



DIFFERENTIATION OF THE EARTH'S CRUST IN THE TATAR TROUGH BASED ON THE STRUCTURAL-DENSITY MODELING RESULTS

Z.N. Proshkina ✉, M.G. Valitov , N.S. Lee 

Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 43 Baltiyskaya St, Vladivostok 690041, Russia

ABSTRACT. The paper presents the results of structural-density modeling of the southern and northern Tatar trough, performed in order to detail the features of the deep structure of the Earth's crust and to detect hidden tectonics of the transition zone between the South Tatar and North Tatar basins. Maps have been compiled for the Moho surface relief and density distribution in the basement of the South Tatar and North Tatar basins, on the basis of which a conclusion is made about the south-north alternation of the Earth's crust types and the existence of an interbasinal subcontinental block between these two basins.

KEYWORDS: gravimetry; structural-density modeling; Earth's crust; Tatar trough

FUNDING: The study was carried out on the state assignment of the Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS (projects No. 124022100078-7, 124022100082-4).



EDN: CJSCPG

RESEARCH ARTICLE

Correspondence: Zoya N. Proshkina, pro-zo@yandex.ru

Received: July 2, 2025

Revised: November 5, 2025

Accepted: November 14, 2025

FOR CITATION: Proshkina Z.N., Valitov M.G., Lee N.S., 2026. Differentiation of the Earth's Crust in the Tatar Trough Based on the Structural-Density Modeling Results. *Geodynamics & Tectonophysics* 17 (1), 0871. doi:10.5800/GT-2026-17-1-0871

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ТАТАРСКОМ ТРОГЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТРУКТУРНО-ПЛОТНОСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

З.Н. Прошкина, М.Г. Валитов, Н.С. Ли

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43, Россия

АННОТАЦИЯ. В статье представлены результаты структурно-плотностного моделирования южной и северной части Татарского трого, выполненного с целью детализации особенностей глубинного строения земной коры и выявления скрытой тектоники в переходной зоне между Южно-Татарским и Северо-Татарским бассейнами. Составлены карты рельефа поверхности Мохо и распределения плотности в подошвенной части фундамента в Южно-Татарском и Северо-Татарском бассейнах, на основании которых сделан вывод о смене типов земной коры с юга на север и существовании межбассейнового субконтинентального блока между двумя этими бассейнами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гравиметрия; структурно-плотностное моделирование; земная кора; Татарский трог

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование проведено в рамках госзадания Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН (проекты № 124022100078-7, № 124022100082-4).

1. ВВЕДЕНИЕ

Татарский трог, отделяющий о. Сахалин от континентальной суши, входит в состав Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода, где происходят активные геодинамические процессы, связанные с сейсмичностью и вулканизмом. Происхождение данной структуры связано с несколькими этапами активного рифтинга и тектономагматической активизации в кайнозойское время [Zharov, 2002; Zharov et al., 2004; Zlobin et al., 2012; Rodnikov et al., 2005; и т.д.]. В геоморфологическом плане Татарский трог разделяется на Северо-Татарский (СТБ), Южно-Татарский (ЮТБ), Иссикари-Западносахалинский бассейны (ИСЗБ) (рис. 1), а также наименее изученную южную часть, протягивающуюся на юг от пролива Лаперуза до замыкания с Центральной котловиной Японского моря. Отличительной особенностью северной части трого является меридиональное положение глубоководного Александровского прогиба, тогда как в южной части преобладающими направлениями являются северо-восточное и субширотное.

На сегодня наиболее достоверными источниками информации о строении Татарского трого являются данные глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), полученные еще в 60-е годы прошлого столетия [Zverev, Tulina, 1971]. На их основе была составлена карта мощности земной коры [Zharov et al., 2004], на которой в районе континентального склона было показано ее сокращение, достигающее максимального значения в районе мыса Сюркум (до 19 км). Позднее при переинтерпретации данных ГСЗ и проведении плотностного моделирования существование данного вала было взято под сомнение [Lomtev et al., 2010].

