

## БЛОКОВОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И АРЕАЛЫ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

А.Л. Пискарев<sup>1,2</sup>, А.А. Киреев<sup>1</sup>, В.А. Савин<sup>1</sup>, О.Е. Смирнов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана,  
190121, Санкт-Петербург, Английский просп., 1, Россия*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет,  
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, Россия*

После завершения в северной части Баренцева моря этапа региональных геофизических работ обработаны и обновлены базы аномалий потенциальных полей, проанализированы и откорректированы структурные карты сейсмических горизонтов, рассчитано положение источников аномалий потенциальных полей, построены 3D модели земной коры (плотностная и магнитная).

Новые геолого-геофизические материалы позволили определить границы разнородных блоков фундамента и ареалы развития разновозрастных осадочных толщ в северо-восточной части Баренцева моря. Данные об изменении мощности осадков в различных временных интервалах дают представление об эволюции осадконакопления в регионе. Важное геологическое и прогнозно-поисковое значение имеет глубинная шовная зона сочленения мезозойского и палеозойского осадочных бассейнов в восточной части изученной площади.

Согласно сейсмическим материалам и данным моделирования, шовная зона рассматривается как зона палеонадвиг в восточном крыле бассейна. Она представляет собой широкую (20—50 км) полого наклоненную на восток структуру, в которой теряется корреляция сейсмических несогласий, относимых ко времени ранее поздне триасового. В фундаменте структура аппроксимируется при моделировании областью пониженной намагниченности и плотности, что характерно для зон интенсивных дизъюнктивных деформаций.

*Осадочный бассейн, моделирование, земная кора, палеонадвиг, Баренцево море.*

### CRUST STRUCTURE OF THE NORTHEASTERN BARENTS SEA BASIN AREA

A.L. Piskarev, A.A. Kireev, V.A. Savin, and O.E. Smirnov

Processing of data from regional geophysical surveys completed in the northern Barents Sea has provided updates to gravity and magnetic databases, structural maps of seismic interfaces, and positions of anomaly sources, which made a basis for 3D density and magnetic models of the crust. The new geological and geophysical results placed constraints on the boundaries between basement blocks formed in different settings and on the contours of deposition zones of different ages in the northeastern Barents Sea. The estimated thicknesses of sedimentary sequences that formed within certain time spans record the deposition history of the region. There is a 20–50 km wide deep suture between two basins of Mesozoic and Paleozoic ages in the eastern part of the region, where pre-Late Triassic reflectors have no clear correlation. The suture slopes eastward at a low angle and corresponds to a paleo-thrust according to seismic and modeling data. In the basement model, the suture is approximated by a zone of low magnetization and density, which is common to active fault systems. The discovery of the suture has important geological and exploration implications.

*Sedimentary basin, modeling, crust, paleo-thrust, Barents Sea*

### ВВЕДЕНИЕ

Российский шельф Баренцева моря является самым крупным по площади и наиболее изученным по сравнению с шельфами остальных морей Арктики. На акватории Баренцевского шельфа выполнены большие объемы различных модификаций сейсмических исследований, региональные магнитные и гравиметрические съемки, измерения теплового потока, различные виды геолого-геофизического моделирования. Геофизические данные позволили обрисовать границы основных структур региона, выявить дизъюнктивные зоны и линеаменты, вдоль которых происходили разнонаправленные тектонические перемещения блоков. На акватории пробурены десятки глубоких скважин, что привело к открытию гигантских и крупных месторождений углеводородов.

В то же время северо-восточная часть шельфа Баренцева моря изучена гораздо хуже. Отложения Северо-Баренцевского прогиба вскрыты единственной картировочной скважиной (Лунинской), и возрастная привязка несогласий на разрезах вдоль сейсмических профилей в прогибе остается гипотетической. Неоднозначно интерпретируются и материалы изучения глубинных сейсмических границ в земной коре региона. Как следствие, существует множество вариантов толкования характера и эволюции структур региона, а также, что особенно важно для геолого-разведочного процесса, остается открытым вопрос о возможной приуроченности к тем или иным глубинным структурам месторождений углеводородов.

При оценке перспектив открытия в арктических морях месторождений углеводородов особо важную роль играют комплексные геофизические исследования. В арктических условиях промышленное значение могут иметь лишь месторождения-гиганты [Piskarev, Shkatov, 2012], которые, как правило, связаны с рифтогенными и покровно-надвиговыми структурами [Соколов, 1992]. По общемировым данным, крупные и особенно гигантские месторождения приурочены к определенным тектоническим зонам. Это либо зоны субдукции, палеосубдукции, палеонадвигов (бассейны Персидского залива, Кавказа — Копет-Дага, Венесуэлы, Калифорнии, Волго-Уральской провинции), либо крупнейшие рифтогенные зоны, лежащие в фундаменте бассейнов Западной Сибири и Северного моря [Mann, Gahagan, 2003]. Именно такого типа тектонические зоны и должны в первую очередь привлекать внимание геологов и геофизиков при проведении поисково-разведочных работ в арктических морях. Геофизическая характеристика этих структур настолько специфична, что позволяет выявлять их даже по данным съемок невысокой детальности.

Данные об общей мощности осадков, о генеральных взаимоотношениях толщ внутри осадочного чехла на акватории Баренцева моря были получены после выполнения геофизических съемок регионального этапа [Погребницкий и др., 1984; Геологическое строение ..., 1985; Верба и др., 1986]. На ряде морских структур в южной части моря и на островах были выполнены буровые работы. Разведочными работами открыт ряд крупнейших месторождений нефти и газа — Штокмановское, Лудловское и Ледовое. Вместе с тем до настоящего времени остаются дискуссионными ключевые вопросы строения Восточно-Баренцевского бассейна: характер и ареалы распространения нижнесреднепалеозойских отложений, состав и время формирования складчатого и кристаллического фундамента, возраст и ареалы магматических образований. Остро дискуссионной и в целом неясной оставалась и проблема приуроченности открытых крупных месторождений углеводородов к тем или иным глубинным структурам.

Характер прогибания и осадконакопления во впадине и ее бортах начиная с палеозойской эпохи обсуждался в публикациях Я.П. Маловицкого и др. [1998], В.С. Суркова и др. [1997]. В статье [Аплов и др., 1996], так же как и в написанной ранее работе В.И. Устрицкого [1989], Восточно-Баренцевский бассейн рассматривается как «остаточный океанический бассейн», что отражает взгляды авторов на его генезис. В работе М.В. Коротаева и др. [1998] история региона начиная с раннего девона разделена на 11 этапов, среди которых выделены два этапа быстрого погружения: поздний девон (370 млн лет) и пермь—триас (255—248 млн лет). Позднепермский-триасовый этап тектонической активизации детально рассмотрен в работе [Богданов и др., 1997] на основе комплексного анализа геолого-геофизических данных. Авторы предположили, что быстрое углубление Восточно-Баренцевского ареала осадконакопления произошло в течение 20—25 млн лет, в результате чего сформировалась гигантская линза отложений мощностью 8—9 км. Максимальное поднятие Пай-Хой-Новоземельского пояса произошло в позднем триасе—ранней юре, причем с конца триаса, когда рифтогенный режим в Восточно-Баренцевском бассейне угас, двустороннее сжатие сменилось на одностороннее, и массы складчатых сооружений начали смещаться в западном направлении.

На севере Баренцевской плиты широко проявлена последующая позднекеммерийская тектономагматическая эпоха [Комарницкий, Шипилов, 1991]. Трапповый комплекс юрско-мелового возраста особенно широко развит на архипелаге Земля Франца-Иосифа, где он представлен силлами и дайками долеритов и покровами базальтов. По радиологическим данным пик базальтового магматизма на Земле Франца-Иосифа приходится на ранний мел и соответствует возрасту 123 млн лет, в то время как начальный импульс активной магматической деятельности соответствует поздней юре, около 155 млн лет [Døssing et al., 2013; Шипилов, Лобковский, 2016]. По-видимому, к неокому относится внедрение и излияние основной массы трапповых тел, так как пепел — предвестник платобазальтового вулканизма — появляется в разрезах осадочных пород начиная с неокома (144—122 млн лет) [Преображенская и др., 1985; Geology ..., 1998; Шипелькевич и др., 1999]. По составу магматические тела подразделяются на две формации: толеитовые базальты и андезитобазальты. Обе формации распространены в широком возрастном диапазоне, однако толеитовые базальты в разрезах всегда залегают выше, чем андезитобазальты [Ntaflou, Richter, 1998].

Согласно недавним исследованиям [Шипилов, 2015], процесс интрузивной магматической деятельности протекал в Восточно-Баренцевском бассейне практически одновременно с формированием и ростом локальных структур, что подтверждается данными, полученными на уже открытых гигантских месторождениях углеводородов.

В кайнозойские магматические проявления в регионе имеют весьма ограниченный характер. В неогене базальты изливались и заполняли долины на флангах грабена девонского заложения на Шпицбергене. Расположенная на западном фланге грабена зона четвертичных вулканических построек параллельна альпийским дислокациям западного побережья [Кораго и др., 2010]. На Новой Земле известны трубки щелочных базальтоидов, возраст которых менее 10 млн лет [Кораго и др., 1989].

