. 1, 5). Такая связь слабо прослеживается при анализе аномального магнитного поля и намного лучше – в гравитационном поле.

Метод АДМИТТАНСА позволяет отчетливо выделить хр. Нортвинд и группу аномалий в северной части хр. Ломоносова и Менделеева. Линии максимальных значений параметра совпадают с расположением эпицентров сейсмических событий в центральной части полярного региона и в районе хр. Гаккеля. Если рассматривать Чукотское плато, расположенное к северу от окраины Аляски, то на карте (см. рис. 5) отчетливо очерчиваются его границы и прослеживаются многочисленные локальные аномалии, отражающие сеть разломов северного направления.

ЦЕНТРАЛЬНО-АРКТИЧЕСКИЕ ПОДНЯТИЯ

Центрально-Арктические поднятия включают хр. Нортвинд, Чукотское плато, хр. Менделеева, хр. Ломоносова, Канадскую котловину (см. рис. 5). По данным (Морозов и др., 2013), имеются свидетельства о континентальной природе земной коры

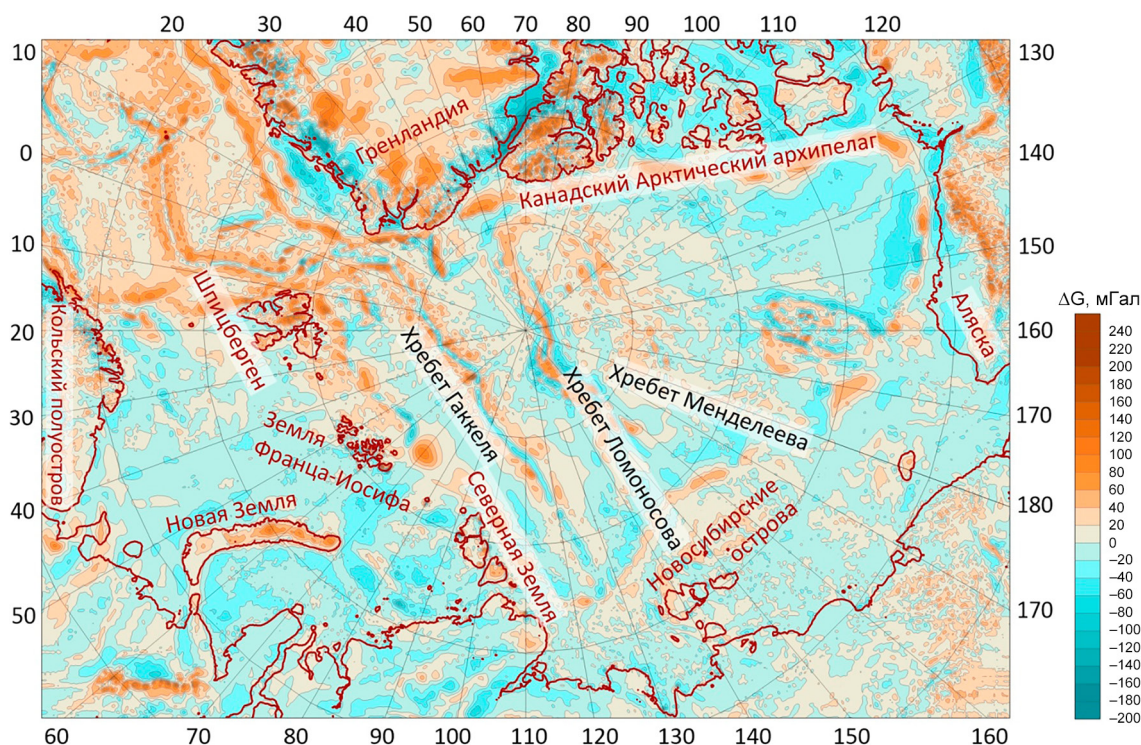


Рис. 3. Карта гравитационного поля.

Fig. 3. Gravitational field map.