Кроме того, существует некоторая широтная зональность в распространении магматогенных образований в западной части о. Сахалин, где неогеновые

вулканогенные комплексы локализуются в юго-западной части острова, а вблизи северо-западного побережья преобладают меловые и раннепалеогеновые [Geological Map..., 2017]. По геохимическим данным выявлено различие в содержаниях петрогенных оксидов и микроэлементов в вулканических породах среднего и позднего кайнозоя западного побережья Сахалина, где по данным работы [Rasskazov et al., 2005] были выделены Чеховская и Лесогорская зоны с разным составом магматических источников. В андезитах и дацитах, ассоциирующих с внутриплитными базальтами на Орловском вулканическом поле о. Сахалин, выявлена адакитоподобная геохимическая специфика, что предполагает магмогенерацию «в глубинных источниках корово-мантийного перехода в Сахалин-Хоккайдо-Япономорской зоне горячей трансформации в условиях резкой смены тектонических деформаций от тонкой коры Южно-Татарского бассейна к более мощной коре на ее северо-восточном замыкании» [Rasskazov et al., 2021, с. 255].

Со стороны континента обширное распространение неогеновых платобазальтов (кизинская свита) и неоген-четвертичных вулканитов (совгаваньская свита) наблюдается севернее 48° с.ш. [Geological Map..., 2017].

Все эти особенности в той или иной степени отражают общую эволюцию и стадии формирования как структур, обрамляющих шельф, так и глубоководных частей Татарского трого, где мощный слой осадочно-чехла, достигающий порядка 7–9 км, не позволяет на сегодняшний день изучить фундамент, подстилающий кайнозойские отложения. В то же время осадочный слой и поверхность акустического фундамента Татарского трого достаточно подробно изучены комплексом методов, включающих сейсмическое профилирование, геофизическую съемку, бурение и геологическое картирование [Zharov et al., 2004].

В аспекте глубинного строения данный район изучен достаточно слабо, имеются лишь общие представления о строении земной коры, а вещественный состав фундамента изучен только в приконтинентальной части и на шельфе о. Сахалин. Знание глубинной структуры могло бы уточнить некоторые аспекты общей эволюции Татарского трога и выявить условия формирования тех или иных структур.

Новый этап изучения Татарского трога был начат Тихоокеанским океанологическим институтом (ТОИ) ДВО РАН в 2017 г, когда была организована первая комплексная геолого-геофизическая экспедиция на НИС «Академик Опарин» (рейс № 54) [Valitov et al., 2019]. В период с 2017 по 2022 г. был проведен цикл таких экспедиций, покрывший геофизической съемкой всю площадь Татарского трога, вплоть до южного замыкания с Центральной котловиной Японского моря. В

результате проведенных исследований были получены карты аномального гравитационного и магнитного поля хорошего разрешения с привязкой высокой точности.

Цель настоящей работы – изучение глубинного строения земной коры Татарского трога по экспедиционным данным 2017–2022 гг. для выявления скрытой тектоники и детализации геологических особенностей фундамента, подстилающего кайнозойский осадочный чехол, с использованием дополнительных материалов по геологии прибрежных комплексов материковой части и о. Сахалин.

2. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Одним из наиболее распространенных методов получения информации о глубинном строении земной коры по распределению геофизических полей является