Мезозойский этап развития региона закончился позднемеловой эпохой апlifта, продолженной в начале кайнозоя и приведшей к полному осушению шельфа [Баренцевская ..., 1988]. Данные, относящиеся к кайнозойской истории рассматриваемого региона, приведены в ряде публикаций [Геология ..., 1982; Красножен, 1982; Соболев и др., 1985]. С раскрытием Евразийского бассейна в Северном Ледовитом океане связывается палеоцен-эоценовое воздымание Пай-Хоя и Новой Земли [Подурушин, 2001], а неотектоническое поднятие этих же структур в плиоцене объясняется движением на юго-восток Восточно-Европейской платформы. Частичное закрытие Тетиса в позднем олигоцене вызвало развитие левого сдвига на северо-восточной границе Восточно-Европейской платформы, на границе Пай-Хойской и Тимано-Печорской зон [Копп, 2001].

Таким образом, из приведенного обзора становится ясно, что формирование фундамента и осадочного чехла северо-восточной части Баренцевской плиты происходило на протяжении ряда активных тектономагматических эпох. Раскрытие истории формирования и развития Северо-Баренцевского осадочного бассейна, определение строения земной коры в бассейне и на его границах являются актуальными задачами исследований.

### ИСХОДНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Новый этап анализа строения земной коры и осадочного чехла Северо-Баренцевского шельфа стал возможным после завершения экспедициями МАГЭ в 2012 г. региональных комплексных геофизических работ, включавших сейсморазведку МОВ ОГТ 2D, надводную гравиметрию и дифференциальную гидромагнитную съемку. В ходе последующей обработки данных были проанализированы и местами откорректированы структурные карты сейсмических горизонтов, скомпилированы и обновлены базы потенциальных полей изучаемой области, рассчитано положение источников аномалий потенциальных полей, рассчитаны и построены 3D модели земной коры (плотностная и магнитная).

По результатам геолого-съёмочных работ и бурения на сопредельных площадях принято считать, что осадочный чехол исследованного региона сложен отложениями нижнепалеозойско-мелового возраста. Стратиграфическая привязка прослеженных отражающих горизонтов осуществлялась передачей корреляции от расположенных южнее скважин. Районы работ были связаны с ближайшими скважинами глубокого бурения Адмиралтейская-1 и Лунинская-1 профилями региональной увязки. Стратиграфическая привязка отражающих горизонтов палеозойско-мезозойской части разреза осуществлялась путем построения синтетических сейсмограмм, а исходной информацией для волнового моделирования разреза являлись каротажные кривые скважин Лунинская-1 и Адмиралтейская-1.

Основными отражающими горизонтами, переданными от скв. Лунинская-1, являются горизонты  $\Gamma_n(K_{1nc})$  и  $B(J_3)$ , а от скв. Адмиралтейская-1 — горизонты  $A(P_3-T_1)$  и  $I_a(C_3-P_1)$ . Горизонт  $B(T-J)$  — выделен как отражающий горизонт, связанный с границей раздела триасовых и юрских отложений. Отражающий горизонт  $III_2(D_3)$  в основании разреза осадочной толщи, имеющий вид поверхности эрозийного типа, был отождествлен с предфранским размывом.

В результате основные сейсмические несогласия получили следующую возрастную привязку:

$III_2: PZ_{1+2}-D_3$ .

$I_a: C_3-P_1$ .

$A: P_3-T_1$ .

$B: T-J$ .

$B: J_3$ .

$\Gamma_n: K_{1nc}$ .

При составлении начальных 3D моделей земной коры (плотностной и магнитной) пространственное положение сейсмических несогласий введено в качестве основы отображения структуры осадочного чехла. Тренд положения в регионе внутрикоровых границ и границы Мохоровичича определен на основе данных, полученных на геотрансектах 1-AP и 4-AP [Верба и др., 2001; Винокуров и др., 2009]. Минимальная мощность земной коры под Северо-Баренцевской впадиной на геотрансектах была отмечена на глубине порядка 30 км, а внутрикоровая граница зафиксирована на глубинах, несколько превосходящих 20 км.

Поверхность фундамента осадочной толщи уверенно прослеживается только в Предновоземельской структурной области, где она находится на сравнительно небольших глубинах. В пределах Северо-Баренцевской синеклизы прослеживание фундамента затруднено из-за значительных глубин залегания

и экранирующих свойств мощного осадочного чехла, в котором широко развиты пластовые интрузивные тела. Поскольку несогласие  $\Pi_2$  нивелирует депрессивные формы фундамента и имеет форму эрозионного среза, указывающую на длительный период тектонической стабилизации района исследования, именно это несогласие, прослеженное во всей области, было при моделировании условно принято за поверхность фундамента.

Морфология различных слоев осадочной толщи, изученная сейсмическими работами МОВ, легла в основу расчетов начальной сейсмогравитационной модели Северо-Баренцевской площади. Плотностные границы в разрезах на Баренцевском шельфе определены как по петрофизическим данным, так и в результате итерационного подбора гравитационных аномалий при моделировании [Пискарев, 2004]. Плотность осадочных пород зависит как от их состава, так и от глубины залегания и возраста. Главным фактором, определяющим плотность кристаллических пород, залегающих на значительных глубинах, является их состав. Средняя плотность слоев земной коры, границы между которыми продуцируют гравитационные аномалии Северо-Баренцевского шельфа, определена с учетом всех факторов (таблица).

Нетрудно заметить, что плотностные перепады на границах, совпадающих с сейсмическими горизонтами  $\Gamma_n$  и  $I_n$ , выражены слабо, что проявляется в слабой коррелированности с этими границами наблюдаемых гравитационных аномалий.

Первым этапом построения геолого-геофизической модели земной коры региона явилось составление базы данных гравитационных аномалий. В качестве исходных материалов при составлении базы данных взята цифровая модель аномалий в свободном воздухе международного проекта ArcGP [Kenyon et al., 2008] и цифровые карты аномалий поля силы тяжести в свободном воздухе, построенные в процессе работ по объектам на площадях Северо-Баренцевской впадины. Аномалии цифровой модели ArcGP были пересчитаны на уровень нормального поля, используемый в РФ (формула Гельмерта). Затем данные сглажены с целью уменьшения коротковолновой помехи, присущей модели ArcGP на участках, где модель основана на результатах пересчета альтиметрических данных.

На втором этапе на основе цифровых карт изолиний рассчитаны цифровые модели с размером ячейки  $2 \times 2$  км. Затем произведено объединение данных и, в конечном счете, получена модель аномалий поля силы тяжести в свободном воздухе с размером ячейки сводного грида  $2 \times 2$  км. Отметим, что гравиметрические данные позволили существенно улучшить и детализировать цифровую модель ArcGP.

Цифровая модель аномалий поля силы тяжести в редукции Буге с плотностью промежуточного слоя  $\sigma = 2.3 \text{ г/см}^3$  (рис. 1) получена в результате учета 3D поправки Буге, рассчитанной на основе цифровой батиметрической модели ИВСаО [Jakobsson et al., 2012].

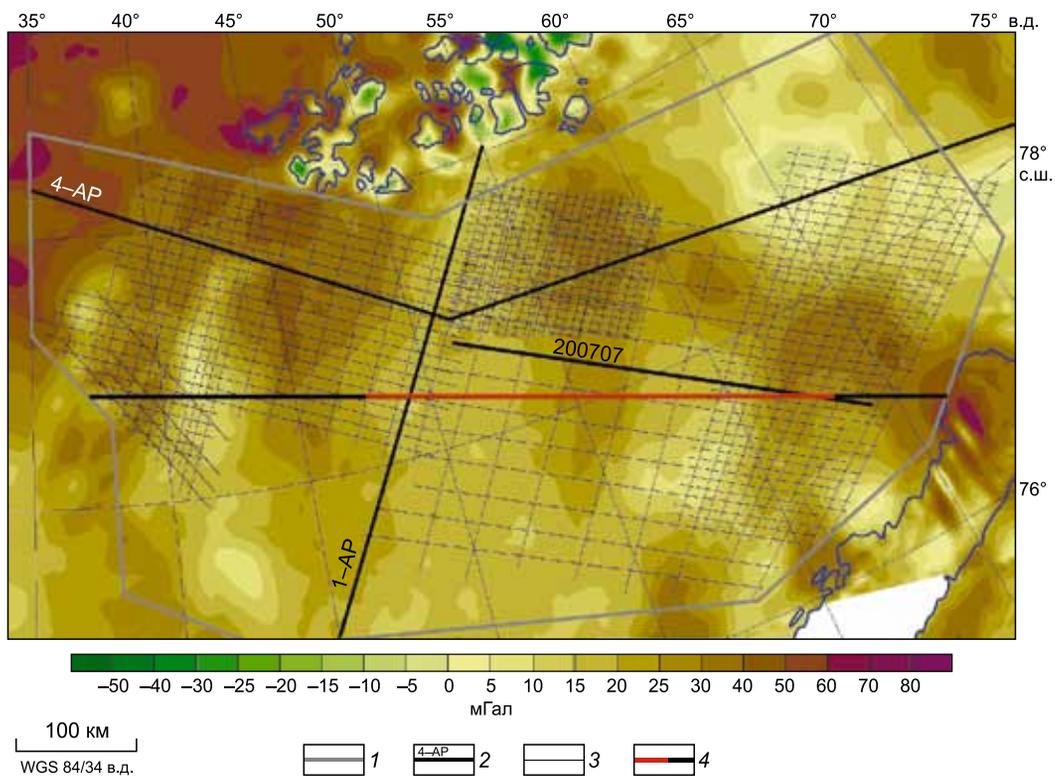
Рельеф фундамента в центральной области Северо-Баренцевской впадины слабо выражен в поле аномалий силы тяжести. Такая ситуация является обычной для закончивших свое формирование сейсмически стабильных осадочных бассейнов, в которых влияние рельефа фундамента изостатически скомпенсировано влиянием рельефа границы Мохоровичича. Положительные аномалии силы тяжести располагаются на периферии бассейна.