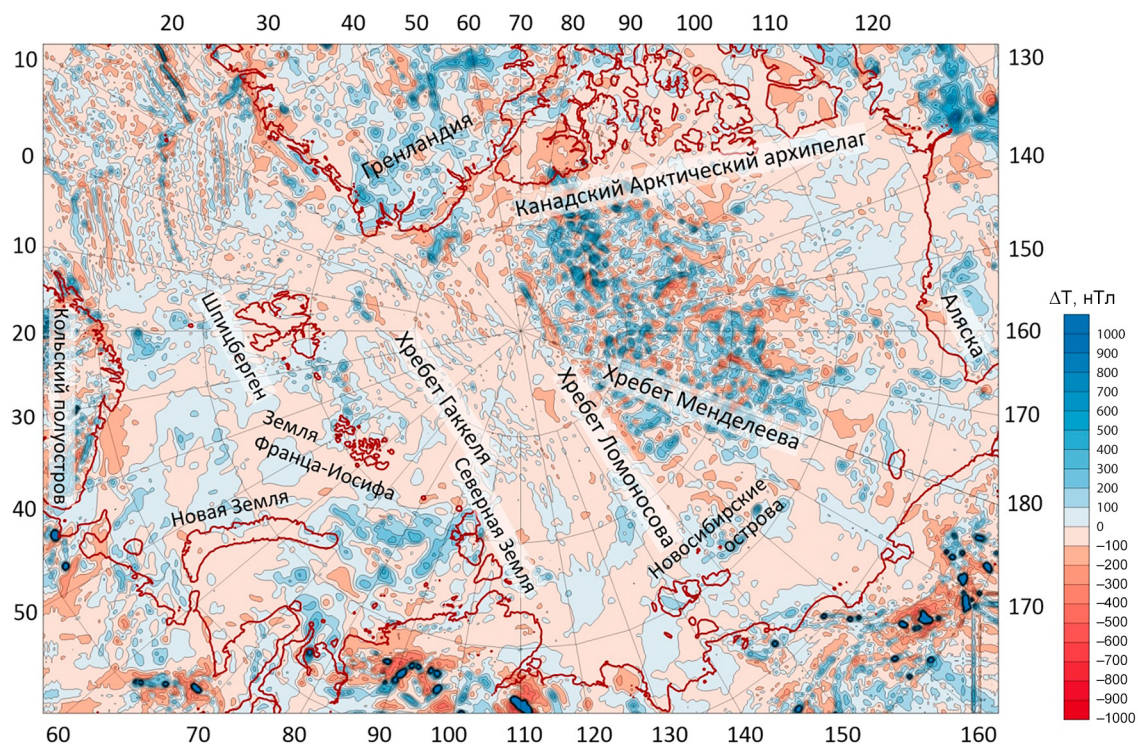


Рис. 4. Карта магнитного поля.

Fig. 4. Magnetic field map.

