

УДК 550.837.211, 550.342, 551.24.02

DOI 10.31087/0016-7894-2021-6-83-105

Морфоструктурные и вещественные характеристики магматических образований Енисей-Хатангского прогиба: новые результаты анализа геофизических данных

© 2021 г. | В.С. Андреев¹, И.А. Бисеркин¹, Е.М. Большаков¹, Г.М. Довыденко¹, Н.Н. Пиманова¹, Е.Ю. Соколова^{1,2}, В.А. Спиридонов¹, А.Л. Шпекторов¹

¹ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт», Москва, Россия; Andreev-vls@yandex.ru; igor_workbox@mail.ru; bolshakov.e.m@yandex.ru; dovydenko.gennady@yandex.ru; nadja@geosys.ru; sokol_l@mail.ru; victor@geosys.ru; lab6-vniigeosistem@yandex.ru;

²ФГБУ Институт Физики Земли им. О.Ю. Шмидта, Российской академии наук, Москва, Россия; sokol_l@mail.ru

Поступила 24.05.2021 г.

Доработана 30.06.2021 г.

Принята к печати 31.08.2021 г.

Ключевые слова: *Енисей-Хатангский прогиб; глубинное строение нефтегазоносных регионов; магматические продукты активности Сибирского суперплюма; комплексный анализ геофизических данных; 2D и 3D-инверсии.*

Аннотация: Представлены результаты анализа данных комплексных геофизических исследований центральной части Енисей-Хатангского регионального прогиба, полученные в процессе построения его объемной плотностной модели. Внимание фокусируется на важных элементах глубинной архитектуры — магматических образованиях периода геодинамической активизации рубежа палеозоя и мезозоя. Данные региональных профильных постановок МОГТ и МТЗ интерпретируются с опорой на районирование потенциальных полей, 2D и 3D-геофизические инверсии и классификацию магматических комплексов. Получены новые материалы для актуализации структурно-тектонических моделей Енисей-Хатангского регионального прогиба: оконтурены области распространения погребенных туфобазальтов и пояса бортовых интрузивов, локализованных по глубине и идентифицированных по составу в профильных разрезах. Предложены возможности использования результатов проведенного анализа для поисков потенциальных ловушек углеводородов, ассоциированных с магматическими структурами, а также в качестве дополнительных ограничений гипотез об этапах формирования Енисей-Хатангского регионального прогиба.

Для цитирования: Андреев В.С., Бисеркин И.А., Большаков Е.М., Довыденко Г.М., Пиманова Н.Н., Соколова Е.Ю., Спиридонов В.А., Шпекторов А.Л. Морфоструктурные и вещественные характеристики магматических образований Енисей-Хатангского прогиба: новые результаты анализа геофизических данных // Геология нефти и газа. – 2021. – № 6. – С. 83–105. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-6-83-105.

Morphostructural and physical characteristics of magmatic formations within Yenisei-Khatanga Trough: new results of geophysical data analysis

© 2021 | V.S. Andreev¹, I.A. Biserkin¹, E.M. Bol'shakov¹, G.M. Dovydenko¹, N.N. Pimanova¹, E.Yu. Sokolova^{1,2}, V.A. Spiridonov¹, A.L. Shpektorov¹

¹All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia; Andreev-vls@yandex.ru; igor_workbox@mail.ru; bolshakov.e.m@yandex.ru; dovydenko.gennady@yandex.ru; nadja@geosys.ru; sokol_l@mail.ru; victor@geosys.ru; lab6-vniigeosistem@yandex.ru;

²Schmidt Institute of the Physics of the Earth of the Russian Academy of sciences, Moscow, Russia; sokol_l@mail.ru

Received 24.05.2021

Revised 30.06.2021

Accepted for publication 31.08.2021

Key words: *Yenisei-Khatanga Trough; deep structure of oil and gas bearing regions; magmatic products of Siberian superplume; integrated analysis of geophysical data; 2D and 3D inversion.*

Abstract: The authors present the results of geophysical data integrated analysis for the central part of the Yenisei-Khatanga Regional Trough, which was carried out during the course of building its three-dimensional density model. The focus is on important elements of the deep-seated architecture: volcanic sequences related to the geodynamic activation at the turn of Palaeozoic and Mesozoic eras. Data of regional 2D CDP and Magnetotelluric Sounding surveys are interpreted with a support of gravity and magnetic fields based zoning, 2D/3D geophysical inversion, and igneous complexes classification. New materials were obtained to update structural and tectonic models of the Yenisei-Khatanga Regional Trough, namely: areas of buried tuff basalt occurrence and a belt of flank intrusions localized according to depth and identified according to their composition in the sections created along the survey lines are delineated. The authors discuss possibilities of using the results of this analysis in prospecting for potential hydrocarbon traps associated with magmatic structures and as additional constraints on hypotheses on the stages of the Yenisei-Khatanga Regional Trough formation.

For citation: Andreev V.S., Biserkin I.A., Bol'shakov E.M., Dovydenko G.M., Pimanova N.N., Sokolova E.Yu., Spiridonov V.A., Shpektorov A.L. Morphostructural and physical characteristics of magmatic formations within Yenisei-Khatanga Trough: new results of geophysical data analysis. *Geologiya nefi i gaza*. 2021;(6):83–105. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-6-83-105. In Russ.

Введение

В последнее десятилетие для уточнения УВ-потенциала центрального арктического сектора России и поиска новых месторождений высокими темпами проводится комплексное геолого-геофизическое изучение строения Енисей-Хатангского регионального прогиба [1, 2]. По данным современных профильных зондирований МОГТ-2D и МТЗ, составляющих основу комплекса, удалось детализировать строение значительной части его мезозой-кайнозойского чехла, включая области осевых мегавалов, закартировать нижнемеловые клиноформы, юрские и другие перспективные осадочные комплексы, являющиеся объектами первостепенного внимания нефтяников. В то же время наиболее эффективная стратегия «широкого поиска», включающая также интерес к менее исследованным комплексам доюрского основания и палеозойским отложениям бортов прогиба, требует опоры на знания о глубинном строении региона и истории его тектонического развития, без которых нельзя обеспечить научный геологический прогноз. По результатам работ ([3–5] и др.) построены глубинные геолого-геофизические модели Енисей-Хатангского регионального прогиба и его обрамления. На основе интерпретации профильных образов МОГТ (включая транскоровые разрезы) с привлечением гравимагнитных и магнитотеллурических (МТ) данных выявлены тектонические особенности региона, трактовка которых может быть согласована с ранее выдвинутыми гипотезами о рифтогенной природе прогибов в его пределах ([6–9] и др.).

Подтверждением существования Енисей-Хатангского рифта явились построенные А.П. Афанасенковым с соавторами [10] объемные плотностная и магнитная модели региона, выявившие признаки существенной базификации коры в центральной части прогиба. С учетом этих результатов для ряда нефтегазоносных комплексов Енисей-Хатангского регионального прогиба построены структурно-тектонические модели, необходимые для ориентировки дальнейших поисков, а также обоснованного моделирования целевых структур верхних этажей разреза [1]. Генетическая связь процесса рифтогенеза Енисей-Хатангского регионального прогиба с большой трапповой провинцией Восточной Сибири (Сибирским суперплюмом) ([11–14] и др.) определяет важность анализа моделей глубинного строения Енисей-Хатангского регионального прогиба как для фундаментальной геологической науки, так и для воссоздания геодинамических моделей развития прогиба в прагматичных целях нефтегазового прогноза.

Регионально-поисковая стадия изучения Енисей-Хатангского прогиба близка к завершению, хотя новые данные по-прежнему позволяют актуализировать модели его строения. Настоящее исследование посвящено этой цели и сфокусировано на изучении пермотриасовых магматических образований, возникших в ключевой момент зарожде-

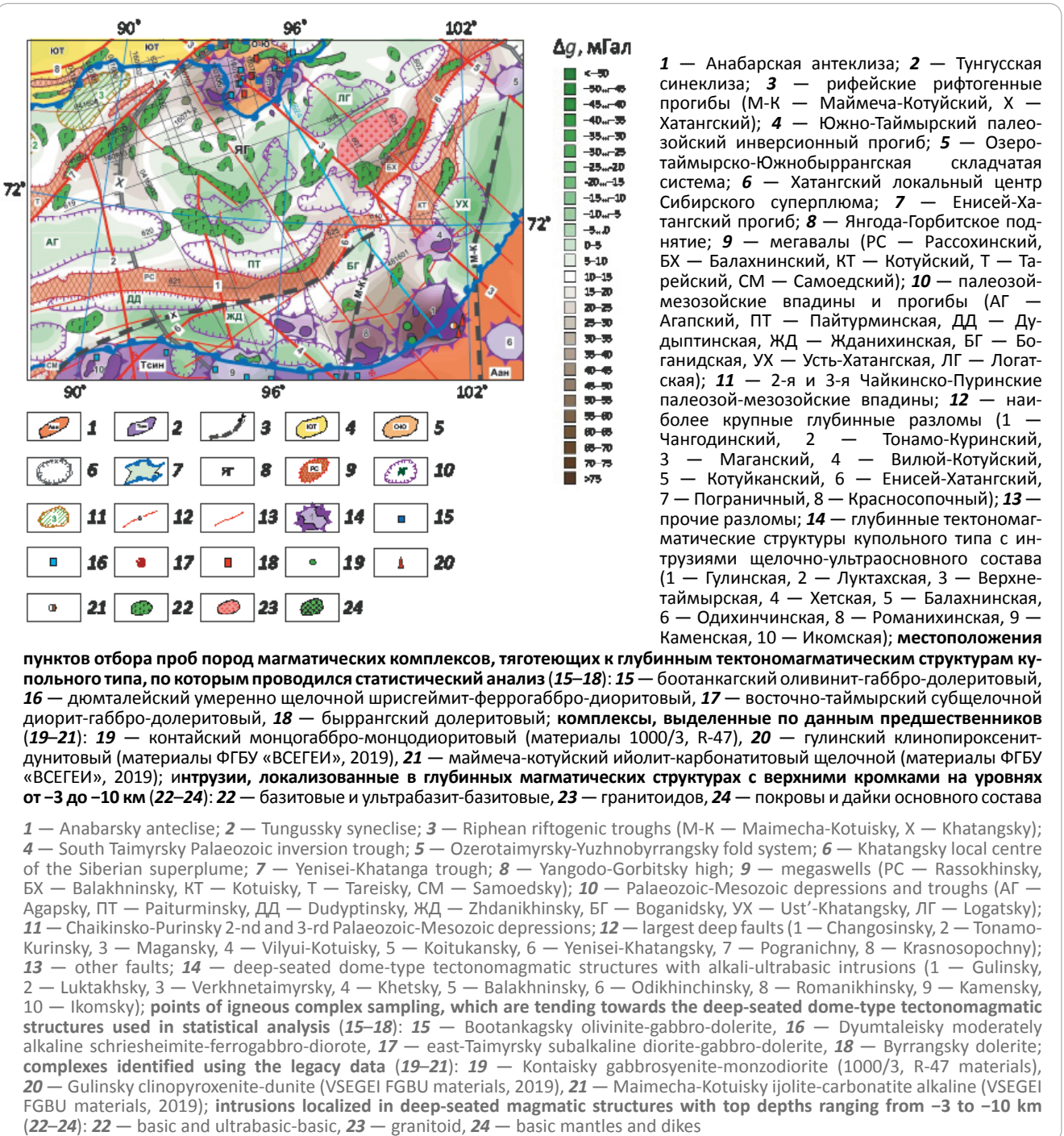
ния прогиба и остающихся одним из важнейших элементов современной глубинной архитектуры Енисей-Хатангского регионального прогиба. Эти структуры — значимые индикаторы для прогноза и широкого поиска УВ, они часто недоступны для геологического изучения но, как правило, четко проявлены геофизическими аномалиями.

Для решения поставленной задачи использовался комплекс материалов глубинной геофизики: профильные сейсмические и МТ-данные, площадные распределения потенциальных полей. Их анализ и интерпретация велись главным образом с использованием алгоритмических и технологических подходов геоинформационного комплекса ГИС INTEGRO [15]. В статье представлены особенности пространственно-глубинного распределения интрузивных и эффузивных образований, выявленные по материалам качественного анализа комплексных геофизических данных и уточненные с помощью соответствующих процедур инверсии и моделирования. Полученные сведения о магматических структурах Енисей-Хатангского прогиба обсуждаются в аспекте нефтегазового прогноза, а также в связи с гипотезами об этапах активности Хатангского локального центра Сибирского суперплюма.

Пермотриасовые магматические комплексы центральной части Енисей-Хатангского регионального прогиба

Структурно-тектонический план центральной части Енисей-Хатангского прогиба (рис. 1) определяют поднятия Янгодо-Горбитского выступа, Тарейского, Рассохинского и Балахнинского мегавалов и сопряженные зоны погружения — Агапский, Пайтурминский, Дудыптинско-Боганидско-Жданихинский прогибы. В пределах последних толща морских и континентальных отложений палеозой-мезозойского осадочного чехла, вероятно залегающего на докембрийском складчатом основании, может достигать мощности около 20 км [1]. С севера область ограничена южной складчато-надвиговой зоной позднепалеозой-раннемезозойского орогена Таймыра, а с юга — северными структурами (моноклизами) Тунгусской синеклизы и Анабарской антеклизы (Госгеолкарта, ГГК, 1000\3, R47-48, S46-47). Геохронология и геодинамическая история формирования Енисей-Хатангского регионального прогиба и его обрамления во многом остаются дискуссионными [3–5, 12, 13, 16], однако гипотеза о его рифтогенной природе в настоящее время принята наибольшим числом исследователей. Последняя хорошо согласуется с региональной геодинамической активизацией палеозой-мезозойского рубежа, проявленной мощным магматизмом в пределах современного прогиба и коррелированной с геологическим событием глобального значения — излиянием платобазальтов Сибирской трапповой провинции [6, 12, 17]. Сформированные этими процессами магматические структуры контрастируют по физиче-

Рис. 1. Геолого-структурная схема центральной части Енисей-Хатангского прогиба на фоне карты гравитационного поля
Fig. 1. Geological and structural scheme of the central part of the Yenisei-Khatanga Trough against the background of gravity field map



ским свойствам с вмещающими осадочными породами и во многом обуславливают уникальный аномальный характер геофизических полей на территории Енисей-Хатангского регионального прогиба и обрамления. Кратко опишем использованные в анализе вещественные характеристики магматических комплексов, слагающих наиболее значительные аномалиеобразующие объекты.

В районе исследования известны крупные тектономагматические структуры: Луктахская и Верхнетаймырская (северное обрамление Янгодо-

Горбитского выступа, Южно-Быррангский район), а также крупнейший Гулинский массив и генетически близкие магматические образования меньших размеров в Маймеча-Котуйской структурно-фациальной зоне (см. рис. 1). Эти полифазные интрузивы периода от поздней перми до позднего триаса, внедренные в вулканогенно-осадочные и терригенные доюрские толщи, атрибутируются как структуры купольного типа и хорошо выделяются контрастными изометричными магнитными и гравитационными аномалиям.

Луктахская и Верхнетаймырская структуры, практически не выходящие на поверхность, выявлены в пределах гор Бырранга по геофизическим и скважинным данным (см. рис. 1). В контурах вызванных ими интенсивных аномалий потенциальных полей обнаружены средне-позднетриасовые образования умеренно щелочного ультрабазит-базитового дюнталеяского комплекса, в среднем течении р. Большая Таймыра вскрытые скважинами среди вулканогенных и терригенно-угленосных образований поздней перми – раннего триаса.