На западе гравитационный максимум располагается вдоль зоны перехода к поднятию Персея (в районе  $40^\circ$  в.д.), а другой максимум (вблизи  $45^\circ$  в.д.) соответствует области резкого уменьшения во впадине мощности толщ юрско-мелового возраста. В центре впадины отмечается максимум, соответствующий структуре Орловского мегавала. Вдоль юго-восточного борта впадины отмечается максимум, соответствующий Адмиралтейскому поднятию, а к северо-востоку от него гравитационный максимум соответствует переходу к поднятию мыса Желания.

Протяженный гравитационный максимум вдоль северо-восточного борта Северо-Баренцевской впадины соответствует зоне перехода, за пределами которой, по данным геотрансекта 4-АР, вместе с

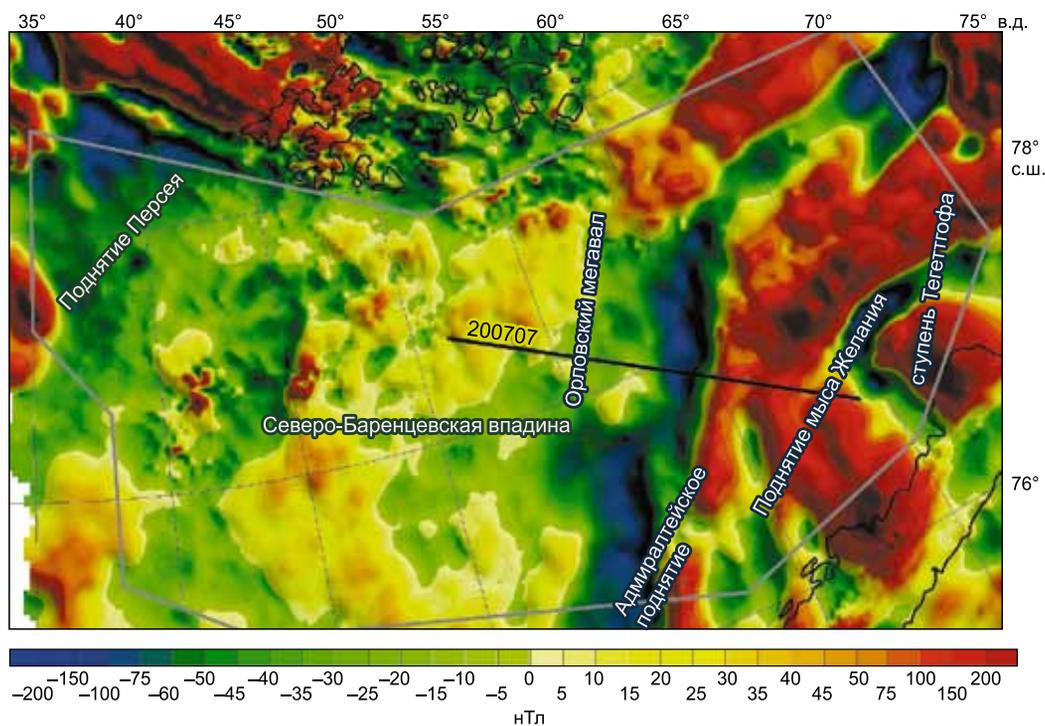
Средняя плотность слоев земной коры

Толща	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Меловой-кайнозойский покровный комплекс терригенных осадочных пород, $\Gamma_n$ — дно	2.27
Позднеюрская—раннемеловая толща терригенных осадочных пород, В— $\Gamma_n$	2.30
Триасовая — среднеюрская толща терригенных осадочных пород, Б—В	2.46
Позднепермская — раннетриасовая терригенная осадочная толща, А—Б	2.52
Позднепалеозойские терригенно-карбонатные толщи, $I_n$ —А	2.65
Палеозойские терригенно-карбонатные толщи, $\Pi_2$ — $I_n$	2.66
Верхняя кора, гранитно-метаморфический кристаллический фундамент	2.73
Верхняя кора, кристаллический фундамент основного состава	2.85
Нижняя кора	2.91
Мантия	3.30



**Рис. 1. Карта гравитационных аномалий в редукции Буге (с плотностью промежуточного слоя  $\sigma = 2.3 \text{ г/см}^3$ ) Северо-Баренцевской площади.**

1 — границы исследуемой площади; 2 — положение геотрансектов 4-АР и 1-АР; 3 — сейсмические профили МОВ ОГТ 2D, использованные в работе; 4 — положение разреза через 3D плотностную и магнитную (красная линия) модели, см. рис. 3.



**Рис. 2. Карта магнитных аномалий Северо-Баренцевской площади.**

Серая линия — границы исследуемой площади, черная — профиль 200707 МОВ ОГТ 2D.

уменьшением мощности мезозойских осадочных толщ увеличивается мощность палеозойских терригенно-карбонатных толщ. При этом резко увеличивается (в сторону Карского моря) и общая мощность земной коры.

Составление карты магнитных аномалий Северо-Баренцевского шельфа потребовало объединения данных разномасштабных аэромагнитных съемок, выполненных в регионе в разные годы и при различной высоте полета самолетов, и данных гидромагнитных съемок последних лет. Предварительный анализ показал, что для составления полноценной карты магнитных аномалий необходимо использовать данные всех съемок, взаимно дополняющих друг друга. Были выполнены увязка и уравнивание нормального поля для магнитных съемок, покрывающих исследуемую площадь. После этого файлы исходных данных были использованы для расчета гридированных значений аномалий и для построения карт аномальных полей.

В конечную базу данных вошли данные о магнитных аномалиях, измеренных при проведении разномасштабных гидромагнитных и аэромагнитных (выполненных на высотах от 100 до 1000 м) съемок. В качестве обзорной представлена карта аномалий, пересчитанных на единый (1000 м) уровень наблюдения (рис. 2).

Для расчетов источников магнитных аномалий и при анализе тектоники исследуемой области в дальнейшем были использованы карты магнитных аномалий, составленные для других уровней наблюдения, а также наблюденные графики магнитных аномалий.

Локальные магнитные аномалии в Северо-Баренцевской впадине находят очевидное объяснение. Вблизи архипелага Земля Франца-Иосифа они совпадают по направлению (северо-запад) с аномалиями архипелага, вызываемыми дайками, силлами и покровами долеритобазальтов трапповой формации раннемелового возраста. В центральной области впадины аномалии несколько изменяют направление, источники этих аномалий, согласно расчетам, находятся преимущественно на глубинах от 3 до 10 км и, как ниже будет показано, смещаются в основном в отложения, не моложе поздне триасовых. Соответствующие этим аномалиям трапповые тела хорошо видны на сейсмических разрезах.

Региональные аномалии северо-северо-западного и восток-северо-восточного направления, ширина которых составляет десятки, а то и первые сотни километров, могут быть обусловлены внедрением магматических пород основного состава в фундамент и в низы осадочного чехла впадины. Как видно из представленной карты (см. рис. 2), аномалии этого типа во многих местах прослеживаются через границы впадины.

Особый интерес представляет отрицательная магнитная аномалия северо-северо-восточного направления, разделяющая в районе восточного борта впадины две площади с различной интенсивностью длиннопериодных магнитных аномалий, источники которых, по расчетам, должны определяться неоднородностью кристаллического фундамента области. Как это отчетливо видно на приводимой карте, интенсивность аномалий в Предновоземельской области, расположенной восточнее описываемой отрицательной аномалии, заметно выше, чем на площади, находящейся к западу от нее. Этот качественный признак свидетельствует о различном составе и происхождении фундамента Северо-Баренцевской впадины по обе стороны от отрицательной магнитной аномалии, ширина которой составляет 30—60 км.

## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ

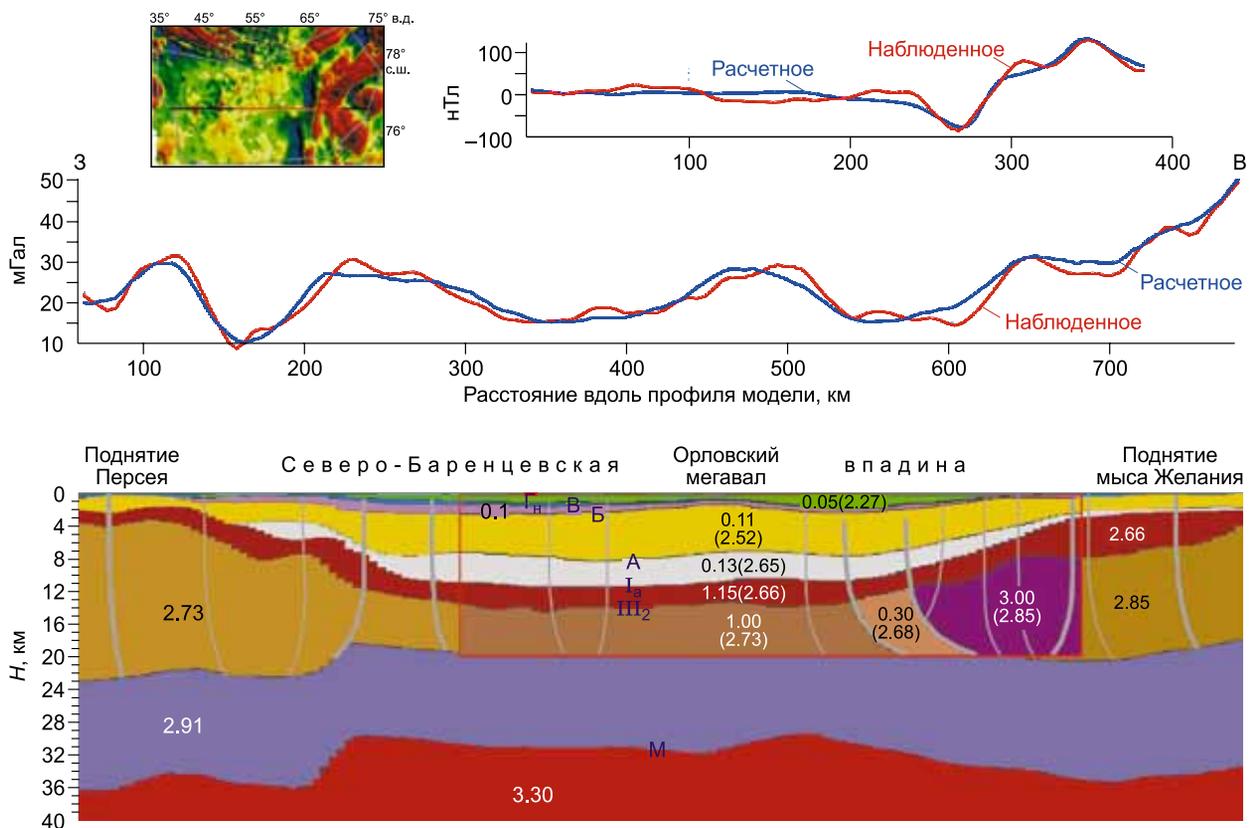
Построение сейсмоплотностной, а затем и магнитной моделей Северо-Баренцевской впадины произведено с использованием программы GRAV-3D, осуществляющей решение обратной задачи гравиразведки и магниторазведки на основе сеточной аппроксимации. Программа позволяет производить подбор плотностей и намагниченностей тел в заданных пределах изменений, при закрепленной геометрии разреза и всего нижнего полупространства. При этом используются данные сейсмометрии, характеризующие, в нашем случае, строение осадочного чехла акватории, петрофизические данные, а также данные о структуре магнитоактивного слоя и плотностной структуре земной коры.

При плотностном моделировании использовались аномалии силы тяжести в редукции Буге, что упростило учет влияния водной толщи. Модель охватывает прямоугольную площадь размером 600×840 км, глубина модели — 40 км.

Модель опирается на 11 профилей, отстоящих на 60 км друг от друга. Подбор границ и плотностей отдельных толщ производился до достижения среднеквадратического расхождения между наблюдаемыми и рассчитанными аномалиями в 2.5—3.0 мГал.

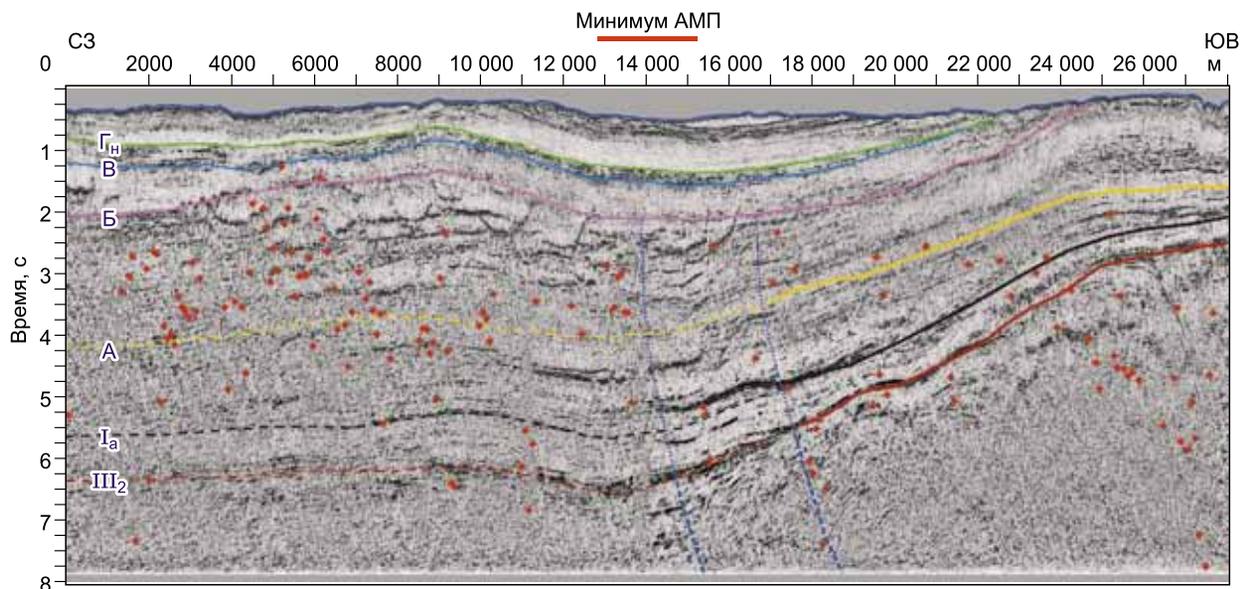
В основе строения осадочной части разреза магнитной модели, так же как и в случае плотностной модели, лежат сейсмические данные. Для моделирования структуры осадочного чехла были выбраны сейсмические несогласия:  $\Pi_2$ ,  $I_a$ , А, Б, В,  $\Gamma_n$ . Разрез через 3D плотностную и магнитную модели Северо-Баренцевской впадины представлен на рис. 3.

Расчеты и построение по геофизическим данным 3D модели земной коры — длительный итерационный процесс. Корректировке по сравнению с начальной моделью подлежат не только плотность и



**Рис. 3. Разрез через 3D плотностную и магнитную модели Северо-Баренцевской впадины.**

Цифры на разрезе соответствуют плотности толщ в  $\text{г/см}^3$  и, в пределах магнитной модели (красный прямоугольник), намагнитченности в А/м. Серые линии — предполагаемые, по геофизическим данным, разрывные нарушения: главные (толстые линии) и второстепенные.



**Рис. 4. Фрагмент временного разреза МОВ ОГТ по профилю 200707.**

Красными точками показано положение источников магнитных аномалий. Синим пунктиром ограничена зона пониженной намагнитченности в фундаменте и ее продолжение в виде зоны потери корреляции сейсмических горизонтов в осадочном чехле. АМП — аномалия магнитного поля.

намагниченность, но и геометрия отдельных слоев и тел модели. Так, в процессе расчетов 3D плотностной модели были не только уточнены глубинные границы земной коры (прямых данных об их положении в регионе немного), но и откорректировано положение границ отдельных толщ осадочного чехла.

Особый интерес представляет изучение структуры в восточном борту Северо-Баренцевской впадины, структуры, являющейся источником описанной выше отрицательной магнитной аномалии. Для уточнения строения земной коры в зоне, включающей аномалию, была рассчитана магнитная модель строения верхней коры.

Магнитная 3D модель включает три профиля длиной по 385 км и глубиной 20 км. Профили пересекают зону минимума аномального магнитного поля, простирающуюся вдоль восточного борта Северо-Баренцевской впадины, к западу от Адмиралтейского поднятия и поднятия мыса Желания. На всех трех пересечениях аномалия подобрана блоком пород пониженной намагниченности в кристаллическом фундаменте, поверхность которого под аномалией находится на глубине 12—14 км. Асимметрия аномалии объясняется наклоном границ блока с аномально низкой намагниченностью по направлению на восток. При этом угол наклона составляет порядка 10—15°.