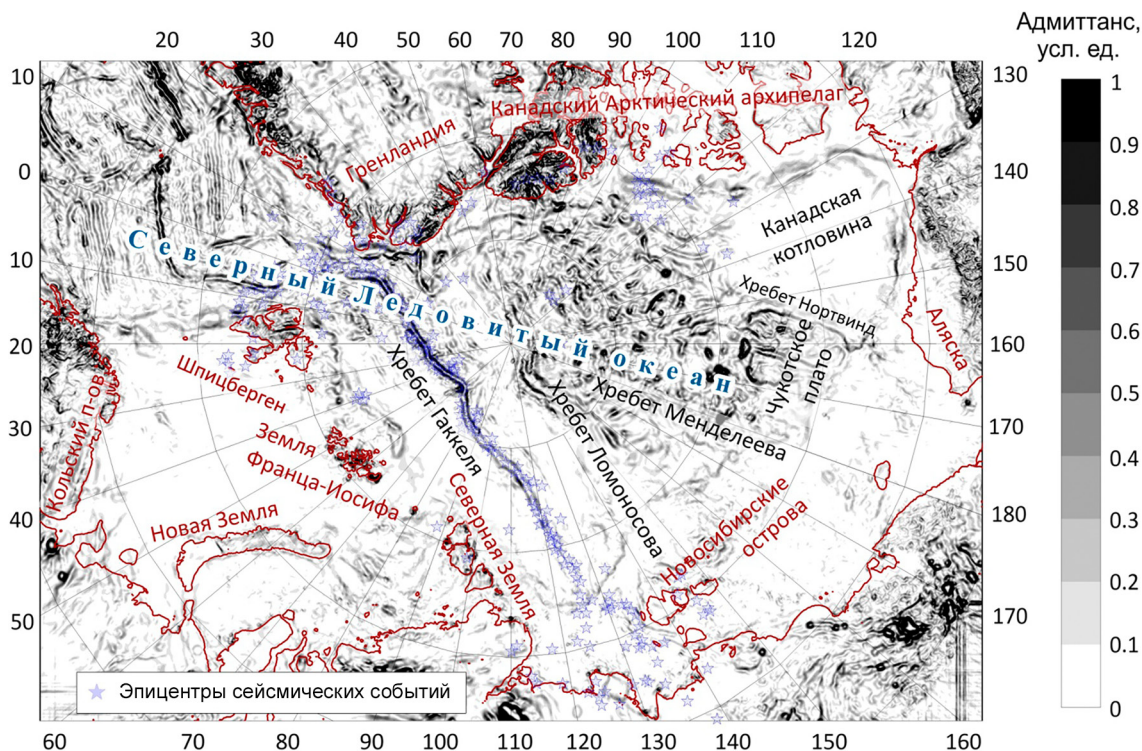


Рис. 5. Карта модуля АДМИТТАНС (отношения нормированных величин гравитационного и магнитного полей).

Fig. 5. Map of the ADMITTANCE module (ratio of normalized values of gravitational and magnetic fields).

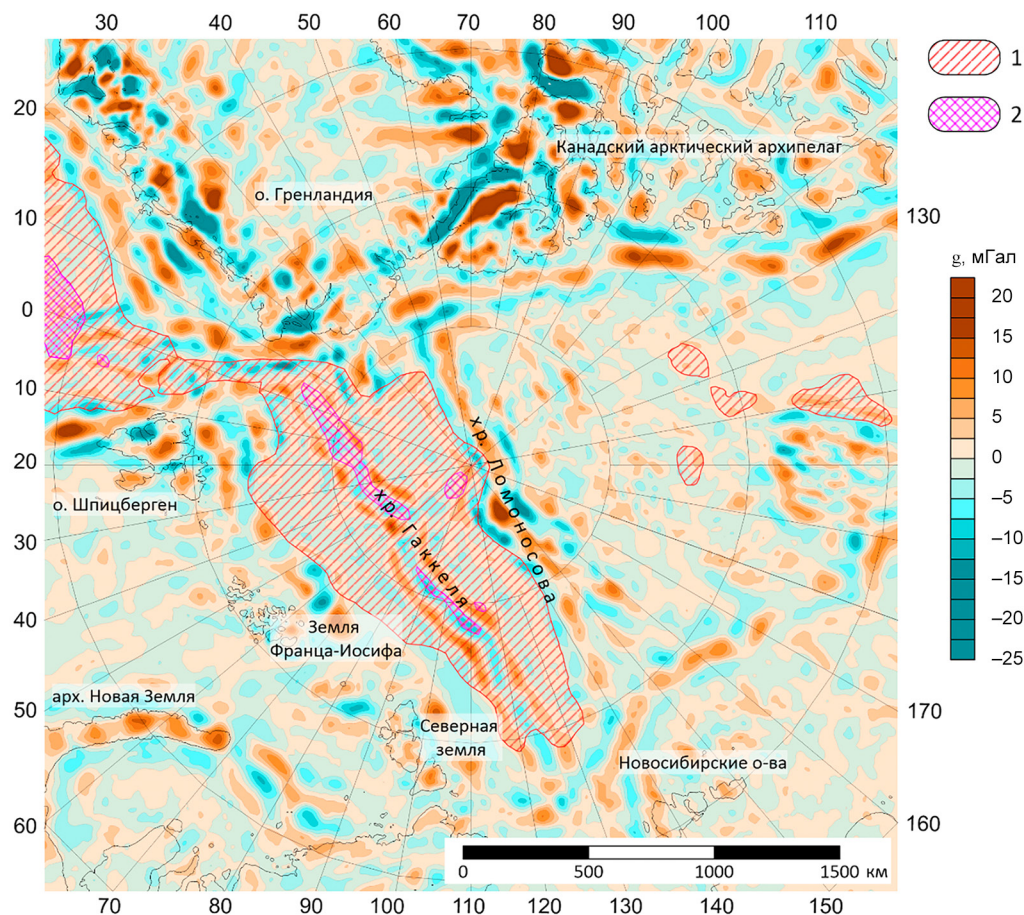


Рис. 6. Карта аномального гравитационного поля в системе ВЕКТОР на эффективной глубине 15 км.