Комплекс, по строению сходный с рядом норильских расслоенных интрузивных образований, включает серии с сульфидной минерализацией и горизонтами титаномагнетитовых руд (до 10 м) [18]. Согласно Госгеолкарте (ГТК 1000/3, лист S46), он датируется как средне-позднетриасовый.

В обрамлении Луктахской и Верхнетаймырской структур располагаются раннетриасовые образования боотанкагского и быррангского ультрабазит-базитовых, а также средне-позднетриасового восточно-таймырского базитового комплексов. Образования быррангского комплекса среди верхнепалеозойских отложений образуют многоярусные ассоциации параллельных долеритовых силлов мощностью 5–80 м, протяженностью до 40 км и прорываются расслоенными интрузиями боотанкагского плутонического комплекса.

На схему рис. 1 вынесены пункты отбора и описания петротипов магматических образований региона Енисей-Хатангского регионального прогиба (по [19]), которые классифицировались по базе данных их силикатных анализов (составлена по материалам ГТК 1000/3: S-46, 47, 48 49 и R-46, 48, 49). Классификация с помощью инструментария многомерной статистики показала, что аналоги вышеперечисленных базитовых и ультрабазит-базитовых комплексов, образующих в пределах Янгодо-Горбитского выступа статистически значимые таксоны, выявляются и на южном борту Енисей-Хатангского регионального прогиба, где также тяготеют к купольным тектономагматическим структурам (см. рис. 1).

В южном борту прогиба (Маймеча-Котуйская структурно-фациальная зона) расположена Гулинская ультрамафитовая интрузия, входящая в состав полиформационного Гулинского массива — крупнейшего в мире образования ультрамафит-ийолит-карбонатитовой формации, выявленного по интенсивным аномалиям потенциальных полей (см. рис. 1) и перекрытого с севера мезозой-кайнозойскими отложениями почти на двух третях площади его поверхности [20–22].

Породы Гулинского силлолаколита представлены в основном дунитами и пироксенитами [20]. Согласно работе [20], а также ГТК 1000/3, R47, они объединены в самостоятельный гулинский раннетриасовый дунит-клинопироксенитовый ком-

плекс, прорванный полифазными штоками маймеча-котуйских щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов. Возраст карбонатитов последней фазы, по данным современного изотопного датирования различными методами [21, 22], составляет около 250 млн лет.

В пределах Маймеча-Котуйской структурно-фациальной зоны известно еще несколько щелочно-ультрамафитовых структур центрального типа, а в непосредственной близости от Гулинского массива, в борту прогиба, скважиной вскрыта Контайская интрузия раннетриасового расслоенного монцогаббро-монцодиоритового комплекса (записка к ГТК 1000/3, R-47) (см. рис. 1).

Для анализа региональных геофизических данных требовались обобщенные оценки плотностных и магнитных свойств полифазных магматических образований и вмещающих пород основных структурных этажей разреза Енисей-Хатангского регионального прогиба. Они определялись с использованием схем структурно-формационного районирования по возрастным срезам, сопровождаемых стратиграфическими колонками для каждой структурно-фациальной зоны (материалы листов S-46 и R-47), а также сведений об атрибуции интрузивных комплексов, литологии и мощностях стратифицированных образований. Плотностные, магнитные и электрические свойства литологических разностей взяты из отчета (Афанасенков А.П., 2016) и из материалов [23, 24].

Методы и результаты анализа геолого-геофизических материалов

Анализ площадных распределений потенциальных полей

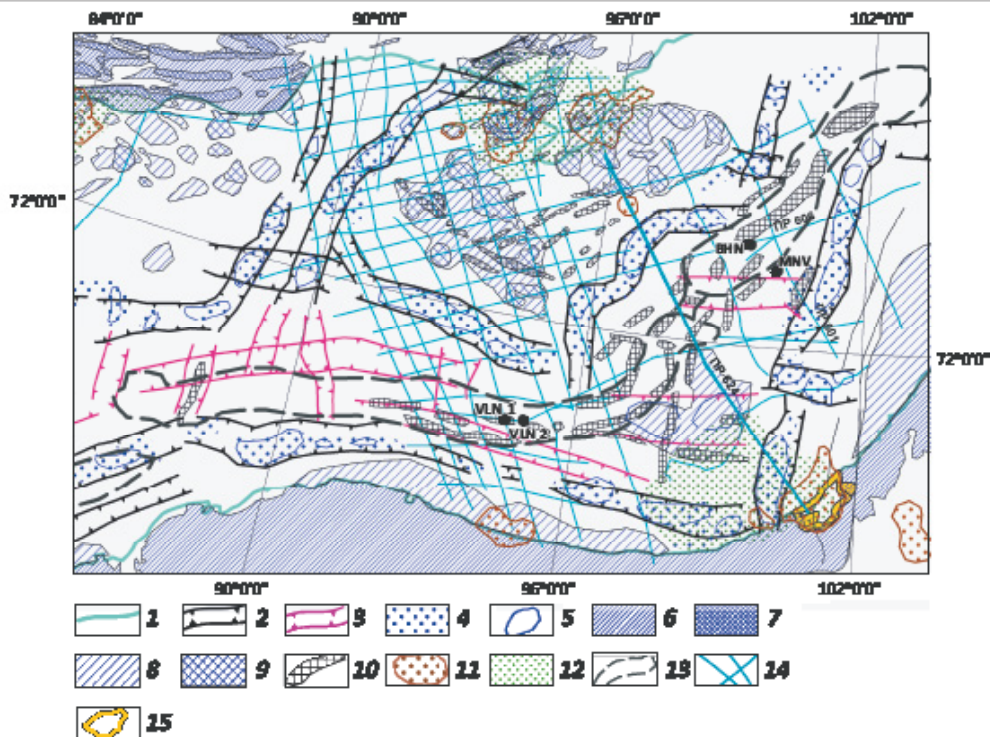
В потенциальных полях центральной части Енисей-Хатангского регионального прогиба широко проявлены аномальные эффекты интрузивных тел и эффузивов основного и ультраосновного состава, залегающих в осадочном чехле и фундаменте прогиба. Если в гравитационном поле аномалиеобразующими объектами являются также и рельеф глубинных границ раздела, латеральные изменения состава пород и др., то, в силу немагнитности большинства вмещающих пород, основным источником магнитных аномалий оказываются именно магматические структуры. Поэтому основным инструментом выделения последних служил пространственный анализ магнитного поля в совокупности с имеющимися сведениями об их составе и физических свойствах с учетом поведения гравитационного поля (рис. 2).

Протяженные зоны интенсивных положительных магнитных аномалий

В магнитном поле региона исследований выделяется сеть крупных линейно вытянутых положительных аномалий, объединяющихся в протяженные зоны длиной в сотни километров (при средней ширине 15–20 км) (рис. 3). Практически на всем

Рис. 2. Схема районирования магнитного и гравитационного полей с элементами интерпретации в терминах аномалиеобразующих магматических образований

Fig. 2. Scheme of magnetic and gravity fields zonation with elements of interpretation in terms of anomalous magmatic formations



1 — граница мезозойских осадочных пород Енисей-Хатангского прогиба; **2** — зоны крупных линейных положительных магнитных аномалий (источники в бортах прогиба на глубинах 3–10 км); **3** — зоны слабых линейных положительных магнитных аномалий (источники в центральной части прогиба на глубинах > 10–15 км); **4** — области совпадения магнитных и гравитационных аномалий в пределах зон; **5** — контуры максимумов магнитного поля в пределах зон; **6** — области обнажений пермотриасовых туфобазальтовых комплексов; **7** — интенсивные положительные аномалии магнитного поля в пределах областей (предположительно, подводящие дайки основного состава); **8** — умеренные положительные аномалии магнитного поля (участки развития туфобазальтов под осадками); **9** — магнитные аномалии повышенной интенсивности (предполагаемые участки увеличенной мощности туфобазальтов); **10** — узкие линейные положительные аномалии магнитного поля (предположительно, дайки основного состава); **11** — локальные гравитационные аномалии; картирующие интрузивные тела основного и ультраосновного состава, **12** — области положительного гравитационного поля (предположительно, связанные с распространением пород повышенной плотности на глубине); **13** — валы по гравитационным данным; **14** — сейсмические профили; **15** — контур эрозионного среза Гулинского массива

1 — boundary of Mesozoic sedimentary rocks in the Yenisei-Khatanga trough; **2** — zones of large positive linear magnetic anomalies (sources in the trough flanks at the depths 3–10 km); **3** — zones of low-amplitude linear magnetic anomalies (sources in the central part of the trough at the depths > 10–15 km); **4** — areas where magnetic and gravity anomalies coincide within the zones; **5** — contours of magnetic field maximums within the zones; **6** — areas of Permian-Triassic tuff-basalt series outcropping; **7** — high-amplitude positive anomalies of magnetic field within the areas (supposedly, basic feeder dikes); **8** — moderate positive anomalies of magnetic field (areas of tuff-basalt occurrence below sediments); **9** — higher-amplitude anomalies of magnetic field (supposed areas of larger thickness of tuff-basalt); **10** — narrow linear positive anomalies of magnetic field (supposed basic dikes); **11** — local gravity anomalies responding to basic and ultrabasic intrusive bodies; **12** — areas of positive gravity field (supposedly associated with deep occurrence of rocks having higher density); **13** — swells according to gravity data; **14** — seismic lines; **15** — outline of the Gulinskiy massif erosional truncation

протяжении они совмещаются с положительными аномалиями гравитационного поля и простираются преимущественно субширотно или в северо-северо-восточном направлении.

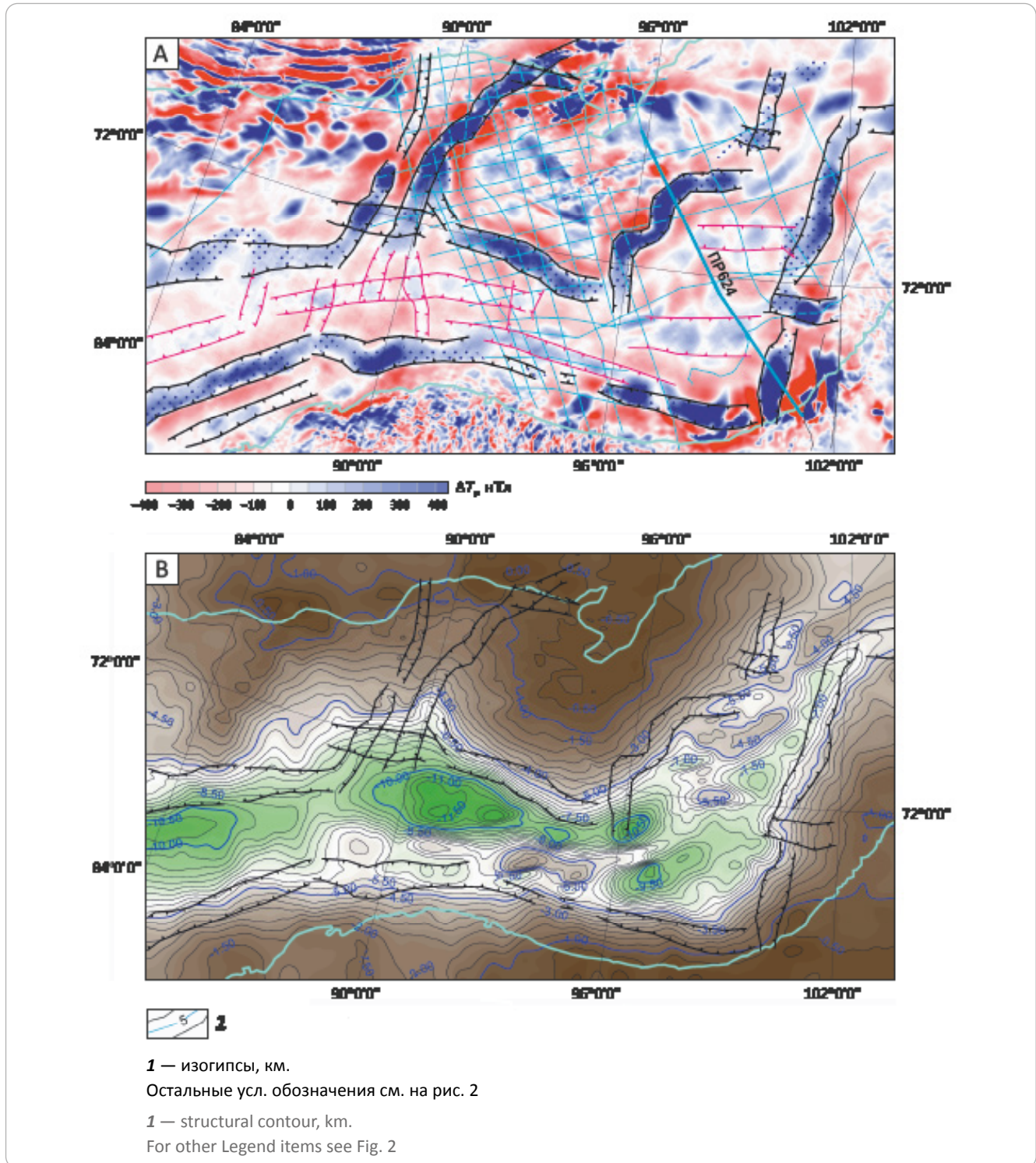
Сопоставление с картой рельефа поверхности пермских отложений (см. рис. 3 А) показывает, что эти зоны оконтуривают центральную, наиболее погруженную часть Енисей-Хатангского прогиба, маркируя полосы наибольшего градиента его склона. Аномалии магнитного поля асимметричны. Меньший градиент со стороны впадины свидетельствует о более пологом внутреннем контакте крутопадающих аномалиеобразующих объектов — вероятно, массив-

ных интрузивных тел основного или ультраосновного состава. Глубина их верхней кромки по магнитным данным оценивается 5–7–10 км, что согласуется с заключениями в отчете (Н.В. Нарский, 2016).

В центральной части площади картируются две зоны также совпадающих гравимагнитных аномалий субмеридионального простирания, которые ответвляются от северной бортовой зоны центральной части Енисей-Хатангского регионального прогиба и уходят практически вкрест его простирания на север, где наиболее мощная из них разворачивается на северо-запад (см. рис. 3 В), оконтуривая Янгодо-Горбитский выступ.

Рис. 3. Линейные зоны положительных аномалий на карте локальной составляющей магнитного поля (А) и структурная карта кровли пермских отложений, построенная в ходе разработки плотностной модели центральной части Енисей-Хатангского регионального прогиба (В)

Fig. 3. Linear zones of positive anomalies on the map of local component of magnetic field (A) and depth map of Permian Top created during the course of density model building for the central part of the Yenisei-Khatanga Regional Trough (B)



Аналогичные бортовым аномалиям по размерам в плане и по простиранию, но более слабые и симметричные аномальные зоны выделяются также в центральной части впадины и образуют наиболее протяженную линейную зону на западе исследуемой области (см. рис. 3 А). Их слабая интенсивность может определяться большой глубиной

залегания магнитных источников в донной части прогиба.

Линейные цепочки положительных магнитных аномалий

На рассматриваемой территории цепочки узких локальных положительных аномалий маг-

нитного поля характерны для центральной части Енисей-Хатангского прогиба и Янгодо-Горбитского поднятия (см. рис. 2).