Намагниченность осадочных толщ региона мало влияет на характер магнитных аномалий. Анализ намагниченности отдельных блоков фундамента позволяет определять сравнительные величины их намагниченности. Так, если принять, что в зоне, являющейся источником отрицательной магнитной аномалии, намагниченность составляет 0.3 А/м — среднюю величину намагниченности парагнейсов, слагающих глубинные зоны амагматических глубинных контактных зон, то к западу от аномальной зоны расчетная эффективная намагниченность фундамента составляет 1.0 А/м, что характерно для многих кристаллических пород состава гранодиоритов. К востоку от зоны намагниченность образований фундамента резко возрастает до 2.9 А/м. Такие значения намагниченности характерны для базальтов и долеритов, а также для многих метаморфических пород основного состава.

Результаты моделирования показывают, что отмечаемая отрицательной магнитной аномалией крупнейшая шовная зона прослеживается на стыке Северо-Баренцевского мезозойского и Северо-Карского палеозойского осадочных бассейнов. Зона прослеживается на многие сотни километров вдоль западного склона Адмиралтейского поднятия, и к северу от Новой Земли приближается к ступени Тегеттгофа.

Характер отмеченной магнитной аномалией зоны изучен на ряде пересекающих ее сейсмических профилей. На рис. 4 приведен временной разрез по профилю 200707.

Несколько отличительных признаков отмечают особое тектоническое значение зоны, совпадающей в плане с минимумом магнитного поля. Резко изменяется характер сейсмической записи, соответствующей несогласиям  $\text{III}_2$ ,  $I_a$  и А. К востоку от зоны (в пределах Предновоземельской области) несогласия проявляются четко, к западу от нее — весьма неуверенно. Полностью выдержанным характер сейсмической записи и отмечаемых несогласий становится для горизонтов Б, В и  $\Gamma_n$ , т. е. для покровного осадочного комплекса, накапливающегося с поздне триасового времени.

В западной части разреза осложнения записи, соответствующие, скорее всего, силлам и покровам, расположены в толще А—Б. В восточной части осложнения записи (отдельные рельефно выделяющиеся горизонты и «яркие пятна») распределены по всему разрезу.

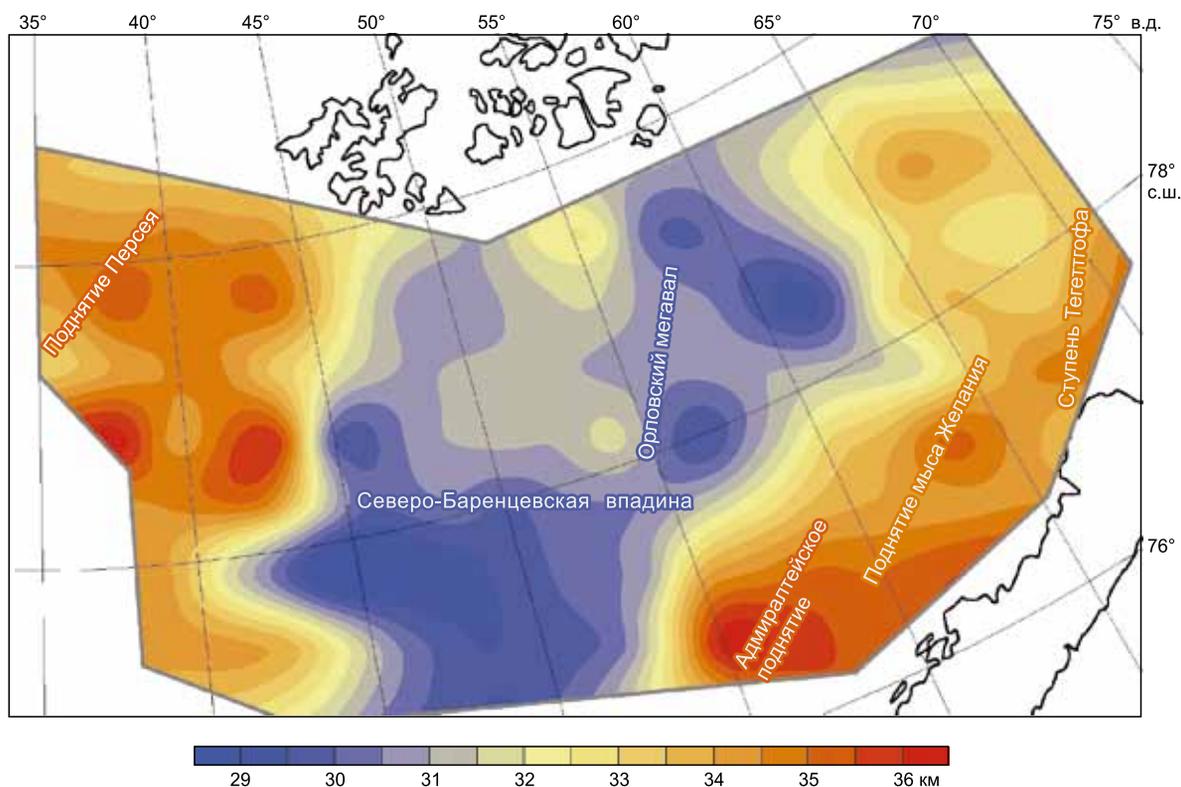
В помощь сейсмическим материалам для получения дополнительных объективных характеристик разреза был выполнен анализ источников магнитных аномалий. Первоначально оценка глубины залегания источников выполнялась в двумерной постановке вдоль профилей съемки, отстоящих друг от друга на 1 км. Расчеты проводились с использованием деконволюции Вернера при помощи программы Oasis Montaj. Затем кромки проецировались на сейсмические разрезы в полосе 10 км (по 5 км в каждую сторону от профиля). При этом глубина залегания магнитных источников пересчитывалась для нанесения на временной разрез согласно скоростным законам, полученным по результатам работ на изучаемой площади.

Источники магнитных аномалий, за исключением, в зоне магнитного минимума отсутствуют. К западу от зоны источники концентрируются в толще А—Б и пространственно совпадают с осложнениями сейсмической записи, связанными с присутствием в разрезе траптовых образований. К востоку от зоны источники аномалий расположены гипсометрически ниже, вблизи поверхности кристаллического фундамента.

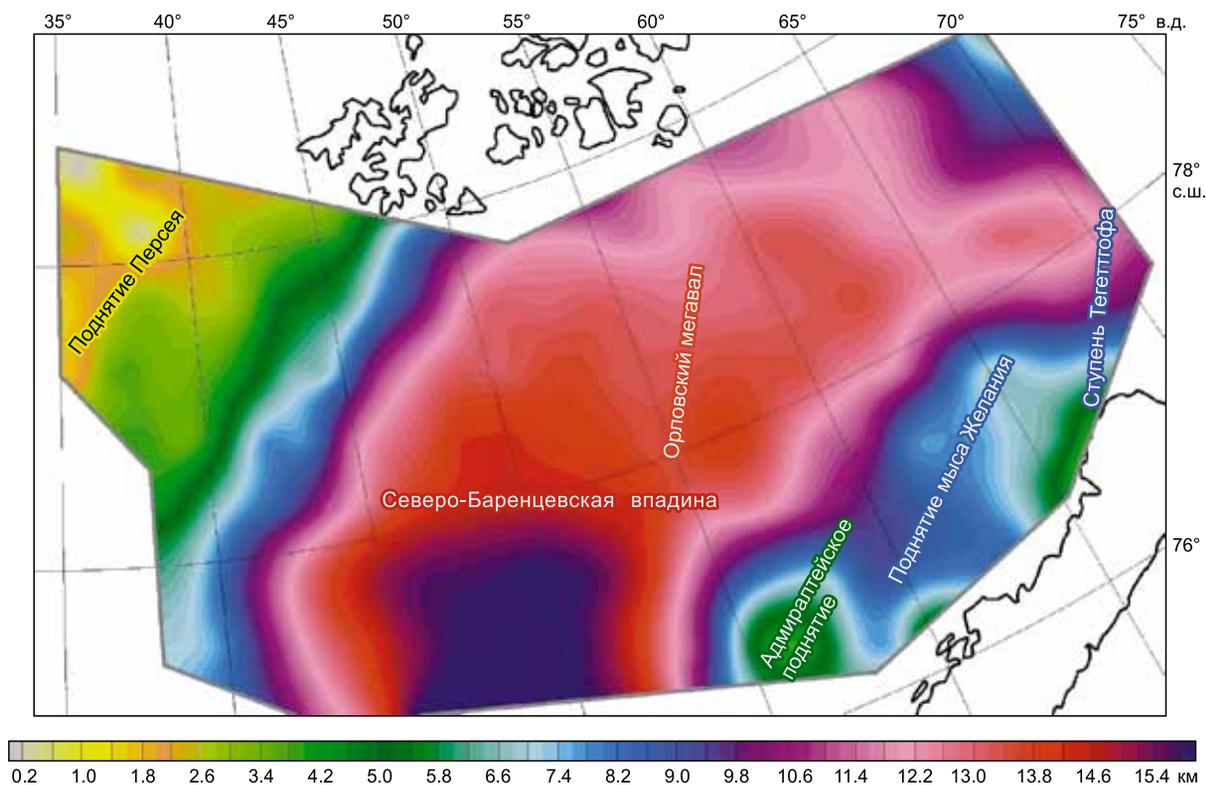
По окончании расчетов и подбора модели в рамках изучаемой площади из модели извлечены данные для составления ряда карт. Ниже представлены карты глубины поверхности Мохоровичича (рис. 5), глубины поверхности фундамента (горизонт  $\text{III}_2$  — рис. 6), глубины горизонта А ( $P_1$ ) (рис. 7) и карта изопакит осадочного чехла в интервале  $I_a$ — $\text{III}_2$  (рис. 8).

## СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Данные, извлеченные из 3D модели земной коры, часть которых иллюстрирована рисунками 3 и 5—8, позволили показать границы разнородных блоков фундамента и ареалы развития разновозрастных осадочных толщ на Северо-Баренцевской площади (рис. 9).



**Рис. 5.** Глубина поверхности Мохоровичича по данным, извлеченным из 3D сейсмогравитационной модели земной коры Северо-Баренцевской площади.



**Рис. 6.** Глубина поверхности фундамента (горизонт III) по данным, извлеченным из 3D сейсмогравитационной модели земной коры Северо-Баренцевской площади.

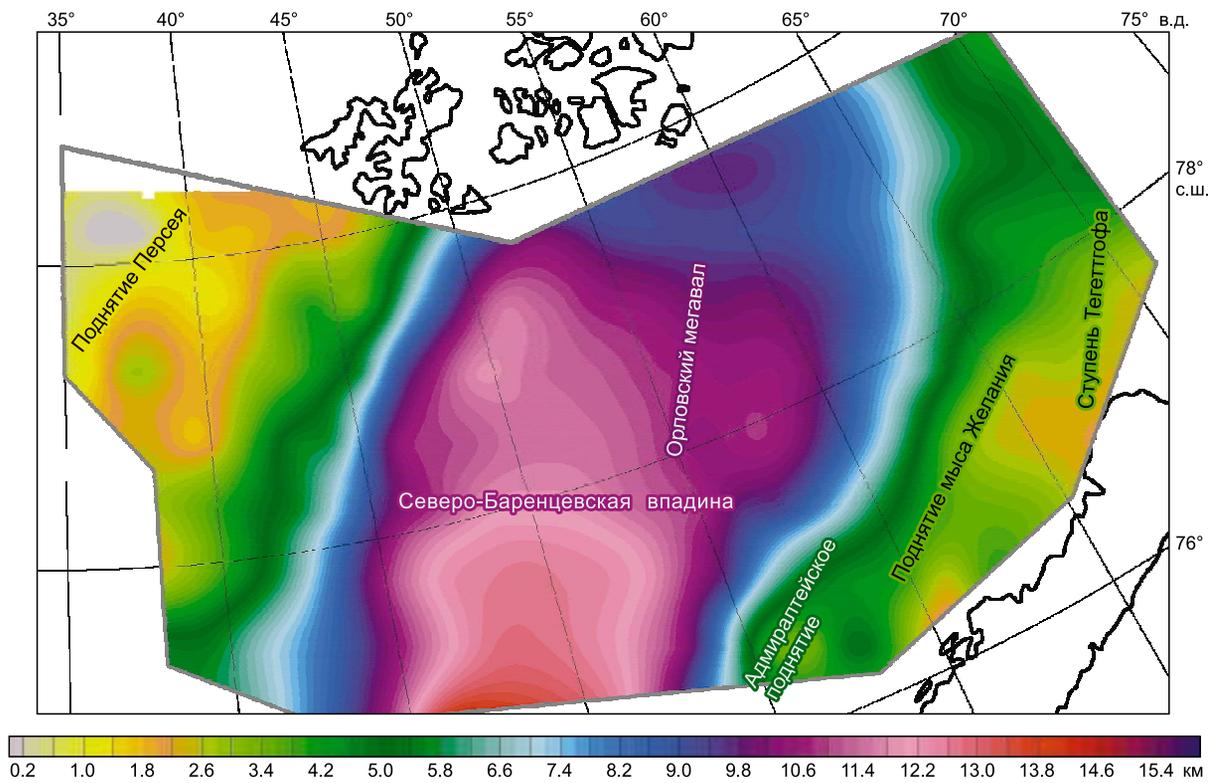


Рис. 7. Глубина поверхности горизонта А ( $P_1$ ) по данным, извлеченным из 3D сейсмогравитационной модели земной коры Северо-Баренцевской площади.

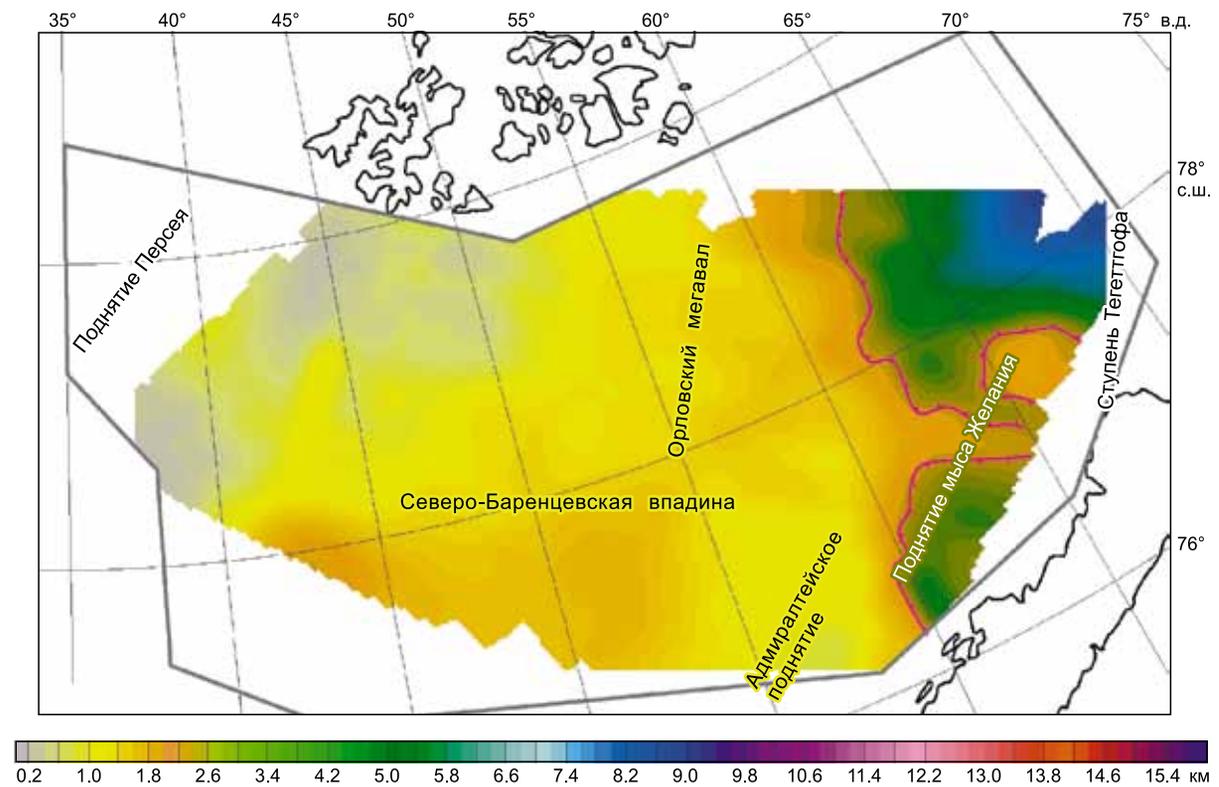
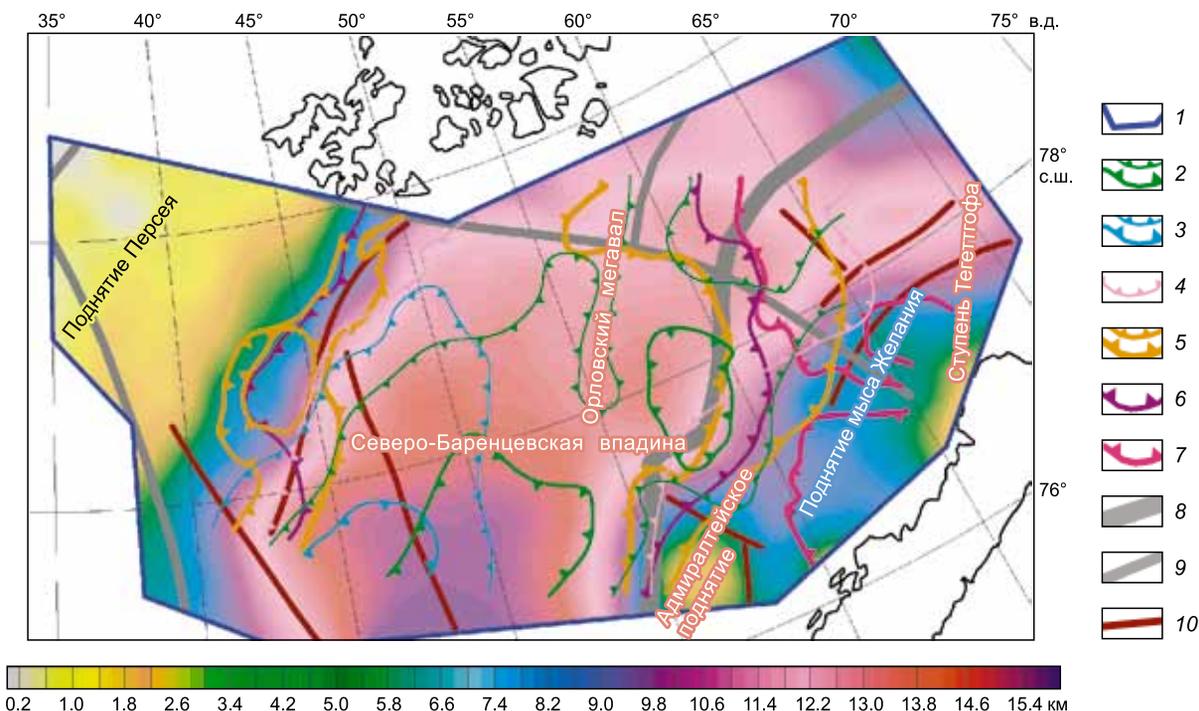