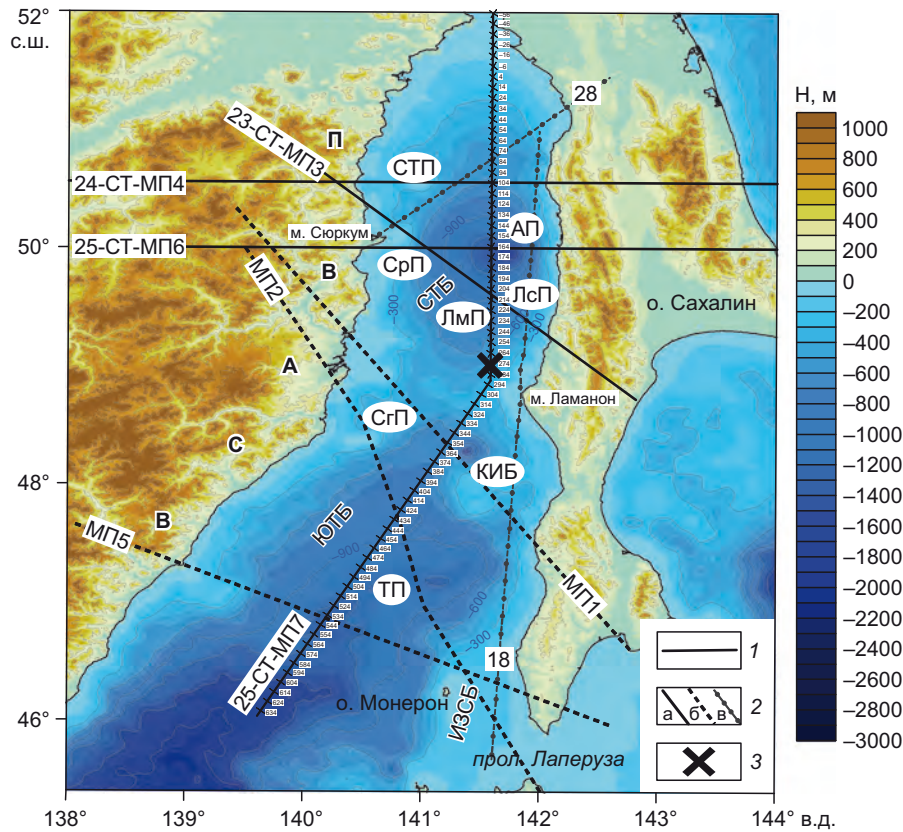


Рис. 1. Обзорная карта района исследования совместно с рельефом, в м.

1 – профиль структурно-плотностного моделирования; 2 – вспомогательные профили: а – структурно-плотностного моделирования, представленные в настоящей работе, б – структурно-плотностного моделирования, представленные в предыдущих исследованиях [Proshkina et al., 2023, 2024, 2025], в – профили ГСЗ [Zverev, Tulina, 1971]; 3 – местоположение газового месторождения Изильметьевское. ВСАВП – Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс, ЮТБ – Южно-Татарский бассейн, СТБ – Северо-Татарский бассейн, ИСЗБ – Иссикари-Западно-Сахалинский бассейн, СгП – Совгаванское поднятие, СрП – Сюркумское поднятие, СТП – Северо-Татарское поднятие, КИБ – Красногорско-Ильинский блок, ЛсП – Лесогорский прогиб, ЛмП – Ламанонский прогиб, АП – Александровский прогиб, ТП – Тернейский прогиб.

Fig. 1. Overview map of the study area showing relief, in m.

1 – structural-density modeling profile; 2 – auxiliary profiles for: а – structural-density modeling presented in this paper, б – structural-density modeling presented in [Proshkina et al., 2023, 2024, 2025], в – deep seismic sounding (DSS) profiles [Zverev, Tulina, 1971]; 3 – Izylmeteyevskoye gas field location. ВСАВП – East Sikhote-Alin volcanic belt, ЮТБ – South Tatar Basin, СТБ – North Tatar Basin, ИСЗБ – Issikari-West Sakhalin Basin, СгП – Sovgavan uplift, СрП – Syurkum uplift, СТП – North Tatar uplift, КИБ – Krasnogorsk-Ilyinsk block, ЛсП – Lesogorsk trough, ЛмП – Lamanon trough, АП – Aleksandrovsk trough, ТП – Terney trough.

моделирование. В нашем случае был использован метод структурно-плотностного моделирования, позволивший исследовать структуры вдоль модельных профилей – как вспомогательных (23-СТ-МП3, 24-СТ-МП4, 25-СТ-МП6), так и основного профиля 25-СТ-МП7, который пересекает ЮТБ и СТБ в глубоководных частях обоих бассейнов (рис. 1). Это позволило проследить особенности строения земной коры Татарского трога с юга на север, а также изучить межбассейновый участок, расположенный между мысом Ламанон и Лесогорским выступом, где в прибрежной зоне о. Сахалин сосредоточены мелкие неогеновые субвулканические образования гипабиссального сиенит-эссекситового Лесогорского и базальтового Орловского комплекса. Юго-западная часть модельного профиля 25-СТ-МП7 пересекает несколько профилей структурно-плотностного моделирования, представленных ранее в работах [Proshkina et al., 2023, 2024, 2025], что позволило использовать их для привязки основных границ в этой части профиля.