Ряд этих аномалий расположен в районе центральных валов Енисей-Хатангского прогиба, где они характеризуются субширотным и северо-восточным простиранием, согласным простиранию инверсионных структур. Аномалии приурочены как к осевым частям валов, так и к их бортам и нередко пространственно коррелируют с линейными зонами локальных гравитационных аномалий. Наиболее вероятна их связь с дайковыми комплексами, однако, согласно скважинным данным, есть и другие источники — останцы траппов.

Аномалии магнитного поля, связываемые с трапповым магматизмом

На южном и юго-восточном бортах Енисей-Хатангского прогиба закартированы обширные площади проявления траппового магматизма. В магнитном поле они характеризуются мозаичной картиной аномалий, во многом обусловленной эрозией лавовых плато (см. рис. 3 А). Магнитные свойства туфобазальтовых комплексов позволяют оконтурить области их предполагаемого простирания под осадочными породами прогиба. Значительную по площади область более слабых, чем тунгусские, положительных аномалий на юго-востоке территории (Боганидский прогиб и его юго-восточный борт) можно картировать как область развития трапповых толщ (см. рис. 2). С погружением траппов во впадинах прогиба и при возможном сокращении мощности интенсивность магнитных откликов должна резко убывать, что ограничивает возможности их площадного прослеживания по магнитным данным.

Широкое развитие различных туфобазальтовых образований можно предполагать и на площади Янгодо-Горбитского выступа, скрытой под мезозойским чехлом (см. рис. 2). Здесь выделяются две крупные области с положительным магнитным полем, разделенные линейной зоной его понижения. Описываемые области не отражаются в гравитационном поле, поэтому мощности их магнитных источников, скорее всего, невелики. На севере восточной выделенной области закартированы выходы на поверхность складчатых трапповых толщ и узких силлов, что повышает достоверность предположения о наличии подобных образований под осадками в пределах обеих аномальных областей.

Обширные проявления траппового магматизма, картируемые геологами в пределах Южно-Таймырской области, севернее границы распространения осадочных пород Енисей-Хатангского прогиба, в магнитном поле отражаются по-разному (рис. 4, см. рис. 2). Так, туфобазальты складчатой верхнетамской свиты раннего триаса имеют высокую положительную намагниченность и участки их распространения в основном совпадают с участками положительных магнитных аномалий, а траппы ла-

бакской свиты пространственно совмещаются преимущественно с отрицательным магнитным полем (см. рис. 4 В), что подтверждается спецификой их остаточной намагниченности (согласно записке к ГТК S46).

По магнитному полю можно предполагать продолжение описанных магматических структур на юг, под осадочные отложения Енисей-Хатангского регионального прогиба. Здесь они, вероятно, служат источниками целого ряда положительных магнитных аномалий изометричной формы (см. рис. 3), которые практически не отражаются в гравитационном поле. Учитывая возможное обратное намагничение траппов, они могут занимать не только участки с повышенным магнитным полем, но и площади отрицательных аномалий между ними. Подобные признаки развития вулканитов под мезозойскими осадками во впадинах, к югу от полосы резкого погружения палеозойских толщ (см. рис. 3 В), по магнитным данным не могут быть выявлены уверенно. Однако в зонах инверсионных поднятий они вновь могут фрагментарно проявляться слабыми магнитными аномалиями.

Гравитационные и магнитные аномалии от крупных интрузивов

На территории исследования выделяются участки совпадения ярких изометричных магнитных и гравитационных (до десятков миллигал) аномалий, что позволяет идентифицировать их источники как основные или ультраосновные внедрения. Так, на севере Янгодо-Горбитского выступа картируется гравитационная аномалия с двумя локальными максимумами (см. рис. 1, 2), совпадающими с областью интенсивного магнитного поля. Базит-ультрабазитовый состав ее источников подтвержден бурением, а обширность аномалии поля силы тяжести свидетельствует о глубоких корнях тектономагматических структур.

На юго-востоке территории выделяется аналогичная область с еще более крупными гравимагнитными аномалиями, отвечающая Гулинскому массиву щелочных ультрамафитов раннего триаса, внедренному в трапповые формации (рис. 5 В, см. рис. 2). Размер аномалии наблюдаемого гравитационного поля (см. рис. 1) гораздо больше эрозионного среза массива, что свидетельствует о возможном присутствии на глубине огромного объема магматических масс. Локальная аномалия силы тяжести свидетельствует о высокой избыточной плотности этого объекта и о его погружении на северо-запад под мезозойские осадочные породы (см. рис. 5 А).

В отличие от компактного максимума гравитационного отклика, в магнитном поле Гулинскому массиву отвечают знакопеременные аномалии (см. рис. 5 В), что может быть связано с различиями магнитных свойств вещества внедрений разных этапов. Датировки магматических структур массива позволяют отнести его образование к пермтриа-

Рис. 4. Фрагменты геологической карты (А) и карты ΔT_s (В) Южно-Таймырского прогиба
Fig. 4. Fragments of geological map (A) and ΔT_s map (B), South Taimyrsky trough

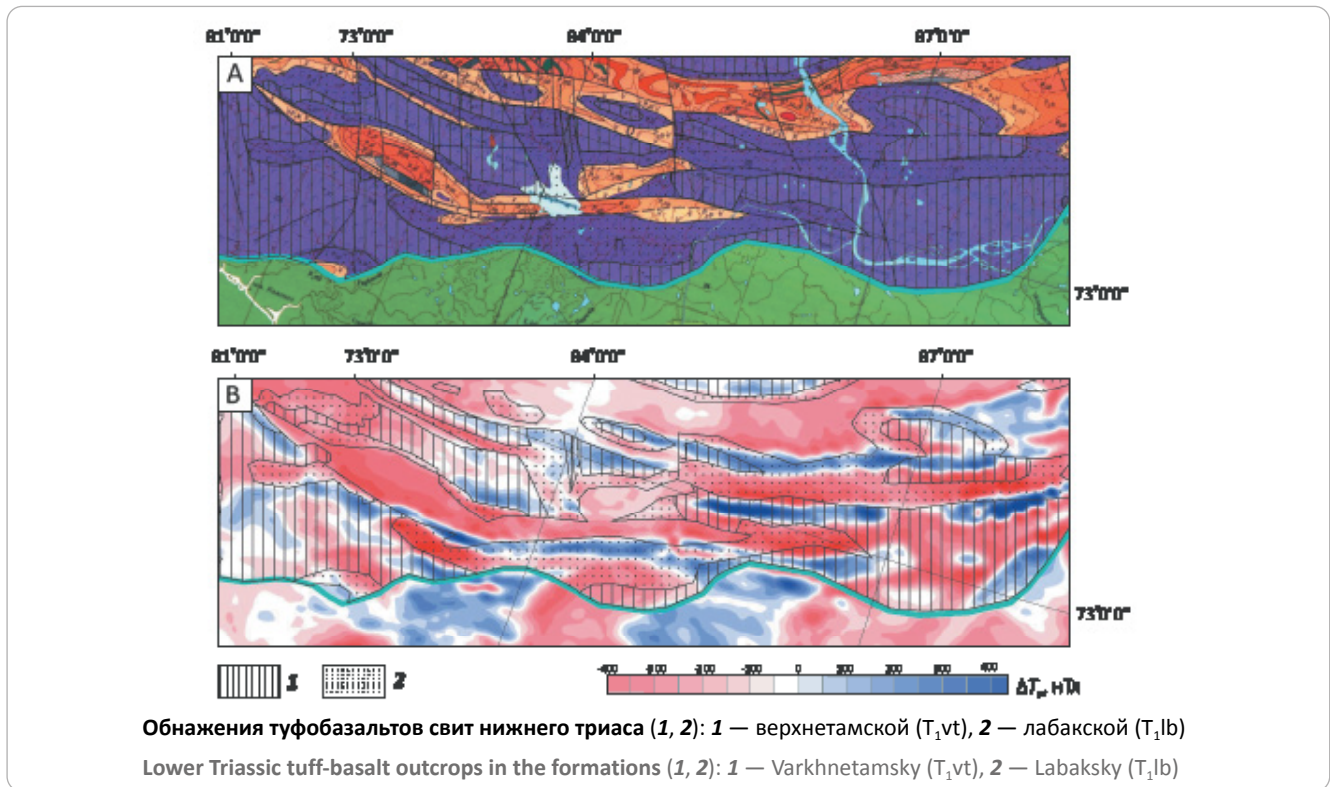
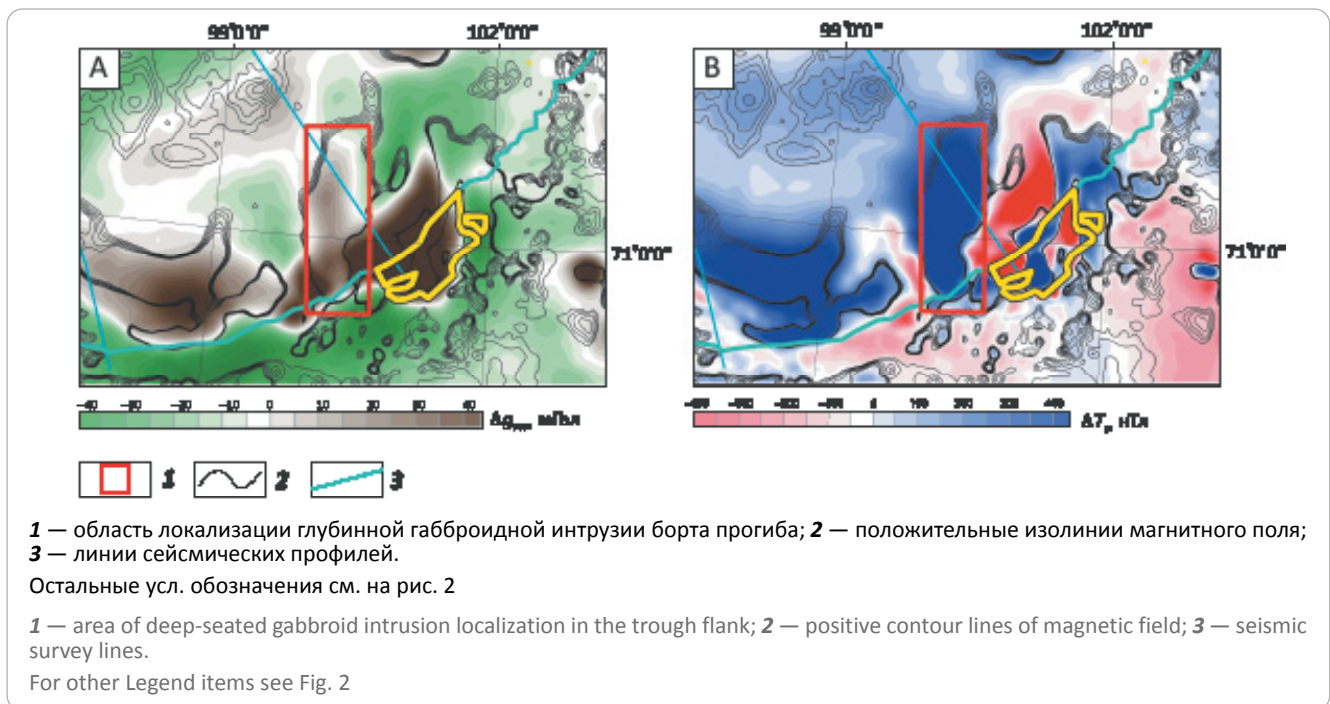


Рис. 5. Положение Гулинского массива на картах локальных аномалий гравитационного (А) и аномального магнитного (В) полей
Fig. 5. Position of the Gulinsky Massif on the maps of local gravity anomalies (A) and anomalous magnetic field (B)



совому суперхрону смешанной полярности геомагнитного поля [17, 20–22], чем и объясняется их разнонаправленная остаточная намагничённость. Впервые объяснение отрицательным магнитным

аномалиям в районе рек Маймеча и Котуй было приведено в работе [25]. Позднее Э.Н. Линд (1998) обобщил многочисленные измерения магнитных свойств магматических пород провинции. В целом

была подтверждена обратная намагниченность дунитов Гулинского массива и отмечены их существенно меньшие (в 4–5 раз) значения магнитной восприимчивости по сравнению с меланонефелитами и перидотитами. Там же и в [17] рассмотрены магнитные свойства вмещающих Гулинский массив вулканических пород, излившихся в раннем триасе в периоды различной полярности палеополя и сохранивших направления первоначальной намагниченности благодаря высокой остаточной компоненте.

Анализ палеомагнитных данных и геологической карты области Гулинского массива показал, что наибольшую положительную аномалию создают сильно намагниченные породы маймеча-котуйского ийолит-карбонатитового комплекса, формирующие центральные области этого сложного интрузива (см. рис. 5 В). Тогда как покровы дельканской свиты (знакопеременная остаточная намагниченность), простирающиеся под мезозойскими осадками и, по-видимому, перекрывающие погруженную часть лакколита отрицательно намагниченных дунитов, в совокупности с последним определяют наблюдаемый характер пространственно-глубинного распределения магнитных аномалий непосредственно на северо-запад от обнажений массива (рис. 6 D, см. рис. 5).

На участке, расположенном далее к северо-западу от Гулинского массива и его неглубоко погребенной части, соотношения аномалий потенциальных полей имеют иной характер. Здесь крупная положительная магнитная аномалия меридионального простираения (см. рис. 5) практически совпадает с контурами положительной гравитационной аномалии, что свидетельствует об их едином, достаточно однородном, по-видимому, габброидном, источнике, а интенсивность и градиенты гравитационной аномалии — о глубинном положении его наиболее плотного ядра. Интенсивные локальные гравитационные аномалии, созданные подходящими близко к поверхности породами Гулинского массива, окаймляют, но не перекрывают этот глубинный объект, что, возможно, связано с более поздним внедрением ультрамафитов, «обтекающих» контуры габброидов.

Результаты проведенного анализа площадных гравимагнитных образов Гулинского массива и других магматических образований Енисей-Хатангского регионального прогиба послужили необходимой основой для дальнейших шагов в построении реалистичных моделей их глубинной морфологии.