Рис. 8. Карта изопакт осадочного чехла Северо-Баренцевской площади в интервале  $I_a$ — $III_2$  и линии нарастания скорости осадконакопления в рассматриваемом интервале времени.



**Рис. 9. Границы разнородных блоков фундамента и ареалы развития разновозрастных осадочных толщ на Северо-Баренцевской площади.**

Цветом показана общая мощность осадочного чехла. 1 — контур изучаемой площади; 2—7 — изопахиты в интервале: 2 —  $\Gamma_n$  — дно ( $K_{nc}$ —Q), проведены по изопахитам 1.2 и 0.6 км; 3 — В— $\Gamma_n$  ( $J_3$ — $K_{nc}$ ), проведены по изопахитам 0.8 и 0.4 км; 4 — Б—В ( $T$ — $J_1$ ), проведены по изопахите 0.6 км; 5 — А—Б ( $P_2$ — $T_1$ ), проведены по изопахитам 4.8 и 2.8 км; 6 —  $I_a$ —А ( $C_2$ — $P_1$ ), проведены по изопахите 2.0 км; 7 —  $\Pi_2$ — $I_a$  ( $D$ — $C_1$ ), проведены по изопахите 4.0 км; 8 — глубинная шовная зона сочленения мезозойского и палеозойского осадочных бассейнов; 9 — дизъюнктивные зоны контакта разнородных блоков кристаллического фундамента; 10 — зоны разрывных дислокаций в осадочном чехле и верхней коре.

Главной отличительной чертой поверхности Мохоровичича в изученной области являются четко выраженные градиентные зоны в бортах Северо-Баренцевской впадины. В них происходит переход от глубин Мохо порядка 30 км, характерных для впадины, до глубин порядка 35 км за ее пределами (см. рис. 5). На карте четко обозначено также погружение поверхности Мохоровичича в северо-восточном направлении через линию раздела, протягивающуюся от северной оконечности Новой Земли к центральной части архипелага Земля Франца-Иосифа.

Поверхность фундамента (см. рис. 6) является в первом приближении зеркальным отражением поверхности Мохоровичича. В центральной части впадины при глубине фундамента около 16 км на кристаллическую часть земной коры остается менее 15 км. В бортах Северо-Баренцевской впадины общая мощность осадочного чехла уменьшается до 3—5 км. На северо-востоке впадины просматриваются две дизъюнктивные зоны северо-западной ориентировки, по которым происходит резкое уменьшение мощности осадочного чехла впадины.

Наибольший вклад в объем осадочного чехла Северо-Баренцевской впадины вносит толща, заключенная между горизонтами А—Б, формирование которой большинство исследователей относит к позднепермскому—раннетриасовому времени. Толща четко ограничена зонами уменьшения мощности не только с запада и востока, но и с северо-востока (см. рис. 7). Залегающая под ней толща терригенных пород, расположенная между горизонтами  $I_a$ —А и относимая к периоду образования  $C_2$ — $P_1$ , имеет схожие контуры площади распространения (см. рис. 9). А вот терригенно-карбонатная толща палеозойских пород, залегающая в основании осадочного разреза, существование которой постулируется рядом исследователей на всей площади Северо-Баренцевской впадины, по нашим данным, уверенно идентифицируется только в Предновоземельской области. Западнее отмеченной магнитным минимумом шовной зоны прослеживание из Предновоземельской области расположенных на больших глубинах горизонтов А,  $I_a$  и  $\Pi_2$  следует считать весьма условным. Следовательно, и сейсмостратиграфическая идентификация выявленных здесь несогласий носит условный характер.

Три верхние толщи осадочного чехла впадины имеют небольшую мощность. Толща, ограниченная горизонтами Б и В, откладывалась в позднепермское—раннеюрское время в спокойном режиме

осадконакопления, прерванного поднятием и регрессией на границе ранней и средней юры [Geological history ..., 2010]. Максимальная мощность осадков этого интервала не превосходит 1.5 км. Контуры площади осадконакопления по сравнению с контурами площадей предыдущих периодов осадконакопления несколько сместились к востоку.

Период накопления толщи между горизонтами В и Г<sub>н</sub> (средняя юра—неоком) совпадает по времени с максимальной трансгрессией и существованием на площади, занимаемой Баренцевской плитой, открытого морского шельфа. Осадки мощностью до 1 км отлагались на ограниченном по площади южном участке впадины.

Наконец, верхняя толща осадков, накопление которой начинается в неокоме, в период наибольшей магматической активности на территории современного архипелага Земля Франца-Иосифа закартирована в основном на двух изолированных участках: к западу от шовной зоны и в южной части впадины (см. рис. 9). Трудно себе представить, каким образом интенсивный магматизм в блоке земной коры, в котором располагается современный архипелаг ЗФИ, распространявшийся к тому же и на большую часть Северо-Баренцевской впадины, о чем свидетельствуют и сейсмические данные, и данные изучения магнитных аномалий, сочетался именно с таким ареалом осадконакопления в этой впадине. Решить эту проблему могут только дальнейшие исследования истории осадконакопления в регионе.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в последние годы новые геофизические данные позволили определить контуры ареалов развития разновозрастных осадочных толщ на Северо-Баренцевской площади и выполнить модельные расчеты и построения, характеризующие строение земной коры региона.

В центральной части Северо-Баренцевской впадины, где глубина залегания фундамента определена по сейсмическим данным в 12—16 км, трудно говорить определенно, какого возраста осадки залегают в основании осадочного чехла. Прямое прослеживание во впадину палеозойских толщ от Адмиралтейского поднятия не выглядит обоснованным. Если в зарождавшейся впадине уже существовали значительные по мощности осадочные толщи, то при погружении на большие глубины, по мере роста температуры и давления, и резкого снижения вязкости, эти отложения подвергались деформации и динамометаморфизму. В результате, наблюдаемые в низах разреза субгоризонтальные границы с одинаковой вероятностью могут быть и стратиграфическими, и поверхностями скольжения. Подобная проблема определения возраста осадочных толщ в низах разрезов характерна и для других сверхглубоких прогибов.

Северо-западный борт впадины, пограничный с поднятием Персея, представляет собой серию литрических разломов.

На северо-северо-востоке Северо-Баренцевская впадина граничит с блоком архипелага Земля Франца-Иосифа. О характере границы говорит то обстоятельство, что магнитные аномалии, связанные, очевидно, с трапповыми магматическими телами как триасового, так и юрско-мелового возраста, через северную границу впадины не прослеживаются. Следовательно, зона разлома, ограничивающая Северо-Баренцевскую впадину с северо-северо-востока, должна была быть активной и после завершения ранне-меловой фазы магматизма и иметь значительную сдвиговую составляющую.

Восточный борт Северо-Баренцевской впадины представляет собой пологий надвиг, по которому на нее надвинуты образования Пай-Хой-Новоземельской складчатой области, слагающие Адмиралтейское поднятие. К востоку от отрицательной магнитной аномалии, маркирующей зону надвига, в осадочном чехле развиты преимущественно палеозойские породы. Время активизации надвига определяется как поздне-триасовое в соответствии с возрастом перекрывающих толщ. Данные моделирования, так же как и собственно сейсмические материалы, показывают, что шовная зона представляет собой широкую (20—50 км) полого наклоненную на восток структуру, при переходе через которую не прослеживается корреляция несогласий, относящихся ко времени ранее поздне-триасового. В фундаменте эта структура аппроксимируется при моделировании областью пониженной намагниченности и плотности, что и наблюдается обычно в зонах межблоковых дизъюнктивных деформаций. Существование такого гигантского надвига предполагалось ранее в работе Н.А. Богданова с соавторами [1997].