1 – земная кора с мощностью менее 15 км; 2 – структурное тело (собственно хр. Гаккеля).

Fig. 6. Map of the anomalous gravitational field in the VECTOR system at an effective depth of 15 km.

1 – earth's crust with a thickness of less than 15 km; 2 – structural body (the Gakkel Ridge itself).

в этой области. Известны природные ресурсы нефти, газа, марганца и других полезных ископаемых (Кашубин и др., 2011). На рис. 6 представлена карта аномального гравитационного поля в системе ВЕКТОР, на которой обозначена зона земной коры мощностью менее 15 км, граничащая с Центрально-Арктическим ареалом. Анализ разрезов в системе ВЕКТОР, перпендикулярных хр. Гаккеля, показывает, что гравитационные аномалии, обусловленные внутренним строением этого хребта, локализуются на глубине порядка 20 км. Центральная (осевая) часть собственно хребта выделяется локальной аномалией с относительно пониженными значениями силы тяжести и окаймляется интенсивными положительными аномалиями.

Обращает на себя внимание спокойный характер гравитационного поля на этой карте в пределах ареала земной коры 15 км, как и на рис. 5 модуля АДМИТТАНС, за исключением резкоградиентного хр. Гаккеля.

ВЫВОДЫ

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Гравиметрические и магнитные карты, построенные в системе ВЕКТОР, согласуются с картографической сейсмической моделью European MoHo и позволяют изучать внутреннее строение такой среды, как хребты, котловины, острова и другие объекты моря и суши.

2. Потенциальные поля (гравитационное и магнитное) в системах ВЕКТОР (лучевая томография), ПОЛЮС (векторный анализ) и АДМИТТАНС (функция отношения параметров) рекомендуется использовать для создания объемных 3D-моделей, получения горизонтальных и вертикальных изображений 2D при анализе нижней части земной коры, в том числе раздела Мохо.

3. Метод АДМИТТАНС предлагается использовать для структурного изучения надводных и по-

гребенных геологических форм, детализации особенностей геологического строения. Данным методом значительно рельефнее отображаются Центрально-Арктические поднятия, чем в отдельности по картам гравитационного и магнитного полей. Сопоставление нормированного параметра с сейсмической активностью регионов может свидетельствовать о современном развитии тектонических процессов в Арктике.

4. По методу ПОЛЮС возможно локализовать источники аномалий от структур, разломов, ступеней; рекомендуется использовать для локализации, прослеживания и уточнения границы Мохо.

На наш взгляд, рассмотренные методы показали достаточную эффективность для решения поставленных задач масштабного изучения крупных геологических структур Арктического региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ассиновская Б.А., Панас Н.М., Овсов М.К., Антоновская Г.Н. (2019) Предварительная оценка сейсмической опасности района Арктического хребта Гаккеля и окрестностей. *Рос. сейсмол. журн.*, **1**(1), 35-45. <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2019.1.03>
- Баранов Ю.В. (2016) Анализ геофизических полей для выделения зон возможных очагов землетрясений восточной окраины Восточно-Европейской платформы. *Вестн. Перм. ун-та. Геология*, **4**(33), 36-40.
- Бычков С.Г. (2010) Методы обработки и интерпретации гравиметрических наблюдений при решении задач нефтегазовой геологии. Екатеринбург: УрО РАН, 188 с.
- Гайнанов А.Г., Пантелеев В.Л. (1991) Морская гравиразведка. М.: Недра, 215 с.
- Долгаль А.С. (2023) Истокообразная аппроксимация региональных аномалий силы тяжести. *Горное эхо*, **1**(90), 77-86.
- Кашубин С.Н., Павленкова Н.И., Петров О.В., Мильштейн Е.Д., Шокальский С.П., Эринчек Ю.М. (2013) Типы земной коры Циркумполярной Арктики. *Регион. геология и металлогения*, (55), 5-19.
- Кашубин С.Н., Петров О.В., Мильштейн Е.Д., Андросов Е.А., Морозов А.Ф., Каминский В.Д., Поселов В.А. (2011) Карта мощности земной коры Циркумполярной Арктики. *Тектоническая карта Арктики. Регион. геология*, (46), 5-13.
- Кутинов Ю.Г. Экогеодинамика Арктического сегмента земной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 388 с.
- Морозов А.Ф., Петров О.В., Шокальский С.П., Кашубин С.Н., Кременецкий А.А., Шкатов М.Ю., Каминский В.Д., Гусев Е.А., Грикуров Г.Э., Рекант П.В., Шевченко С.С., Сергеев С.А., Шатов В.В. (2013) Новые геологические данные, обосновывающие континентальную природу области Центрально-Арктических поднятий. *Регион. геология и металлогения*, (53), 34-55.
- Нарышкин Г.Д. (1987) Срединный хребет Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана. М.: Наука, 69 с.
- Простолупов Г.В., Новоселицкий В.М., Конешов В.Н., Щербинина Г.П. (2006) Об интерпретации гравита-