Анализ комплекса профильных геофизических данных

Проанализированы материалы последнего десятилетия регионального изучения Таймыра и Енисей-Хатангского регионального прогиба по системе современных комплексных профилей МОГТ-2D и МТЗ (см. рис. 1, 2): глубинные мигрированные динамические и сейсмоэнергетические разрезы (до

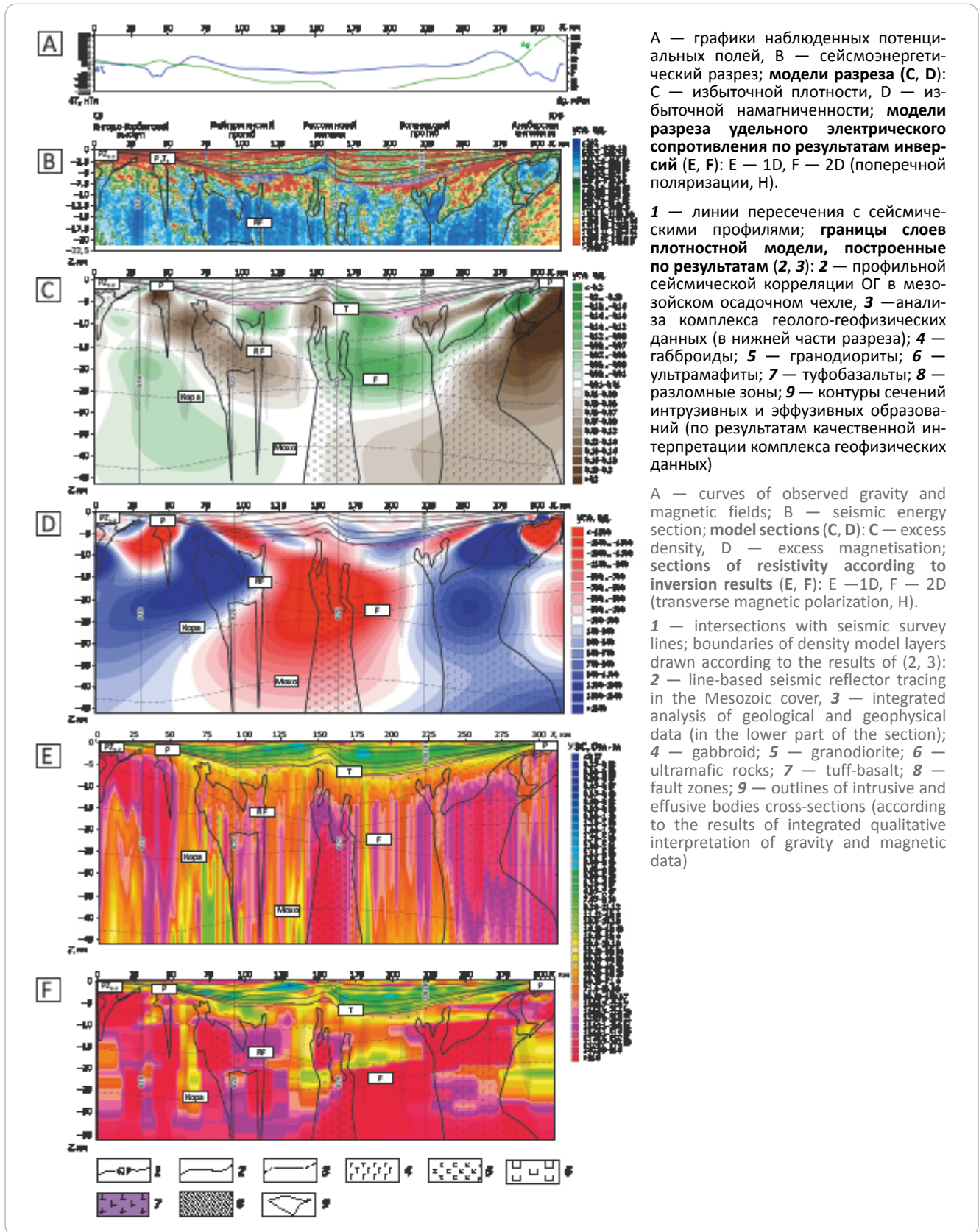
22,5 км, обработка ВНИГНИ, пакет PRIME) и разрезы удельного электрического сопротивления (УЭС) до глубин 60 км (результаты профильных 1D-инверсий, ООО «Северо-Запад» [24]). Их дополняли сечения 3D-моделей эффективных плотностей и намагниченности. По субмеридиональным профилям, допускающим квазидвухмерный анализ, выполнены 2D-инверсии.

Базовой информацией для комплексной интерпретации стали результаты корреляции отражающих сейсмических горизонтов (ОГ) в мезозойском осадочном чехле и их стратиграфической привязки по скважинам (рис. 7). Где было возможно, проводилась корреляция ОГ в палеозойских комплексах и труднее диагностируемой (в основном по смене волновой картины) поверхности кристаллического фундамента. Неоднозначность идентификации глубинных границ по сейсмическим данным усугублялась сложной дизъюнктивной тектоникой, требовала проведения анализа в рамках определенных геологических представлений, привлечения сведений о мощностях изучаемых стратиграфических комплексов и опоры на независимые геофизические данные. Нередко глубинные границы удавалось верифицировать с помощью электрозведочных данных, по контрасту электропроводности выделяющих кровли катагенетически измененных палеозойских осадков, пермтриасового рифтового комплекса, коровые флюидизированные зоны, а в ряде случаев (в бортах прогиба, вне зон глубокого погружения и сильной тектонической раздробленности) — поверхность кристаллического фундамента. На рис. 7 С демонстрируются геоэлектрические образы кровли поздней перми – раннего триаса и архей-протерозойских комплексов, принятые во внимание при проведении корреляции сейсмических границ.

Результаты корреляции сейсмических горизонтов обеспечивали каркас из поверхностей раздела верхней коры для градиентно-слоистой плотностной модели объемного глубинного распределения плотности Енисей-Хатангского регионального прогиба, строящейся в рамках научной тематики ВНИГНИ. В качестве примера на рис. 3 В показана поверхность пермского комплекса. Поверхности глубинных слоев модели — нижнего – среднего палеозоя (PZ₁₋₂), рифея (RF), AR–PR-фундамента (F), гранулит-базитового слоя (кора) и Мохо (см. рис. 6) — также были получены пространственной интерполяцией профильных сечений их кромок, построенных по результатам комплексного анализа всех профильных и площадных геолого-геофизических данных. Последующее внесение в слою модели латеральных неоднородностей (магматических внедрений, разломов, зон дробления и флюидизации, блоков палеозойских пород различного вещественного состава) осуществлялось на основе анализа их профильных геофизических образов с учетом геологических данных и карт потенциальных полей.



Рис. 6. Геофизические разрезы по профилю 624 с графиками магнитного и гравитационного полей
Fig. 6. Geophysical cross-sections along 624 Line with magnetic and gravity profiled



А — графики наблюдаемых потенциальных полей, В — сейсмознергетический разрез; **модели разреза (С, D):** С — избыточной плотности, D — избыточной намагнитченности; **модели разреза удельного электрического сопротивления по результатам инверсий (E, F):** E — 1D, F — 2D (поперечной поляризации, H).

1 — линии пересечения с сейсмическими профилями; **границы слоев плотностной модели, построенные по результатам (2, 3):** 2 — профильной сейсмической корреляции ОГ в мезозойском осадочном чехле, 3 — анализа комплекса геолого-геофизических данных (в нижней части разреза); 4 — габброиды; 5 — гранодиориты; 6 — ультрамафиты; 7 — туфобазальты; 8 — разломные зоны; 9 — контуры сечений интрузивных и эффузивных образований (по результатам качественной интерпретации комплекса геофизических данных)

A — curves of observed gravity and magnetic fields; B — seismic energy section; **model sections (C, D):** C — excess density, D — excess magnetisation; **sections of resistivity according to inversion results (E, F):** E — 1D, F — 2D (transverse magnetic polarization, H).

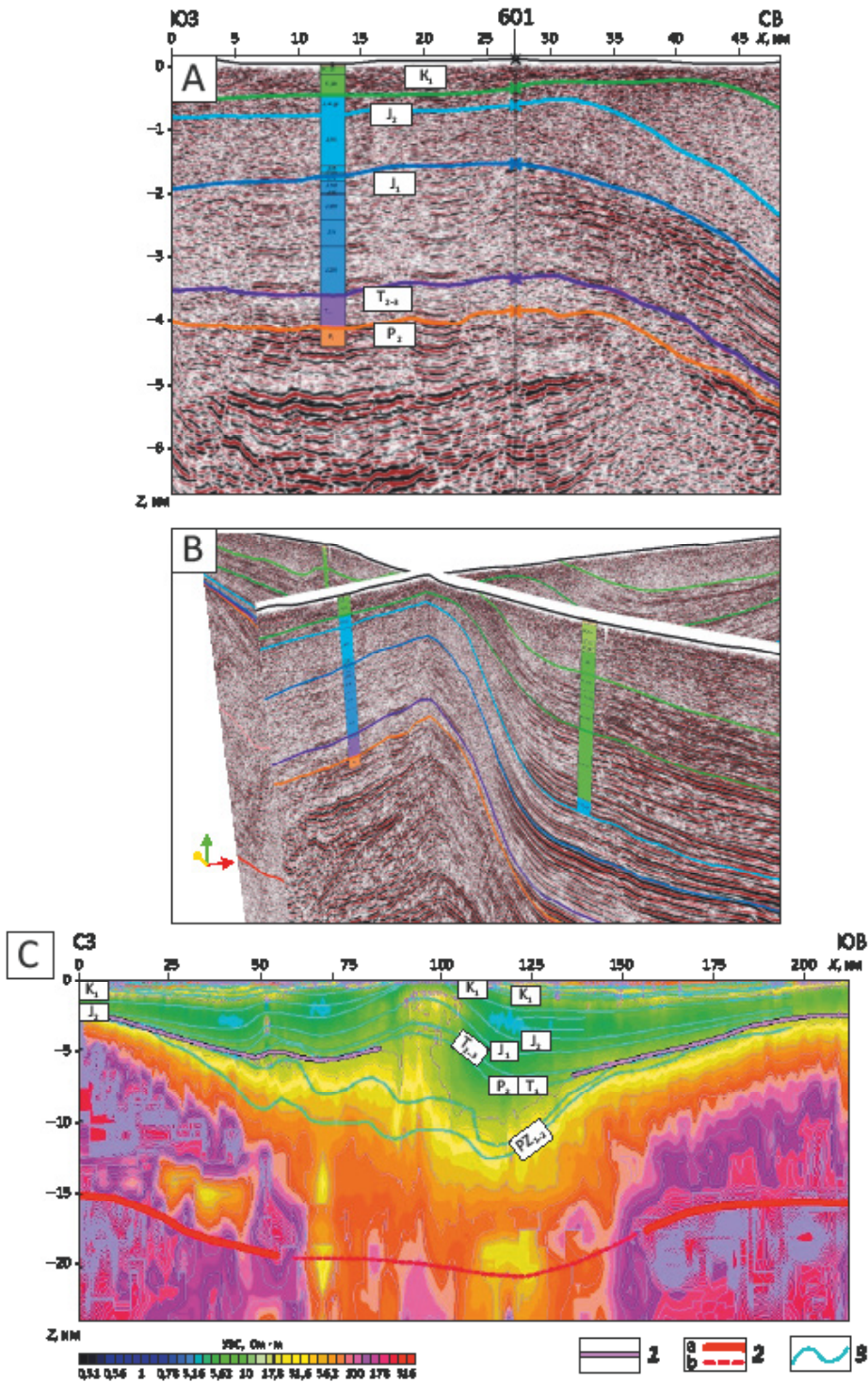
1 — intersections with seismic survey lines; **boundaries of density model layers drawn according to the results of (2, 3):** 2 — line-based seismic reflector tracing in the Mesozoic cover, 3 — integrated analysis of geological and geophysical data (in the lower part of the section); 4 — gabbroid; 5 — granodiorite; 6 — ultramafic rocks; 7 — tuff-basalt; 8 — fault zones; 9 — outlines of intrusive and effusive bodies cross-sections (according to the results of integrated qualitative interpretation of gravity and magnetic data)

Профильный анализ заключался в совместном истолковании сейсмических и геоэлектрических образов, а также аномалий в сечениях объемных

моделей избыточных («эффективных») плотности и намагнитченности, построенных в результате 3D-инверсий аномальных потенциальных полей

Рис. 7. Сейсмодинамический разрез по линии профиля 606 Восточно-Таймырской площади с результатами корреляции ОГ в мезозойском и палеозойском осадочном чехле (А) и пространственный монтаж его пресечения с разрезом профиля 601 (В) с вынесенными геологическими колонками скважин Балахнинская (BLN), Кубалахская (KBL) и Массоновская (MSN)

Fig. 7. Seismic dynamic section along 606 Line (East Taimyrsky area) with the results of reflection horizon tracing in Mesozoic and Palaeozoic sedimentary cover (A) and three-dimensional fitting of its intersection with section of profile 601 (B) with shown geological columns of Balakhninsky (BLN), Kubalakhsky (KBL), and Massonovsky (MSN) wells



С — разрез УЭС по профилю 601 с элементами интерпретации.

1 — кровля комплекса поздней перми – раннего триаса по изолинии 15 Ом · м; 2 — кровля архей-протерозойского фундамента (а — уверенная, б — предположительная); 3 — результаты корреляции сейсмических ОГ

C — resistivity section along 601 Line with elements of interpretation.

1 — Lower Permian – Upper Triassic series Top: 15 Ohm · m contour line; 2 — Archean-Proterozoic Basement (a — confident, b — supposed); 3 — results of seismic reflectors tracing

средствами комплекса ГИС INTEGR0 [15]. Из-за ограниченной глубинности сейсмических данных основную роль в выявлении аномалиеобразующих объектов нижней коры и верхней мантии сыграли материалы потенциальных полей и электроразведки (с опорой на обобщенные сведения о физических свойствах породных комплексов, слагающих Енисей-Хатангский региональный прогиб).

Идентификация глубинных интрузивов

Процедура и критерии идентификации образцов глубинных магматических образований проиллюстрированы материалами профиля 624 Центрально-Таймырской площади (см. рис. 1–3, 5), секущего вкрест прогиба и выходящего на магматические структуры Гулинского массива и Верхнетаймырской интрузии. На рис. 6 демонстрируются анализируемые геофизические разрезы с построенным при разработке объемной плотностной модели каркасом основных сейсмоплотностных границ, а также со схематическими контурами сечений магматических тел, намеченных по результатам качественной комплексной интерпретации. Локализованы сечения интрузий основного состава (главные критерии — положительные гравитационные и магнитные аномалии); ультрамафитовых (положительные гравитационные и пониженные магнитные) и среднего состава (слабые гравитационные, отсутствие или слабые магнитные), а также туфобазальтовых слоев (положительные магнитные, слабые или отсутствующие гравитационные аномалии). Разломные зоны выделены главным образом по МТ-данным и понижению гравитационного поля.

К критериям выделения в сейсמודинамических разрезах массивных по текстуре интрузивных образований относят потерю корреляции и снижение амплитуды отражений, особенно отчетливые для внедрений в ритмично-слоистые толщи осадочных пород с контрастами акустического импеданса. На построенных авторами сейсмоэнергетических разрезах (представляющих распределение энергии отражений, сглаженное в окне 750×250 м) подобные объекты маркируются однородными голубыми полями низких значений энергии. Так, положение двух крупных интрузивных тел отмечается на участках профиля 75–100 км (глубины 6–20 км) и 225–275 км (5–22,5 км) в северном и южном бортах Пайтурминского и Боганидского прогибов соответственно (см. рис. 6 А). Схожую сейсмическую картину имеют ослабленные разломные зоны (например, на Янгодо-Горбитском выступе, пикеты 25–35 км) или сильно раздробленные и флюидизированные донные области прогибов вблизи валов (130–150 и 175–220 км по бортам Рассохинского вала). Магматические объекты можно различить по их откликам в других полях: поясам «бортовых», по-видимому, габброидных интрузий, дважды пересеченным профилем 624, отвечают коррелированные положитель-

ные гравитационные, магнитные и геоэлектрические аномалии (см. рис. 6 С–Е). Те же критерии выделяют долеритовые силлы (быррангский комплекс?) в верхних горизонтах Горбитского выступа (см. рис. 6 А–D).

В регионе исследования также встречаются высокоплотные немагнитные интрузивы. К ним относятся ультрабазитовые тела, уступающие габброидам по индуктивной намагниченности, но имеющие высокую остаточную. Ультрамафитам Гулинского массива, сформировавшимся в эпоху обратной полярности геомагнитного поля, отвечает отрицательная аномалия избыточной намагниченности при высокой избыточной плотности (см. рис. 6 С, D, глубины 1–6 км, пикеты 280–370 км). Вторая интрузия этого типа (штокообразная, судя по плану гравимагнитных аномалий на рис. 2, 3 А) выделяется в верхней коре в районе 50-го км профиля.