Шовная зона на восточном борту Северо-Баренцевской впадины представляет особый интерес для исследований нефтегазоносности, учитывая перспективы зон подобного рода на открытие крупных месторождений нефти.

### ЛИТЕРАТУРА

**Аплонов С.В., Шмелев Г.Б., Краснов Д.К.** Геодинамика Баренцево-Карского шельфа (по геофизическим данным) // Геотектоника, 1996, № 4, с. 58—76.

**Баренцевская шельфовая плита** / Ред. И.С. Грамберг. Л., Недра, 1988, 263 с.

- Богданов Н.А., Хаин В.Е., Шпилов Э.В.** Раннемезозойская геодинамика Баренцево-Карского региона // ДАН, 1997, т. 357, № 4, с. 511—515.
- Верба М.Л., Павленкин А.Д., Тулина Ю.В.** Глубинная геологическая структура шельфа Баренцева моря // Неоднородности глубинного строения земной коры океанов. Л., Севморгеология, 1986, с. 75—88.
- Верба М.Л., Иванова Н.М., Кацев В.А., Рослов Ю.В., Сакулина Т.С., Телегин А.Н.** Результаты сейсмических исследований по опорным профилям АР-1 и АР-2 в Баренцевом и Карском морях // Разведка и охрана недр, 2001, № 10, с. 3—7.
- Винокуров И.Ю., Беляев И.В., Егоров А.С., Каленич А.П., Матвеев Ю.И., Прудников А.Н., Рослов Ю.В.** Глубинная модель и особенности эволюции Баренцево-Карского региона // Геология полярных областей Земли. Материалы XLII тектонического совещания. Т. 1. М., ГЕОС, 2009, с. 102—106.
- Геологическое строение Баренцево-Карского шельфа.** Л., Севморгеология, 1985, 115 с.
- Геология Южного острова Новой Земли.** Л., Севморгеология, 1982, 139 с.
- Комарницкий В.М., Шпилов Э.В.** Новые геологические данные о магматизме Баренцева моря // Докл. АН СССР, 1991, т. 320, № 5, с. 1203—1206.
- Копп М.Л.** Трансевразийский правый сдвиг вдоль линии Торнквиста и предполагаемая кинематика Восточно-Европейской субплиты в кайнозое // Тезисы докладов 7-й Международной конференции по тектонике плит им. Зоненшайна. М., Научный мир, 2001, с. 119—120.
- Корога Е.А., Ковалева Г.Н., Труфанов Г.В.** Формации, тектоника и история геологического развития киммерид Новой Земли // Геотектоника, 1989, № 6, с. 40—61.
- Корога Е.А., Евдокимов А.Н., Столбов Н.М., Каминский В.Д., Трухалев А.И.** Позднемезозойский и кайнозойский базитовый магматизм северо-запада континентальной окраины Евразии // Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, т. 215. СПб., ВНИИОкеангеология, 2010, 174 с.
- Коротаев М.В., Никишин А.М., Шпилов Э.В., Клутинг С., Стефенсон Р.А.** История геологического развития Восточно-Баренцевского региона в палеозое—мезозое по данным компьютерного моделирования // ДАН, 1998, т. 359, № 5, с. 654—658.
- Красножен А.С.** История новейшего развития южной части Новой Земли // Геология Южного острова Новой Земли. Л., Севморгеология, 1982, с. 100—108.
- Маловицкий Я.П., Мартиросян В.Н., Федоровский Ю.Ф.** Геолого-геофизическая изученность и нефтегазоносность дна Баренцева и Печорского морей // Разведка и охрана недр, 1998, № 4—5, с. 8—12.
- Пискарев А.Л.** Петрофизические модели земной коры Северного Ледовитого океана. СПб., 2004, 134 с. (Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология, т. 203).
- Погребницкий Ю.Е., Грамберг И.С., Кулаков Ю.Н., Сороков Д.С.** Арктический нефтегазоносный супербассейн // Нефтегазоносность Мирового океана. Л., Севморгеология, 1984, с. 7—21.
- Подурушин В.Ф.** Основные черты геодинамической истории Западно-Сибирской платформы // Тезисы докладов 7-й Международной конференции по тектонике плит им. Зоненшайна. М., Научный мир, 2001, с. 138—139.
- Преображенская Э.Н., Школа И.В., Сергеев Д.В., Можаяев О.В.** Вещественный состав и условия формирования триасовых отложений архипелага Земля Франца-Иосифа (по материалам параметрического бурения) // Геологическое строение Баренцево-Карского шельфа. Л., Севморгеология, 1985, с. 74—86.
- Соболев Н.Н., Устрицкий В.И., Черняк Г.Е.** Строение палеозойской пассивной континентальной окраины на Новой Земле // Геологическое строение Баренцево-Карского шельфа. Л., Севморгеология, 1985, с. 34—43.
- Соколов Б.А.** О некоторых новых направлениях развития нефтегазовой геологии // Минеральные ресурсы России, 1992, № 3, с. 7—14.
- Сурков В.С., Смирнов Л.В., Гурари Ф.Г., Девятов В.П., Казаков А.М.** Динамика накопления мезозойско-кайнозойского осадочного слоя Западно-Сибирского бассейна // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (5), с. 919—926.
- Устрицкий В.И.** О тектонической природе Баренцево-Карского мегапрогиба // Проблемы нефтегазоносности Мирового океана. М., Наука, 1989, с. 182—191.
- Шипелькевич Ю.В., Корога Е.А., Устинов Н.В.** Мезозойские трапповые интрузии на Восточно-Баренцевском шельфе и их место в истории геологического развития региона // 25 лет на Арктическом шельфе России. Мурманск, МАГЭ; СПб., ВНИИОкеангеология, 1999, с. 50—56.
- Шпилов Э.В.** Позднемезозойский магматизм и кайнозойские тектонические деформации Баренцевоморской континентальной окраины: влияние на распределение углеводородного потенциала // Геотектоника, 2015, № 1, с. 60—85.

**Шипилов Э.В., Лобковский Л.И.** Позднемезозойский плюмовый магматизм арктического региона: геохронология, фазы и геодинамические обстановки проявления // Арктика: экология и экономика, 2016, № 2 (22), с. 72—81.

**Døssing A., Jackson H.R., Matzka J., Einarsson I., Rasmussen T.M., Olesen A.V., Brozena J.M.** On the origin of the Amerasia Basin and the High Arctic Large Igneous Province—supplementary information // Earth Planet. Sci. Lett., 2013, v. 363, p. 219—230.

**Geological history** of the Barents Sea. Atlas / Eds. M. Smerlor, O.V. Petrov, G.B. Larssen, S.C. Werner. Geological Survey of Norway, 2010, 135 p.

**Geology** of Franz Josef Land / Ed. V.D. Dibner. Oslo, Norsk Polarinstitut, 1998, 190 p.

**Jakobsson M., Mayer L.A., Coakley B., Dowdeswell J.A., Forbes S., Fridman B., Hodnesdal H., Noormets R., Pedersen R., Rebesco M., Schenke H.-W., Zarayskaya A.D. Accettella A., Armstrong R.M., Anderson P., Bienhoff A., Camerlenghi Y., Church I., Edwards M., Gardner J.V., Hall J.K., Hell B., Hestvik O.B., Kristoffersen Y., Marcussen C., Mohammad R., Mosher D., Nghiem S.V., Pedrosa M.T., Travaglini P.G., Weatherall P.** The international bathymetric chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0 // J. Geophys. Res. Lett., 2012, v. 39, № 12, p. 1—6, doi: 10.1029/2012GL052219.

**Kenyon S., Forsberg R., Coakley B.** New gravity field for the Arctic // Eos. Trans. American Geophysical Union, 2008, v. 89, № 32, p. 289—290.

**Mann P., Gahagan L.** Tectonic setting of the world's giant oil and gas fields / Ed. M.T. Halbouty // Oil and gas giants of the decade 1990-1999. AAPG Memoir 78, 2003, p. 15—105.

**Ntaflou Th., Richter W.** Continental flood basalts from Franz Josef Land, Arctic Russia: Geochemical evidence for bimodal magmatism // Abstracts. ICAM III. Celle (Germany), 1998, p. 131—132.

**Piskarev A.L., Shkatov M.Yu.** Energy potential of the Russian Arctic seas: Choice of the development strategy. Developments in petroleum science, Volume 58. Amsterdam, Elsevier, 2012, 420 p.

*Рекомендована к печати 18 декабря 2017 г.  
А.Д. Дучковым*

*Поступила в редакцию 28 декабря 2016 г.,  
после доработки — 26 октября 2017 г.*