ционного и магнитного полей на основе трансформации горизонтальных градиентов в системе VECTOR. *Физика Земли*, (6), 90-96.

- Простолупов Г.В., Тарантин М.В. (2013) Полярная трансформация производных гравитационного потенциала. *Геофизика*, (2), 13-18.
- Тарантин М.В. (2016) Технологическое развитие системы ВЕКТОР. *Стратегия и процессы освоения георесурсов*. Сб. науч. тр. Пермь: ГИ УрО РАН, 163-165.
- Федоренко И.В. (2017) Спектральные особенности роевой сейсмичности хребта Гаккеля. *18-я Урал. молодеж. науч. шк. по геофизике*. Пермь: ПГНИУ, 215-217.
- Чадаев М.С., Гершанок В.А., Гершанок Л.А., Копылов И.С., Коноплев А.В. (2012) Гравиметрия, магнитометрия, геоморфология и их параметрические связи. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 91 с.
- Чадаев М.С., Костицын В.И., Гершанок В.А., Простолупов Г.В., Тарантин М.В. (2023) Геофизическое изучение земной коры (северные регионы России и шельф арктических морей). *Литосфера*, **23**(1), 52-67. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-1-52-67>
- Шаров Н.В. (2017) Литосфера Северной Европы по сейсмическим данным. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 172 с.
- Chadaev M.S., Kostitsyn V.I., Gershanok V.A., Iblaminov R.G., Prostolupov G.V., Tarantin M.V. (2019) The Use of Gravimetry for Studying Shelf of the North Barents Basin. *Practical and Theoretical Aspects of Geological Interpretation of Gravitational, Magnetic and Electric Fields*. Proc. 45th Uspensky Int. Geophys. Sem. Springer Proc. in Earth and Environmental Sci. Cham: Springer, 207-212. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97670-9_24
- Grad M., Tiira T., Behm M. et al. (2009) The Moho depth map of the European Plate. *Geophys. J. Int.*, **176**, 279-292. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03919.x>
- Reguzzoni M., Sampietro D., Sansò F. (2013) Global Moho from the combination of the CRUST2.0 model and GOCE data. *Geophys. J. Int.*, **195**(1), 222-237. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt247>
- Sjöberg L.E., Bagherbandi M. (2011) A method of estimating the Moho density contrast with a tentative application of EGM08 and CRUST2.0. *Acta Geophys.*, **59**, 502-525. <https://doi.org/10.2478/s11600-011-0004-6>

REFERENCES

- Assinovskaya B.A., Panas N.M., Ovsov M.K., Antonovskaya G.N. (2019) Preliminary Seismic Hazard Assessment of the Arctic Gakkel Ridge and Its Vicinity. *Ros. seismol. zhurnal*, **1**(1), 35-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2019.1.03>
- Baranov Yu.V. (2016) Analysis of Geophysical Fields to Identify Zones of Possible Earthquake Foci on the Eastern Margin of the East European Platform. *Vestn. Perm. un-ta. Geologiya*, **4**(33), 36-40. (In Russ.)
- Bychkov S.G. (2010) Methods of Processing and Interpreting Gravimetric Observations in Solving Petroleum Geology Problems. Ekaterinburg, UrO RAN, 188 p. (In Russ.)
- Chadaev M.S., Gershanok V.A., Gershanok L.A., Kopylov I.S., Konoplev A.V. (2012) Gravimetry, magneto-