Объемным интрузивным образованиям с низкокэнергетическими сейсмическими откликами отвечают аномалии удельного электрического сопротивления со значениями (300–1000 Ом · м и более) (южная бортовая интрузия, рис. 6 Е, F). Однако наличие разломов обычно способствует притоку флюидов и, при типичной для Енисей-Хатангского регионального прогиба высокой их минерализации, интегральная проводимость интрузивного объекта может повышаться до значений, характерных для осадочных пород. Большая чувствительность МТ-данных к наличию проводящего флюида делает их незаменимыми при картировании тектонически ослабленных разломных зон: согласно электроразведочным и сейсмическим образам (см. рис. 6) значительно раздроблена верхняя часть Гулинского массива, а также крупная интрузия северного борта Пайтурминского прогиба. Ультрамафитовый шток (?) на 50-м км профиля по УЭС вполне монолитен, но, согласно сейсмоэнергетическому образу, имеет выраженную текстуру.

В разрезе профиля 624 выделяется и третий тип магматических образований — слабомагнитные (немагнитные/отрицательно намагниченные) и умеренно плотные (маломощные) субвертикальные высокоомные тела в зоне центрального вала. Судя по особенностям потенциальных полей (см. рис. 2), это характерно и для других сечений Рассохинско-Балахнинской мегагряды. В сейсмических образах, как правило, им соответствуют субвертикальные зоны снижения корреляции и энергетики, часть из которых, достаточно узкие, по-видимому, отвечает дайкам основного состава (Балахнинский вал, см. рис. 2). Но встречаются и крупные высокоомные объекты с умеренным гравитационным откликом и отсутствием выраженного магнитного. Подобное образование, выделенное на разрезе 624 в пределах Рассохинского вала, помечено крапом среднего состава. Разрез рис. 6 Е демонстрирует его глубинные корни, однако, в силу присутствия локальных гальванических эффектов и 2D-регио-

нальных искажений в длиннопериодных оценках МТ-передаточных функций, глубинная часть 1D-геоэлектрического разреза не может служить достаточно надежным свидетельством.

Расположение профиля 624 вкрест простирания главных структур прогиба и квазилинейных региональных аномалий потенциальных полей, а также простирание основных геоэлектрических структур (согласно инвариантному анализу тензоров длиннопериодных МТ-импедансов) в целом допускали применение 2D-интерпретации. Однако проведенные 2D-инверсии (с помощью эффективного кода [26]) различных подмножеств МТ-ансамбля данных по профилю 624 продемонстрировали заметный разброс решений в центральной части глубинного разреза, по-видимому из-за влияния искажений, обусловленных сложной локальной тектоникой вблизи вала при больших контрастах сопротивлений консолидированных блоков и флюидизированных разломных зон. Удалось согласованно подтвердить существование узкого, приуроченного к оси вала высокоомного штока, поднимающегося до уровня 5–6 км, и получить разумные взаимодополняющие результаты разрешения геоэлектрических структур мезозой-палеозойского осадочного чехла (рис. 8 В, см. рис. 6 Е, F).

Двухмерный подбор разрезов намагниченности и плотности по линии профиля 624 программными средствами ГИС INTEGRO — при всей условности 2D-подхода и допущений о блоково-однородных средах, а также принципиальной неединственности решений обратных геофизических задач — концептуально подтвердил качественно намеченную на рис. 6 картину распределения различных типов магматических структур в этом сечении прогиба (рис. 9 В, С). В первую очередь это относится к наиболее двухмерным структурам — бортовым интрузивным телам (см. рис. 2, 3). Как магнитная, так и плотностная 2D-модели не подтверждают существования глубинного массивного магматического образования, поднимающегося, согласно МТ-свидетельствам (см. рис. 6 Е), к гребню вала. Дополнительные расчеты по альтернативной магнитной модели 2, в отличие от представленной на рис. 9 В, имеющей магнитное включение, морфологически описывающее высокоомный «шток» в центре 1D-разреза УЭС, показали: придание этому объекту даже умеренно повышенной намагниченности ($400 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), при разумных магнитных параметрах соседних блоков, существенно нарушает подбор наблюденного поля (см. рис. 9).

Обе модели демонстрируют признаки довольно обширного подъема уплотненного, умеренно-магнитного основания прогиба (область базификации?) до глубин 25 км, что не противоречит результатам МТ-инверсий. Выявляемые плотностные различия в характеристиках глубинного разреза под Горбитским выступом (относительное разуплотнение средней – нижней коры, отчетливо выраженное в разрезе эффективной плотности,

см. рис. 6 С, и фиксируемое дефицитом плотностей в 2D-разрезе, см. рис. 9 С), под осью прогиба и Анабарской моноклизой (существенное уплотнение) также согласуются с электроразведочными данными (см. рис. 6 Е). Последние в большинстве сечений центральной части Енисей-Хатангского регионального прогиба отображают существенно высокоомную, консолидированную нижнюю кору в центральной и южной частях разреза и проводящую — под Горбитским выступом. Обсуждая результаты двумерных МТ-инверсий следует отметить, что они служили независимым свидетельством для определения положения слоя траппов, в частности на профиле 624 (рис. 10 С).

Выявление объектов туфобазальтового комплекса

Для изучения нефтегазоносности и процессов геодинамической активизации пермотриасовый туфобазальтовый комплекс Енисей-Хатангского регионального прогиба является весьма индикативным [1]. Его формации характеризуются разнообразием физических свойств горных пород, однако с привлечением скважинных данных анализ геофизических разрезов центральной части Енисей-Хатангского регионального прогиба и Тарейской площади позволил установить определенные критерии их выделения.

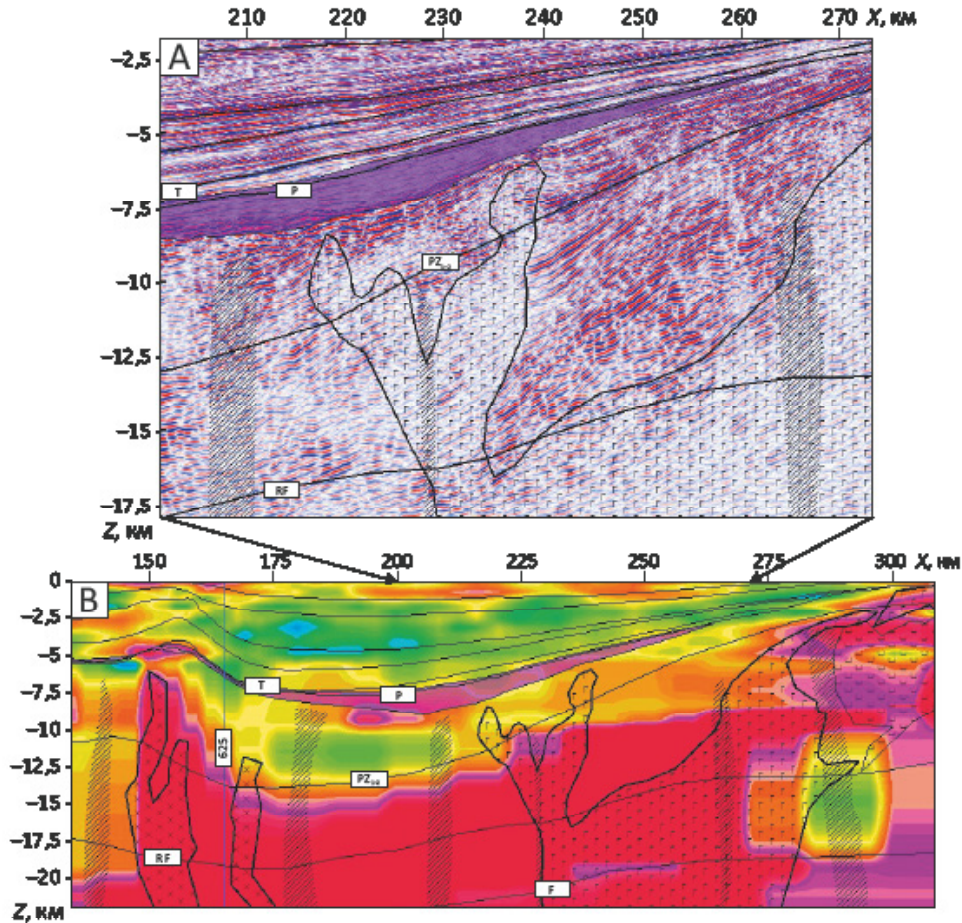
Присутствие в сейсмическом разрезе достаточно выдержанных слоев с пониженной энергией отражений может отвечать массивным субгоризонтальным силам (региональные съемки выделяют слои мощностью более 30–50 м) либо наличию толщ трещиноватых, пористых туфобазальтов. Подобные образы туфолавовых слоев выделены на Рассохинском мегавалу по результатам анализа сейсмических образов профиля 621 и подтверждены описанием литологии керн и падением уровня кривых гамма-каротажа на горизонтах 2500 и 2150 м скважин Волочанские Северо-Авамской площади (рис. 11). Аналогичные сейсмические образы на профилях Тарейской площади выявляют погруженные трапповые толщ, также верифицируемые скважинными данными (профили 41606 и 607, керн и гамма-каротаж скважин Гольчихинская и Хабейская с глубин около 1700 и 2100 м соответственно). Переслаивание плотных базальтовых разностей с туфогенными породами дают полосчатую картину интенсивных контрастов акустического импеданса, аналогичную SDR-рефлекторам в морских сейсмических данных (примером служат данные 619-го профиля и скв. Логатская, а также, вероятно, образы профиля 624 (см. рис. 8)).

Достаточно надежными критериями различия на сейсмических разрезах эффузивных толщ от вмещающих массивных (тонкослоистых) осадочных формаций триаса или перми, также обуславливающих «матовую» картину отражений, являются сопутствующие магматическим образованиям магнитные аномалии (при достаточной мощности и/или интенсивности намагничения этого слоя).



Рис. 8. Фрагмент сейсморазреза (А) и геоэлектрического (результат детерминантной 2D-инверсии) (В) разрезов по профилю 624 с элементами интерпретации по совокупности сейсмических, магнитных и геоэлектрических профильных образов

Fig. 8. Fragment of seismic dynamic (A) and geoelectric (the result of deterministic 2D inversion) (B) of the section along 624 Line with elements of integrated interpretation of seismic, magnetic, and geoelectric profiles



Усл. обозначения см. на рис. 6

For Legend see Fig. 6

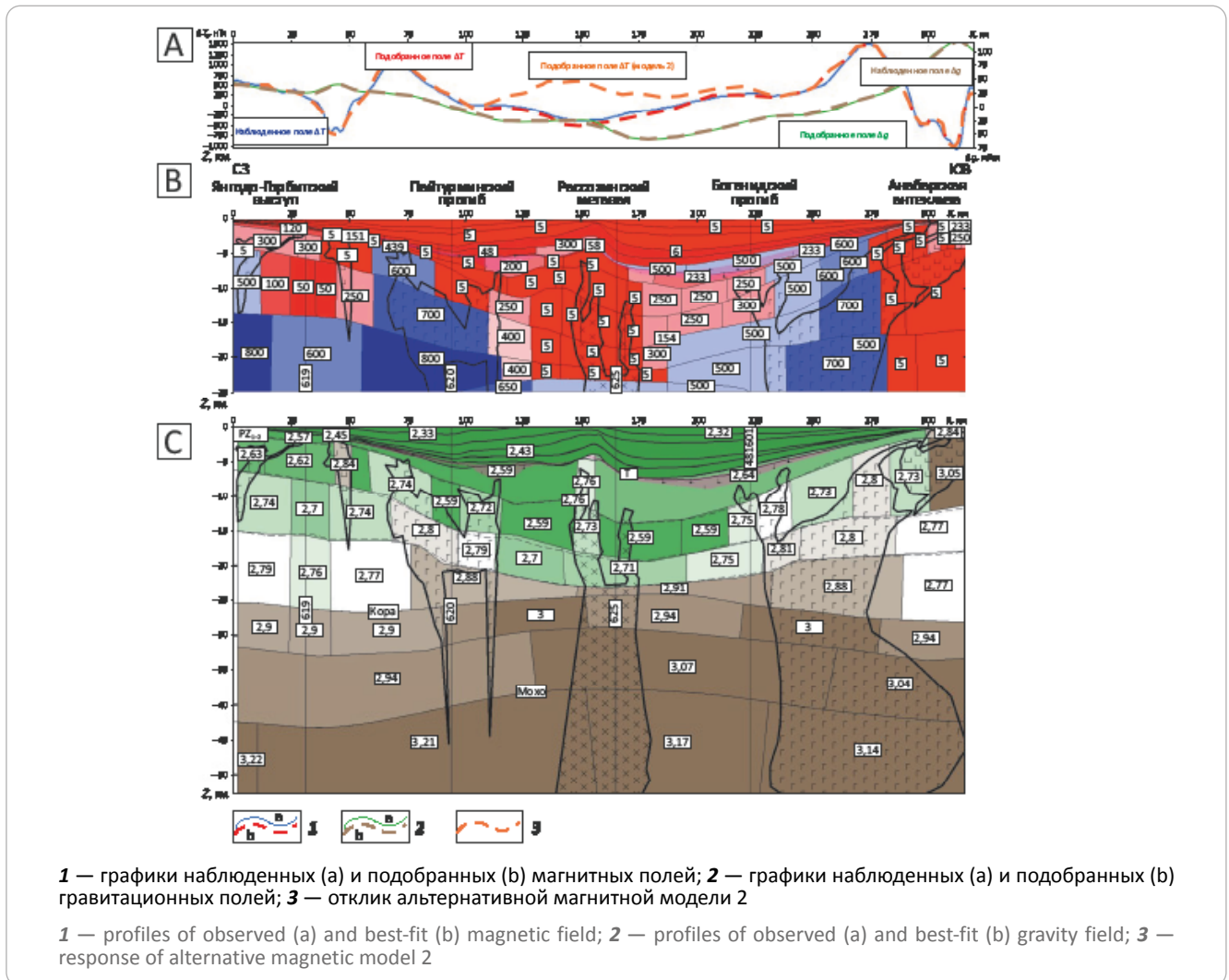
В большинстве случаев, вдали от редких скважин, выделяемые в разрезах близ контакта мезозойских и палеозойских толщ слои пониженной энергетики отражений интерпретировались как эффузивные горизонты (или вулканические постройки), если им сопутствовали области слабых магнитных аномалий (рис. 12, см. рис. 6, 8–10). На рис. 10 и 11 представлены образы траппов, подстилающих мезозойский чехол Боганидского прогиба, в разрезах профилей 481601 (р. Хета) и 624 (см. рис. 2, 6).

По характеристикам потенциальных полей (см. рис. 10) в сечении профиля 481601 намечено присутствие трех интрузивных тел и туфобазальтового слоя, выделяемого по цепочке слабых положительных аномалий намагниченности, расположенной над немагнитными пачками осадочных пермских пород. Материалы МОГТ по сложному речному профилю не столь выразительны, но в целом они не противоречат проведенной идентификации магматических образований и осадочных толщ (последние наиболее уверенно верифицируются на

сейсмическом разрезе). Результаты интерпретации получены также при корреляции с картиной геофизических полей на профиле 624, пересекающем линию 481601 (см. рис. 6, 8, 12).

Для профиля 624 сделано несколько вариантов инверсии данных МТЗ. На рис. 8 показаны результаты обращения амплитудной и фазовой компонент детерминанта тензора импеданса. Благодаря включению откликов продольной (E) поляризации МТ-поля он более чувствителен к субгоризонтальным неоднородностям геоэлектрического разреза, чем данные поперечной поляризации (результат Н-инверсии показан на рис. 6 F). В разрезе УЭС на рис. 8 на глубинах около 7,5 км погруженной части Боганидского прогиба, благодаря 2D-инверсии, выявлен слой повышенного УЭС, который уверенно соотносится с ранее идентифицированным по сейсмическим и магнитным данным слоем трапповой формации (см. рис. 6 A, D). На укрупненном фрагменте сейсморазреза продемонстрировано выделение интрузивного тела и

Рис. 9. Графики наблюдаемых и подобранных потенциальных полей (А) и разрезы намагниченности (10^{-5} ед. СИ) (В), плотности ($г/см^3$) (С) по профилю 624, построенные по результатам 2D-подбора магнитного и гравитационного полей
Fig. 9. Profiles of observed and best-fit potential fields (A) and magnetisation sections (10^{-5} SI units) (B), and density (g/cm^3) (C) along 624 Line, which are created as a result of 2D matching of magnetic and gravity fields



слоя траптов на участках с низкой энергией отражений. Неоднозначность трактовки материалов отдельных методов (характеристик волновой картины и положения по глубине аномалий эффективной намагниченности) существенно сужается с привлечением результатов 2D МТ-инверсии, повысившей разрешение мезозойского осадочного чехла и верхов палеозоя в области Сибирской моноклизы (см. рис. 6 F, 8 B). Уверенность в результатах интерпретации придает также и согласованность результатов анализа данных геофизического комплекса пересекающихся профилей 624 и 481601 (см. рис. 12).

Обсуждение полученных результатов

Пространственное распределение и структурно-вещественные особенности магматических образований

Анализ региональных потенциальных полей и профильных данных современного геофизического комплекса, полученных на поисковой стадии исследований Енисей-Хатангского регионального прогиба,

позволил выделить ряд слабоэродированных и глубинных мафитовых и ультрамафитовых интрузий, а также достаточно мощные туфобазальтовые формации (см. рис. 2).

Линейные интенсивные положительные аномалии магнитного и гравитационного полей, очерчивающие наиболее погруженную часть прогиба и Янгодо-Горбитский выступ, отражают самую яркую характеристику магматизма Енисей-Хатангского регионального прогиба — пояс массивных интрузий в его бортах. Их верхние кромки определяются на глубинах 3–12 км. Геофизические разрезы показывают: интрузии, как правило, имеют форму наклонных штоков (хонолитов?) с глубокими корнями и падением в сторону центра прогиба, внедренных в палеозойские осадочные толщи.

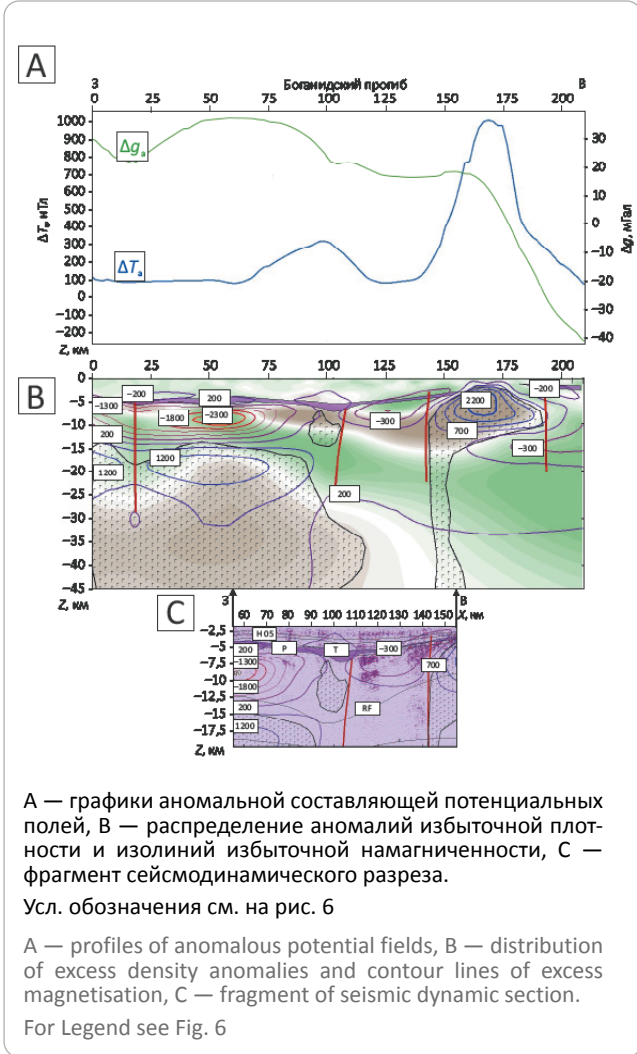
Петротипы этих магматических образований выявлены лишь для ограниченного числа локаций, главным образом по скважинным данным (см. рис. 1, 2), и относятся к ультрабазит-базитовым формациям нормального и умеренно-щелочно-



GEOPHYSICAL SURVEYS

Рис. 10. Геофизические разрезы по речному профилю 481601 с намеченными контурами магнитных образований

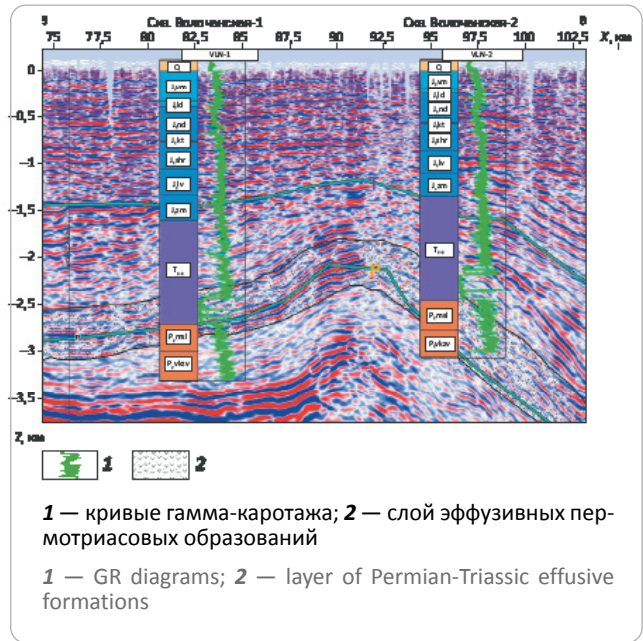
Fig. 10. Geophysical cross-sections along the 481601 river line with the supposed outlines of magnetic formations



го ряда. К ним принадлежат образования дюмталейских расслоенных интрузий боотанкагского, бырангского, восточно-таймырского плутонических и гипабиссальных комплексов (тяготеют к глубинным тектономагматическими структурами Янгодо-Горбитского выступа), а также — контайского комплекса (южный борт Енисей-Хатангского регионального прогиба, Гулинская структурно-фациальная зона) (см. рис. 1). Невскрытые и петрологически неизученные объекты, ответственные за большую часть линейных зон аномалий потенциальных полей в бортах прогиба, по-видимому (судя по геофизическим откликам), также относятся к базитовому ряду. О принадлежности большинства магматических образований «интрузивной рамы» Енисей-Хатангского регионального прогиба к единому тектономагматическому циклу может свидетельствовать стиль внедрения, а также выявленная близость статистических показателей силикатного анализа образцов магматических пород юго-западного борта Енисей-Хатангского регионального

Рис. 11. Фрагмент сейсмического разреза по линии профиля 621 на участке Рассохинского мегавала с колонками скважин Волочанская-1 и Волочанская-2

Fig. 11. Fragment of seismic section along 621 Line in the area of the Rassokhinsky megaswell, with Volochansky-1 and Volochansky-2 well columns



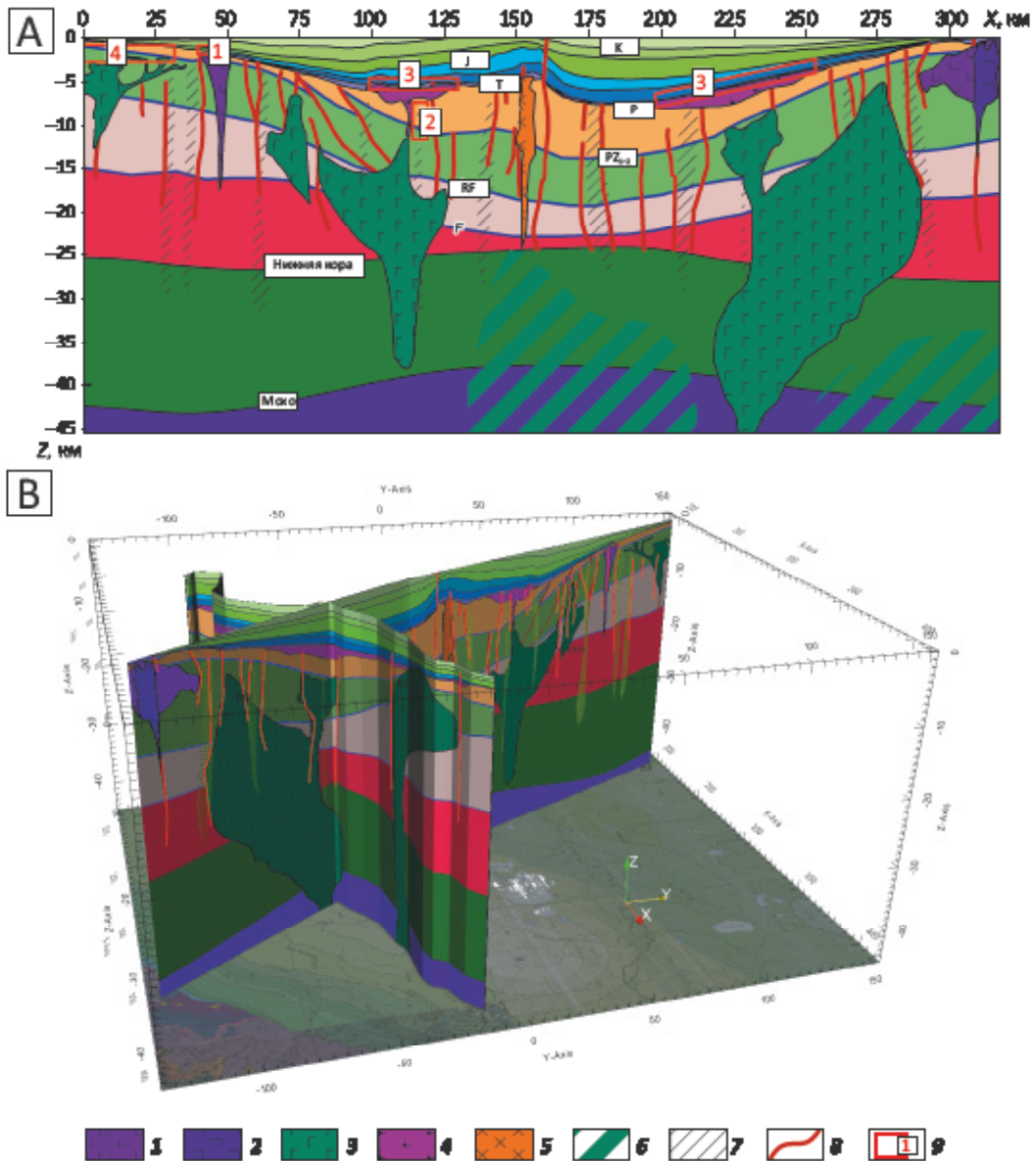
прогиба к характеристикам северных аналогов (см. рис. 1, 2).

По линейным цепочкам локальных гравимагнитных аномалий выделяется система даек основного (среднего?) состава вдоль бортов мегавалов (см. рис. 2, 3). Не имея точной информации о возрасте и петрологии большинства из них, можно сделать предположение об их образовании на инверсионной стадии развития прогиба (поздний триас – юра [3, 12]) за счет локального декомпрессионного корового плавления при сложном сочетании вертикальных движений и транспрессивных деформаций. В то же время керн скв. Волочанские и материалы профиля 621, идущего по гребню Рассохинского вала, подтверждают возможность связи части локальных аномалий с останцами траппов (см. рис. 2, 11).

Важным с точки зрения изучения пермотриасового магматизма, а также строения и истории развития Енисей-Хатангского регионального прогиба стало обнаружение в локальных аномалиях магнитного поля системы слабых магнитных откликов от объектов, расположенных в ложе Агапской и Пайтурминской впадин (см. рис. 2). Идентификация источников этих аномалий в западной части прогиба требует дополнительных исследований. Наиболее вероятной представляется их связь с продуктами базификации средней – нижней коры начальных этапов активизации, на последующих стадиях развития прогиба погребенными под мощной осадочной толщей. В разрезах по профилю 624 область базификации определяется на глубинах более

Рис. 12. Геологический разрез по профилю 624, построенный по результатам комплексной геолого-геофизической интерпретации со схемой размещения интрузивных и трапповых образований периода пермотриасовой геодинамической активизации

Fig. 12. Geological cross-section along 624 Line created using the results of integrated geological and geophysical interpretation, with a layout of intrusive and traprock formations related to Permian-Triassic geodynamic activation



A — выделенные нефтегазоперспективные участки, B — пространственный монтаж пересечения с аналогичным разрезом вдоль речного профиля 481601 на фоне геологической карты.

1 — дуниты; 2 — пироксениты; 3 — габброиды; 4 — туфобазальты; 5 — диориты; 6 — области базификации; 7 — разломные зоны; 8 — разломы; 9 — намечаемые нефтегазоперспективные участки.

X — юг, Y — восток, Z — вертикаль

A — identified oil and gas promising areas, B — three-dimensional fitting of its intersection with a similar line along 481601 river line against the background of geological map.

1 — dunite; 2 — pyroxenite; 3 — gabbroid; 4 — tuff-basalt; 5 — diorite; 6 — fault zones; 7 — areas of basification; 8 — faults; 9 — possible oil and gas promising areas.

X — south, Y — east, Z — vertical line

25 км в осевой части прогиба и на юге — под областью Гулинского массива (см. рис. 2, 9).

Также относительно слабы, но регионально широко распространены отклики трапповых формаций. Судя по результатам районирования маг-

нитного поля (см. рис. 2, 3), они продолжают свое развитие и под мезозойскими осадками прогиба. Профильные геолого-геофизические, а также скважинные данные для ряда областей (Тарейской и к западу от нее, профили 41606, 607; Боганидского

и Жданихинского прогибов, Логатской впадины, профили 601, 602, 624 и др.) подтверждают результаты районирования, выявляя умеренно мощные покровы, отдельные линзы или складчатые структуры (южный склон Горбитского выступа) туфо-базальтового комплекса. Присутствие подобных образований выявляется (в том числе и на валах – профиль 621, Волочанская площадь) по характерным откликам в естественных физических полях (см. рис. 2, 6, 8–11). Точное определение их мощности и положения по глубине, даже при хорошей корреляции различных геофизических откликов, требует более детальных наблюдений.