- metry, geomorphology and their parametric relationships. Perm, PGNIU, 91 p. (In Russ.)
- Chadaev M.S., Kostitsyn V.I., Gershanok V.A., Iblaminov R.G., Prostolupov G.V., Tarantin M.V. (2019) The Use of Gravimetry for Studying Shelf of the North Barents Basin. *Practical and Theoretical Aspects of Geological Interpretation of Gravitational, Magnetic and Electric Fields*. Proc. 45th Uspensky Int. Geophys. Sem. Springer Proc. in Earth and Environmental Sci. Cham, Springer, 207-212. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97670-9_24
- Chadayev M.S., Kostitsyn V.I., Gershanok V.A., Prostolupov G.V., Tarantin M.V. (2023) Geophysical study of the earth's crust (northern regions of Russia and the shelf of the Arctic seas). *Lithosphere (Russia)*, **23**(1), 52-67. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-1-52-67>
- Dolgal A.S. (2023) Source-like approximation of regional gravity anomalies. *Gornoe Ekho*, (1) (90), 77-86. (In Russ.)
- Fedorenko I.V. (2017) Spectral features of swarm seismicity of the Gakkel Ridge. The Eighteenth Ural Youth Scientific School on Geophysics. Perm, PGNIU, 215-217. (In Russ.)
- Gainanov A.G., Panteleev V.L. (1991) Marine Gravity Prospecting. Moscow, Nedra Publ., 215 p. (In Russ.)
- Grad M., Tiira T., Behm M. et al. (2009) The Moho depth map of the European Plate. *Geophys. J. Int.*, **176**, 279-292. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03919.x>
- Kashubin S.N., Pavlenkova N.I., Petrov O.V., Mil'shtein E.D., Shokal'skiy S.P., Erinchek Yu.M. (2013) Crust Types of the Circumpolar Arctic. *Region. Geologiya i Metallogeniya*, (55), 5-19. (In Russ.)
- Kashubin S.N., Petrov O.V., Mil'shtein E.D., Androssov E.A., Morozov A.F., Kaminsky V.D., Poselov V.A. (2011) Crust Thickness Map of the Circumpolar Arctic. *Tektonicheskaya karta Arktiki. Region. Geologiya*, (46), 5-13. (In Russ.)
- Kutinov Yu.G. (2005) Ecogeodynamics of the Arctic segment of the earth's crust. Ekaterinburg, UrO RAN, 388 p. (In Russ.)
- Morozov A.F., Petrov O.V., Shokal'skiy S.P., Kashubin S.N., Kremenetskiy A.A., Shkatov M.Yu., Kaminskiy V.D., Gusev E.A., Grikurov G.E., Rekant P.V., Shevchenko S.S., Sergeev S.A., Shatov V.V. (2013) New geological data substantiating the continental nature of the Central Arctic uplift region. *Region. Geologiya i Metallogeniya*, (53), 34-55. (In Russ.)
- Naryshkin G.D. (1987) The Sredinny Ridge of the Eurasian Basin of the Arctic Ocean. Moscow, Nauka Publ., 39 p. (In Russ.)
- Prostolupov G.V., Novoselitsky V.M., Koneshov V.N., Shcherbinina G.P. (2006) On the interpretation of gravitational and magnetic fields based on the transformation of horizontal gradients in the VECTOR system. *Fizika Zemli*, (6), 90-96. (In Russ.)
- Prostolupov G.V., Tarantin M.V. (2013) Polar transformation of gravitational potential derivatives. *Geofizika*, (2), 13-18. (In Russ.)
- Reguzzoni M., Sampietro D., Sansò F. (2013) Global Moho from the combination of the CRUST2.0 model and GOCE data. *Geophys. J. Int.*, **195**(1), 222-237. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt247>
- Sharov N.V. (2017) Lithosphere of Northern Europe based on seismic data. Petrozavodsk, KarNTs RAN, 172 p. (In Russ.)
- Sjöberg L.E., Bagherbandi M. (2011) A method of estimating the Moho density contrast with a tentative application of EGM08 and CRUST2.0. *Acta Geophys.*, **59**, 502-525. <https://doi.org/10.2478/s11600-011-0004-6>
- Tarantin M.V. (2016) Technological development of the Vector system. *Strategy and processes of development of geo-resources*. Collection of scientific papers. Perm, GI UrO RAN, 163-165. (In Russ.)