Помимо основных интрузий, наиболее определенно локализуемых в геофизических разрезах, были также выделены внедрения кислого и среднего состава. Не исключено, что их существенно меньшее число обусловлено менее яркими геофизическими откликами, но скорее тем, что в процессе пермотриасовой активизации, определившей магматизм региона, наибольшую роль играло поступление мантийного, базитового вещества. Вероятно, в силикатной коре прогиба, вследствие глубинного прогрева, мог также происходить контактовый или региональный анатексис, а также декомпрессионная гранитизация в пределах его бортов, поднимающихся в процессе изостатической компенсации утяжеления базифицированной коры центральной части и заполнения ее осадками. На восточной окраине Горбитского выступа авторами статьи предположительно выделены области гранитизации, ассоциированные с Логатской впадиной (см. рис. 1).

В рамках данного исследования изучались и ультрамафитовые интрузии, как известные эродированные (полифазный Гулинский массив), так впервые выделенные глубинные (см. рис. 6). Как выяснилось, этим высокоплотным объектам могут отвечать слабые или отрицательные аномалии намагниченности. Это связано с относительно меньшей магнитной восприимчивостью неизменных ультрамафитовых разностей по сравнению с основными, а также с их образованием (или перемагничиванием в ходе метасоматических изменений) в периоды отрицательной полярности магнитного поля [17]. Адекватное понимание модели намагниченности интрузивов Гулинской области и ее согласование с сейсмическими и электроразведочными образами (см. рис. 5, 6) позволили наметить контуры интрузий и грабена осадочных пород, погребенного под Гулинский массив, сформировать стартовую модель последнего для проведения 3D-гравиметрической инверсии. Итоговый объемный образ Гулинского массива, представленный в [15], дополнил обсуждаемые ниже геологические разрезы (см. рис. 12).

Магматические свидетельства геодинамической активизации на рубеже палеозоя и мезозоя

Проведенный анализ пространственных и профильных геофизических данных показал, сколь

велика была роль крупных базит-ультрабазитовых внедрений в формировании глубинной архитектуры Енисей-Хатангского регионального прогиба (см. рис. 2, 6, 10). На геологических разрезах по профилям 624 и 481601 (см. рис. 12), основанных на профильных сейсмических и электроразведочных данных, а также сечениях региональной градиентно-слоистой плотностной модели и 3D-моделей эффективных плотности и намагниченности, впервые достаточно четко намечены контуры подобных структур: разбитая разломами интрузия борта Пайтурминского прогиба, базитовое основание под осью Енисей-Хатангского регионального прогиба, габброидная интрузия южного борта, Гулинский ультрамафит-ийолитовый и Хетский, по-видимому, габброидный интрузивы.

Воссозданные границы осадочных толщ, а также морфоструктурные особенности и пространственное распределение продуктов пермотриасового магматизма в разрезе, представленном на рис. 12 А, свидетельствуют о начале погружения области Енисей-Хатангского регионального прогиба существенно раньше времени излияния плато-базальтов, а также об интенсивном предъюрском размыве. Гипотетически, пермское погружение могло быть следствием импульса активности Хатангского «локального» центра Сибирского суперплюма (Хатангского «вторичного» плюма по терминологии Н.А. Добрецова), возникшего задолго до палеозой-мезозойского рубежа. В результате этого импульса магма, поднимающаяся вдоль унаследованной от рифейского рифтогенеза ([7, 27] и др.) линейной ослабленной трансформальной структуры, могла не достичь поверхности и «запечатать» эту зону в процессе своего охлаждения. Последнее инициировало погружение вследствие термоупругих и изостатических процессов. Возможно, серия дополнительных событий андерплейтинга продолжила утяжеление глубинных слоев разреза, чем ускорила прогибание, осадконакопление и образование бортовых разломных зон. Следующий импульс мантийного магматизма, отвечающий наиболее мощной фазе активности суперплюма на рубеже перми и триаса, использовал эти ослабленные зоны для подвода огромных объемов магмы в борта ранее начавшего свое формирование Енисей-Хатангского прогиба. Следует отметить, что подобный сценарий в определенной мере перекликается с представлениями [4, 5] о роли вертикальных движений и базитового магматизма в геодинамике Енисей-Хатангского регионального прогиба. Гипотеза о более раннем (поздний карбон – пермь) начале воздействия суперплюма на Сибирскую литосферную плиту высказывалась в ряде работ К.Н. Малича, а также других авторов ([14] и др.). Свидетельства о длительном периоде (поздний – ранний палеозой) прохождения Сибирской плиты над горячей мантийной областью приводятся в [28] и других работах.

На разрезе по профилю 624 схематически намечены две области базификации нижней коры: в центре Енисей-Хатангского регионального про-

гиба (продукт центрального «ребня» Хатангского вторичного плюма) и под Гулинским массивом. Последняя, по-видимому, продолжается под всей Маймеча-Котуйской тектономагматической зоной, так как именно здесь по данным спутниковой миссии СНАМР локализуется крупнейшая в Сибирском регионе литосферная аномалия магнитного поля [29]. Обширная область магматической проработки низов коры, наличие которой необходимо для объяснения этой аномалии, вероятно, возникла вследствие еще одного продуктивного этапа существования Хатангского магматического центра, реализовавшегося в зоне сочленения двух палеорифтов (см. рис. 1) в близкой временной окрестности излияния сибирских траппов, в период положительной полярности магнитного поля (синхронно с образованием маймеча-котуйского ийолит-карбонатитового комплекса?).

Прогнозные признаки УВ, связанные с магматическими образованиями

Области развития глубинных интрузивных образований, которые можно выделять по данным потенциальных полей уже на ранних стадиях изучения нефтегазоносных областей, должны рассматриваться как важные объекты прогнозной оценки, так как с магматическими телами непосредственно связан ряд поисковых признаков. В первую очередь это структурные ловушки в осадочных комплексах, куполообразно деформированных нижележащими внедрениями. Исследования авторов на территории прогиба показали, что со «слепыми» пермотриасовыми интрузивами разной величины связана значительная часть поднятий, отраженных на структурных схемах по результатам сейсмических работ. Примером может служить поднятие, пересекаемое профилем 041602 Тарейской площади, названное в работе [4] «Дюмталейским», а также поднятие в мезозойских горизонтах южного склона Горбитского выступа (профиль 624), обусловленное купольной ультрамафитовой интрузией (см. рис. 6). Последнее помечено как потенциальная «ловушка» № 1 (см. рис. 12 А).

Порово-трещинные коллекторы могут быть связаны с зонами глубинных магмоконтролирующих разломов (или зонами, прилегающими к магмоподводящим) (см. рис. 12 А, ловушка 2), а также — с притрапповыми зонами высокой кавернозности, образованными газонасыщенными компонентами лав. В результате межпластовой миграции УВ потенциальными коллекторами могут являться трещиноватые и пористые туфитовые толщи траппов, выявленные непосредственно под нефтепродуцирующими юрскими пластами (см. 12 А, ловушки 3). Ловушки такого типа обнаружены в триасовых вулканитах на Ханты-Мансийском месторождении [30].

Достаточно часто обсуждается поисковый критерий, связанный с термовыделением остывающей крупной интрузии, увеличивающим степень ката-

генетической преобразованности ОВ интрузированных и вышележащих пород. Комплексы палеозоя, как правило, вмещающие пермотриасовые интрузии в бортах Енисей-Хатангского прогиба и на Янгодо-Горбитском выступе, содержат потенциально нефтематеринские карбонатные толщи. Последние, при прочих равных условиях, могут иметь большую зрелость и генерационный потенциал в окрестностях внедрений, чем на удалении, что позволяет расценивать их как более перспективные для дальнейших поисков (см. рис. 12 А, ловушка 4). На прогнозном разрезе листа S46 ГК ряд нефтепроявлений намечен в палеозойских карбонатных породах по соседству со «слепыми» дюмталейскими интрузиями.

Адекватные сведения о локализации, морфологии и составе интрузивных образований необходимы для корректировки скоростных, а далее — глубинных структурных сейсмических моделей, являющихся краеугольным камнем нефтегазового прогноза. Особенно ценны эти сведения в условиях сниженной интенсивности отражений, при проблемах с качеством сейсмической записи. Так, учет высокоскоростной области, создаваемой магматическими структурами 2 и 3 (см. рис. 1), скорее всего, приведет к существенной корректировке структурных карт по глубинным ОГ (включая архей), построенным по картам изохрон для северо-востока Тарейской площади Енисей-Хатангского регионального прогиба (Перебейносов А.В. и др., 2019), и, возможно — к переоценке глубин кровли фундамента.

Заключение

Исследования опирались на комплекс геофизических данных, полученных с применением высокоразрешающих методик в ходе полевых работ по обширному региону Енисей-Хатангского регионального прогиба, сохранившему следы интенсивной магматической деятельности рубежа палеозоя — мезозоя. Таким образом были обеспечены уникальные возможности для изучения структурно-вещественных особенностей интрузивных и эффузивных образований этого важного этапа тектонической эволюции Сибирского кратона.

В начале проводилось районирование потенциальных полей, построение объемных моделей эффективных намагниченности и плотности, анализ физических свойств продуктов магматизма. Осуществлявшийся параллельно комплексный анализ профильных материалов служил базовым подходом к геологическому осмыслению всего объема геофизической информации и опорой для построения объемной плотностной модели региона.

В рамках проведенного исследования удалось охарактеризовать вещественные свойства и пространственное распределение продуктов пермотриасового магматизма Енисей-Хатангского регионального прогиба: оконтурить области развития погребенных туфобазальтов и пояс бортовых ин-

трузивов, локализовать их по глубине на профильных разрезах и идентифицировать по составу.

В порядке дискуссии представлена оригинальная гипотеза, основанная на полученных представлениях о морфологии и структурах локализации глубинных магматических образований Енисей-Хатангского регионального прогиба и касающаяся стадийности его формирования. Эта гипотеза нуждается в дальнейшем развитии и увязке с геодинамическими моделями соседних регионов, она предполагает более раннее, чем рубеж палеозой – мезозой, начало погружения прогиба и формирования бортовых разломных зон. Позднее, в эпоху пика активности Сибирского суперплюма, последние стали каналами для внедрения огромных порций магмы, образовавших интрузивную «раму» Енисей-Хатангского прогиба — его наиболее яркий геофизический образ.

Новые сведения о продуктах магматизма Енисей-Хатангского регионального прогиба могут быть использованы для актуализации результатов структурно-тектонического анализа — важнейшего этапа комплексного геолого-геофизического изучения

глубинного строения и фундамента нефтегазового прогнозирования новых перспективных областей. Как обсуждалось выше, эти сведения полезны в контексте непосредственного прогноза УВ и выбора стратегии их поиска на территории Енисей-Хатангской нефтегазоносной области. Полученные результаты также способствуют обоснованному моделированию целевых структур верхних этажей разреза и могут быть использованы для построения карт основания потенциально нефтегазоносного структурного этажа стратифицированных образований, отделенного от нестратифицированных толщ фундамента и массивных интрузивных внедрений в осадочном чехле.

С учетом перечисленных аспектов представляется весьма интересным и перспективным продолжение изучения магматических структур Енисей-Хатангского регионального прогиба на базе развитых приемов их анализа и более детальных геофизических материалов как в прикладных нефтегазовых целях, так и для решения фундаментальных геологических проблем.

Литература

1. Афанасенков А.П., Обухов А.Н., Чикишев А.А., Шайдаков В.А., Бордюг А.В., Каламкаргов С.Л. Тектоника северного обрамления Сибирской платформы по результатам комплексного анализа геолого-геофизических данных // Геология нефти и газа. – 2018. – № 1. – С. 7–27.
2. Варламов А.И., Афанасенков А.П., Пешкова И.Н., Унгер А.В., Кравченко М.Н., Обухов А.Н. Ресурсный потенциал и перспективы освоения Арктической зоны Российской Федерации // Нефть и газ Евразия. – 2017. – № 2. – С. 44–51.
3. Афанасенков А.П., Никишин А.М., Унгер А.В. Мезо-кайнозойская история развития севера Западной и Восточной Сибири на основе анализа сейсмических данных (Гыдан, Усть-Енисейский район) // Геология нефти и газа. – 2017. – № 1. – С. 34–40.
4. Кушнир Д.Г. Геодинамика полуострова Таймыр по геофизическим данным // Геодинамика и тектонофизика. – 2018. – Т. 9. – № 1. – С. 81–92. DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0338.
5. Куркин А.А., Кузнецов В.И. Уточнение тектонического строения Ямало-Гыданского региона по результатам комплексной интерпретации геофизических данных // Геология нефти и газа. – 2018. – № 3. – С. 87–100.
6. Добрецов Н.Л. Пермо-триасовый магматизм и осадконакопление Евразии как отражение мантийного суперплюма // Доклады Академии наук. – 1997. – Т. 354. – № 4. – С. 497–500.
7. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). – М.: Научный мир, 2001. – 605 с.
8. Nikishin A.M., Ziegler P.A., Abbott D., et al. Permian-Triassic Intraplate Magmatism and Rifting in Eurasia: Implications for Mantle Plumes and Mantle Dynamics // Tectonophysics. – 2002. – Т. 351 – № 1–2. – С. 3–39. DOI: 10.1016/S0040-1951(02)00123-3.
9. Афанасенков А.П., Никишин А.М., Унгер А.В., Бордунов С.И., Луговая О.В., Чикишев А.А., Яковишина Е.В. Тектоника и этапы геологической истории Енисей-Хатангского бассейна и сопряженного Таймырского орогена // Геотектоника. – 2016. – № 2. – С. 23–42. DOI: 10.7868/S0016853X16020028.
10. Афанасенков А.П., Лыгин И.В., Обухов А.Н., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М. Объемная реконструкция тектонических элементов Енисей-Хатангской рифтовой системы по результатам комплексной геолого-геофизической интерпретации // Геофизика. – 2017. – № 2. – С. 60–70.
11. Добрецов Н.Л., Полянский О.П., Ревердатто В.В., Бабичев А.В. Динамика нефтегазоносных бассейнов в Арктике и сопредельных территориях как отражение мантийных плюмов и рифтогенеза // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 8. – С. 1145–1161.
12. Vernikovskiy V., Shemin G., Deev E., Matushkin N., Metelkin D., Pervukhina N. Geodynamics and Oil and Gas Potential of the Yenisei-Khatanga Basin (Polar Siberia) // Minerals. – 2018. – Т. 8. – № 11. DOI: 10.3390/min8110510.
13. Проскурнин В.Ф., Петров О.В., Проскурнина М.А., Салтанов В.А., Лохов Д.К. Раннекиммерийский посттрапповый магматизм Центрального сектора Арктики России — проблемы триасового орогенеза и горячего пятна Таймыра // Проблемы тектоники континентов и океанов : мат-лы LI Тектонического совещания (Москва, 29 января – 2 февраля 2019 г.). – М.: ГЕОС, 2019. – С. 144–148.
14. Короновский Н.В., Демина Л.И. Магматизм как индикатор геодинамических обстановок. – М.: КДУ, 2011. – 234 с.
15. Черемисина Е.Н., Финкельштейн М.Я., Деев К.В., Большаков Е.М. ГИС INTEGR0. Состояние и перспективы развития в условиях импортозамещения // Геология нефти и газа. – 2021. – № 3. – С. 31–40. DOI 10.31087/0016-7894-2021-3-31-40.
16. Демина Л.И., Захаров В.С., Промыслова М.Ю., Завьялов С.П. Соотношение коллизионного и траппового магматизма Таймыра по геологическим данным и результатам моделирования // Вестн. Моск. ун-та. – Сер. 4: Геология. – 2018. – № 1. – С. 16–25.
17. Latyshev A.V., Fetisova A.M., Veselovskiy R.V. Linking Siberian Traps LIP Emplacement and End Permian Mass Extinction: Evidence from Magnetic Stratigraphy of the Maymecha-Kotuy Volcanic Section // Geosciences. – 2020. – Т. 10. – № 8. – С. 2–26. DOI: 10.3390/geosciences10080295.

18. Карта размещения петротипов нестратифицированных образований России. Сибирский федеральный округ. Красноярский край. Материалы ФГБУ «ВСЕГЕИ» по состоянию на 01.09.2019 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://atlaspacket.vsegei.ru/#3318467220bc4fd810> (дата обращения: 11.03.2021).
19. Малич К.Н., Баданина И.Ю., Романов А.П., Служеникин С.Ф. U-Pb возраст и Hf- Nd-Sr-Cu-S изотопная систематика бинюдинского и дюмталейского рудоносных интрузивов (Таймыр, Россия) // Литосфера. – 2016. – № 1. – С. 107–128.
20. Малич К.Н., Лопатин Г.Г. Новые данные о металлогении уникального Гулинского клинопироксенит-дунитового массива (Северная Сибирь, Россия) // Геология рудных месторождений. – 1997. – Т. 39. – № 3. – С. 247–257.
21. Малич К.Н., Хиллер В.В., Баданина И.Ю., Белоусова Е.А. Результаты датирования торианита и бадделеита карбонатитов Гулинского массива (Россия) // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 464. – № 4. – С. 464–467. DOI: 10.7868/S086956521528018X.
22. Мышенкова М.С., Зайцев В.А., Томсон С., Латышев А.В., Захаров В.С., Багдасарян Т.Э., Веселовский П.В. Термальная история Гулинского плутона (север Сибирской платформы) по результатам трекового датирования апатита и компьютерного моделирования // Геодинамика и тектонофизика. – 2020. – Т. 11. – № 1. – С. 75–87. DOI: 10.5800/GT-2020-11-1-0464.
23. Петрофизика: Справочник. Кн. 1. Горные породы и полезные ископаемые / Под ред. Н.Б. Дортмана. – М.: Недра, 1992. – 391 с.
24. Афанасенков А.П., Яковлев Д.В. Применение электроразведки при изучении нефтегазоносности северного обрамления Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2018. – № 7. – С. 1032–1052. DOI: 10.15372/GiG20180708.
25. Гусев Б.В. Причины отрицательных магнитных аномалий Маймеча-Котуйского района. Геофизические методы разведки в Арктике / Под ред. Р.М. Деменицкой // Труды Научно-исследовательского института геологии и охраны недр СССР. Геофизические методы разведки в Арктике. – Т. 132. – Вып. 4. – С. 35–52.
26. Varentsov I.V. Joint robust inversion of magnetotelluric and magnetovariational data // Electromagnetic sounding of the Earth's interior. – Elsevier Science, 2006. – С. 189–222.
27. Харахинов В.В. Древние рифты Восточной Сибири и их нефтегазоносность // Геология нефти и газа. – 2016. – № 4. – С. 3–18.
28. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В. Мантийные плюмы северо-восточной Азии и их роль в формировании эндогенных месторождений // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. – № 2. – С. 153–184. DOI: <http://dx.doi.org/10.15372/GiG201400201>.
29. Maus S., Rother M., Holme R., Luhr H., Olsen N., Haak V. First scalar magnetic anomaly map from CHAMP satellite data indicates weak lithospheric field // Geophysical Research Letters. – 2002. – Т. 29. – № 14. – С. 47–1–47–4. DOI: 10.1029/2001GL013685.
30. Коржов Ю.В., Лобова Г.А., Исаев В.И., Стариков А.И., Кузина М.Я. Генезис углеводородов доюрского комплекса Ханты-Мансийского месторождения (зона локального сжатия Западно-Сибирской плиты) // Геофизический журнал. – 2020. – Т. 42 – № 5. – С. 130–147. DOI: 10.24028/gzh.0203-3100.v42i5.2020.215076.

References

1. Afanasenkov A.P., Obukhov A.N., Chikishev A.A., Shaidakov V.A., Bordyug A.V., Kalamkarov S.L. Tectonic setting of the northern surroundings of the Siberian Platform based on the integrated study of geological and geophysical data. *Geologiya nefiti i gaza*. 2018;(1):7–27. In Russ.
2. Varlamov A.I., Afanasenkov A.P., Peshkova I.N., Unger A.V., Kravchenko M.N., Obukhov A.N. Russian Arctic Zone Resource Potential and Development Prospects. *Neft' i gaz Evraziya*. 2017;(2):44–51.
3. Afanasenkov A.P., Nikishin A.M., Unger A.V. Mesozoic-Cenozoic geological history of the North of Western and Eastern Siberia based on the seismic data analysis. *Geologiya nefiti i gaza*. 2017;(1):34–40. In Russ.
4. Kushnir D.G. Geodynamics of the Taimyr peninsula from geophysical data. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2018;9(1):81–92. DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0338. In Russ.
5. Kurkin A.A., Kuznetsov V.I. Tectonic structure of the Yamal-Gydan region: update on the result of integrated interpretation of geological and geophysical data. *Geologiya nefiti i gaza*. 2018;(3):87–100. In Russ.
6. Dobretsov N.L. Permo-triasoviy magmatizm i osadkonakoplenie Evrazii kak otrazhenie mantiinogo superplyuma. *Doklady Akademii Nauk* [Permian-Triassic magmatism and sedimentation in Eurasia as a reflection of mantle superplume]. 1997;354(4):497–500. In Russ.
7. Khain V.E. Tektonika kontinentov i okeanov (god 2000) [Tectonics of continents and oceans (year 2000)]. Moscow: Nauchnyi mir; 2001. 605 p. In Russ.
8. Nikishin A.M., Ziegler P.A., Abbott D., et al. Permian-Triassic Intraplate Magmatism and Rifting in Eurasia: Implications for Mantle Plumes and Mantle Dynamics. *Tectonophysics*. 2002; 351(1–2):3–39. DOI: 10.1016/S0040-1951(02)00123-3.
9. Afanasenkov A.P., Nikishin A.M., Unger A.V., Bordunov S.I., Lugovaya O.V., Chikishev A.A., Yakovishina E.V. The tectonics and stages of the geological history of the Yenisei-Khatanga Basin and the conjugate Taimyr Orogen. *Geotectonics*. 2016; 50(2):161–178. DOI: 10.1134/S0016852116020023.
10. Afanasenkov A.P., Lygin I.V., Obukhov A.N., Sokolova T.B., Kuznetsov K.M. Volumetric reconstruction of the Yenisei-Khatanga rift system's tectonic elements by integrated geological-geophysical interpretation. *Geofizika*. 2017;(2):60–70. In Russ.
11. Dobretsov N.L., Polyanskii O.P., Reverdatto V.V., Babichev A.V. Dynamics of the arctic and adjacent petroleum basins: a record of plume and rifting activity. *Russian Geology and Geophysics*. 2013; 54(8):888–902. DOI: 10.1016/j.rgg.2013.07.009.
12. Vernikovskiy V., Shemin G., Deev E., Matushkin N., Metelkin D., Pervukhina N. Geodynamics and Oil and Gas Potential of the Yenisei-Khatanga Basin (Polar Siberia). *Minerals*. 2018; 8(11). DOI: 10.3390/min8110510.
13. Proskurnin V.F., Petrov O.V., Proskurnina M.A., Saltanov V.A., Lokhov D.K. Rannekimmeriiskii posttrappoviy magmatizm Tsentral'nogo sektora Arktiki Rossii — problemy triasovogo orogeneza i goryachego pyatna Taimyra [Early Cimmerian post-trap magmatism of Russian Arctic Central sector: problems of Triassic orogeny and Taimyr hotspot]. In: Problemy tektoniki kontinentov i okeanov : mat-ly LI Tektonicheskogo soveshchaniya (Moscow, 29 january – 2 february 2019). Moscow: GEOS; 2019. pp. 144–148. In Russ.
14. Koronovskii N.V., Demina L.I. Magmatizm kak indikator geodinamicheskikh obstanovok [Magmatism as a label of geodynamic settings]. Moscow: KDU; 2011. 234 p. In Russ.

15. Chermisina E.N., Finkel'shtein M.Ya., Deev K.V., Bol'shakov E.M. GIS INTEGR0. Status and prospects for development in the context of import substitution. *Geologiya nefti i gaza*. 2021;(3):31–40. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-3-31-40. In Russ.
16. Demina L.I., Zakharov V.S., Promyslova M.Yu., Zav'yalov S.P. The interrelations between collisional and trap magmatism of Taimyr based on geological data and modeling results. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 4: Geologiya*. 2018;(1):16–25. In Russ.
17. Latyshev A.V., Fetisova A.M., Veselovskiy R.V. Linking Siberian Traps LIP Emplacement and End Permian Mass Extinction: Evidence from Magnetic Stratigraphy of the Maymecha-Kotuy Volcanic Section. *Geosciences*. 2020;10(8):2–26. DOI:10.3390/geosciences10080295.
18. Karta razmeshcheniya petrotipov nestratifikirovannykh obrazovaniy Rossii. Sibirskii federal'nyi okrug. Krasnoyarskii krai. Materialy FGBU «VSEGEI» po sostoyaniyu na 01.09.2019 goda [Location map of petrotypes of non-stratified formations in Russia. Siberian Federal District. Krasnoyarsk Region. VSEGEI FGBU materials as on 01.09.2019]. Available at: <http://atlaspacket.vsegei.ru/#3318467220bc4fd810> (accessed: 11.03.2021).
19. Malich K.N., Badanina I.Yu., Romanov A.P., Sluzhenikin S.F. U-Pb age and Hf- Nd-Sr-Cu-S isotope systematics of the binyuda and dyumtaley ore-bearing intrusions (Taimyr, Russia). *Litosfera*. 2016;(1):107–128. In Russ.
20. Malich K.N., Lopatin G.G. Novye dannye o metallogenii unikal'nogo Gulinskogo klinopiroksenit-dunitovogo massiva (Severnaya Sibir', Rossiya) [New data on metallogeny of the giant Gulinsky clinopyroxenite-dunite massif (Northern Siberia, Russia)]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 1997;39(3):247–257. In Russ.
21. Malich K.N., Khiller V.V., Badanina I.Yu., Belousova E.A. Results of dating of thorianite and baddeleyite from carbonatites of the Guli massif, Russia. *Doklady Earth Sciences*. 2015;464(2):1029–1032. In Russ.
22. Myschenkova M.S., Zaitsev V.A., Thomson S., Latyshev A.V., Zakharov V.S., Bagdasaryan T.E., Veselovsky R.V. Thermal history of the Guli pluton (North of the Siberian platform) according to apatite fission-track dating and computer modeling. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2020;11(1):75–87. DOI: 10.5800/GT-2020-11-1-0464. In Russ.
23. *Petrofizika: Spravochnik*. Kn. 1. Gornye porody i poleznye iskopaemye [Petrophysics: Reference Book Vol. 1. Rocks and minerals]. In: N.B. Dortman, ed. Moscow: Nedra, 1992. 391 p. In Russ.
24. Afanasev A.P., Yakovlev D.V. Application of electrical prospecting methods to petroleum exploration on the northern margin of the Siberian Platform. *Russian Geology and Geophysics*. 2018;59(7):827–845. DOI: 10.1016/j.rgg.2018.07.008.
25. Gusev B.V. Prichiny otritsatel'nykh magnitnykh anomalii Maimecha-Kotuisкого raiona. Geofizicheskie metody razvedki v Arktike [Causes of negative magnetic anomalies in Maimecha-Kotuisky region. Geophysical prospecting in the Arctic]. In: R.M. Demenitskaya, ed. In: Trudy Nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii Arktiki Ministerstva geologii i okhrany nedr SSSR. Geofizicheskie metody razvedki v Arktike. V. 132. Issue 4. pp. 35–52. In Russ.
26. Varentsov I.V. Joint robust inversion of magnetotelluric and magnetovariational data. *Electromagnetic sounding of the Earth's interior*. Elsevier Science; 2006. pp. 189–222.
27. Kharakhinov V.V. Ancient West-Siberian rifts and their oil-gas bearing capacity. *Geologiya nefti i gaza*. 2016;(4):3–18. In Russ.
28. Kuz'min M.I., Yarmolyuk V.V. Mantle plumes of Central Asia (Northeast Asia) and their role in forming endogenous deposits. *Russian Geology and Geophysics*. 2014;55(2):120–143. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2014.01.002>.
29. Maus S., Rother M., Holme R., Luhr H., Olsen N., Haak V. First scalar magnetic anomaly map from CHAMP satellite data indicates weak lithospheric field. *Geophysical Research Letters*. 2002;29(14):47–1–47–4. DOI: 10.1029/2001GL013685.
30. Korzhov Y.V., Lobova G.A., Isaev V.I., Starikov A.I., Kuzina M.Ya. Hydrocarbons genesis of pre-Jurassic complex in Khanty-Mansiysk field (the zone of West Siberian plate local compression). *Geofizicheskii Zhurnal*. 2020;42(5):130–147. DOI: 10.24028/gzh.0203-3100.v42i5.2020.215076. In Russ.

Информация об авторах

Андреев Владимир Степанович

Кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: Andreev-vls@yandex.ru

Бисеркин Игорь Алексеевич

Кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: igor_workbox@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-7388-161X

Большаков Егор Максимович

Научный сотрудник
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: bolshakov.e.m@yandex.ru
ORCID ID: 0000-0003-1837-0918

Information about authors

Vladimir S. Andreev

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Leading researcher
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia
e-mail: Andreev-vls@yandex.ru

Igor' A. Biserkin

Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia
e-mail: igor_workbox@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-7388-161X

Egor M. Bol'shakov

Researcher
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia
e-mail: bolshakov.e.m@yandex.ru
ORCID ID: 0000-0003-1837-0918

Довыденко Геннадий Михайлович

Старший научный сотрудник
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»,
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: dovdydencko.gennady@yandex.ru
ORCID ID: 0000-0001-8555-0762

Пиманова Надежда Николаевна

Кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»,
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: nadja@geosys.ru

Соколова Елена Юрьевна

Кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»,
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8,
ФГБУ Институт Физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской академии наук,
123242, Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1
e-mail: sokol_l@mail.ru
SCOPUS ID: 7103067584
ORCID ID: 0000-0002-5788-6944

Спирidonov Виктор Альбертович

Кандидат технических наук,
заведующий сектором
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»,
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: victor@geosys.ru
ORCID ID: 0000-0002-9421-555X

Шпекторов Андрей Львович

Старший научный сотрудник
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»,
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: vniigeosistem@yandex.ru

Gennadii M. Dovydenko

Senior Researcher
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia
e-mail: dovdydencko.gennady@yandex
ORCID ID: 0000-0001-8555-0762

Nadezhda N. Pimanova

Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia
e-mail: nadja@geosys.ru

Elena Yu. Sokolova

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Leading Researcher
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia,
Schmidt Institute of Physics of the Earth
of the Russian academy of sciences,
10 build. 1, B. Gruzinskaya, Moscow, 123242, Russia
e-mail: sokol_l@mail.ru
SCOPUS ID: 7103067584
ORCID ID: 0000-0002-5788-6944

Viktor A. Spiridonov

Candidate of Technical Sciences,
Head of Sector
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia
e-mail: victor@geosys.ru
ORCID ID: 0000-0002-9421-555X

Andrei L. Shpektorov

Senior Researcher
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia
e-mail: vniigeosistem@yandex.ru