Все вспомогательные профили, описываемые в данной работе, расположены в СТБ, при этом два профиля – 24-СТ-МП4 и 25-СТ-МП6 – протягиваются в широтном направлении, один из них севернее мыса Сюркум (24-СТ-МП4), другой непосредственно на широте мыса (25-СТ-МП6). Профиль 23-СТ-МП3 пересекает межбассейновое пространство в юго-восточном направлении и проходит через Лесогорский узел, где сосредоточены выходы мелких субвулканических образований раннего неогена основного и среднего состава. Основные подводные структуры СТБ, попадающие на исследуемые профили – это Северо-Татарское поднятие, Сюркумское поднятие, Александровский прогиб, Лесогорско-Ламанонская система прогибов (рис. 1). Все вспомогательные профили берут начало в континентальной части, где фиксируются выходы позднемеловых вулканитов, перекрытых позднепалеогеновыми покровными базальтами Кизинской свиты [Geological Map..., 2017], и оканчиваются на о. Сахалин, где основные структуры были сформированы докайнозойскими аккреционными комплексами [Kharakhinov, 2010].

Процесс моделирования заключается в подборе плотности (ρ , г/см³) и геометрии модели, где сложные геологические объекты аппроксимируются простыми геометрическими телами, для которых рассчитывается гравитационный эффект и затем сравнивается с наблюдаемым полем силы тяжести (Δg , мГал). Для построения приближенной к реальной обстановке модели, помимо гравиметрических данных, используется вся известная геолого-геофизическая информация. Это, прежде всего, результаты сейсмических исследований, из которых заимствуются скоростные границы и величины сейсмических скоростей, которые используются в качестве неизменяемого структурного каркаса, а скорости пересчитываются в плотности по известным зависимостям «скорость – плотность». В нашем случае были использованы сейсмические границы в местах пересечений модельных профилей с

двумя профилями ГСЗ – 18 и 28 (рис. 1) [Zverev, Tulina, 1971]. Кроме того, для привязки использовались данные батиметрии (рис. 1) и мощность осадочного чехла [Geological Map..., 2017]. На этой основе строится модель первого (или нулевого) приближения. Затем в рамках указанного каркаса методом подбора несколькими итерациями строится окончательная структурно-плотностная модель. Для геологической интерпретации полученной структурно-плотностной модели используется совокупность геологических и петрофизических данных, имеющихся в окрестности модельного профиля, и распределение плотности в полученной модели.

Процесс моделирования осуществлялся в программе, разработанной в лаборатории гравиметрии ТОИ ДВО РАН [Kolpashchikova, 2007] и использованной нами при моделировании.

Площадные методы исследования включали в себя построение карт глубины залегания поверхности Мохо и распределения плотности в подошвенном слое фундамента. Процесс построения карт осуществлялся в графическом редакторе Surfer по набору данных, полученных в результате расчета всех структурно-плотностных моделей.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе структурно-плотностного моделирования, выполненного в соответствии с установленными правилами привязки структурного каркаса и определения глубины основных сейсмоплотностных границ, были рассчитаны распределения плотностей и построены структурно-геологические модели для трех вспомогательных профилей (рис. 2, 3, 4). Это позволило сделать некоторые выводы относительно глубинного строения в СТБ и межбассейновом участке между СТБ и ЮТБ.

Как видно на рис. 2, 3, 4, все центральные части профилей пересекают мощные осадочные прогибы: 23-СТ-МП3 – Ламанонский, 24-СТ-МП4 – Александровский, 25-СТ-МП6 – Лесогорский; при этом депоцентры осадочных депрессий во всех структурах смещены в сторону о. Сахалин, а максимальное сокращение мощности земной коры наблюдается под блоками фундамента, формирующими континентальный склон, – Сюркумским и Северо-Татарским поднятиями. Нужно отметить, что Сюркумское поднятие имеет строение, схожее с Совгаваньским поднятием (см. рис. 1), где также по результатам моделирования в верхней коре был выявлен вулканогенно-осадочный слой плотностью 2.45–2.6 г/см³ и мощностью около 8 км, а в нижней – преимущественно «гранитометаморфическая» плотность 2.65–2.75 г/см³ [Proshkina et al., 2023]. В магнитном поле данная структура, так же как и Совгаваньское поднятие, выражена интенсивным магнитным максимумом.

Начало всех профилей проходит через структуры континентальной суши с продолжением их под воды Татарского пролива, что позволило проследить сложную

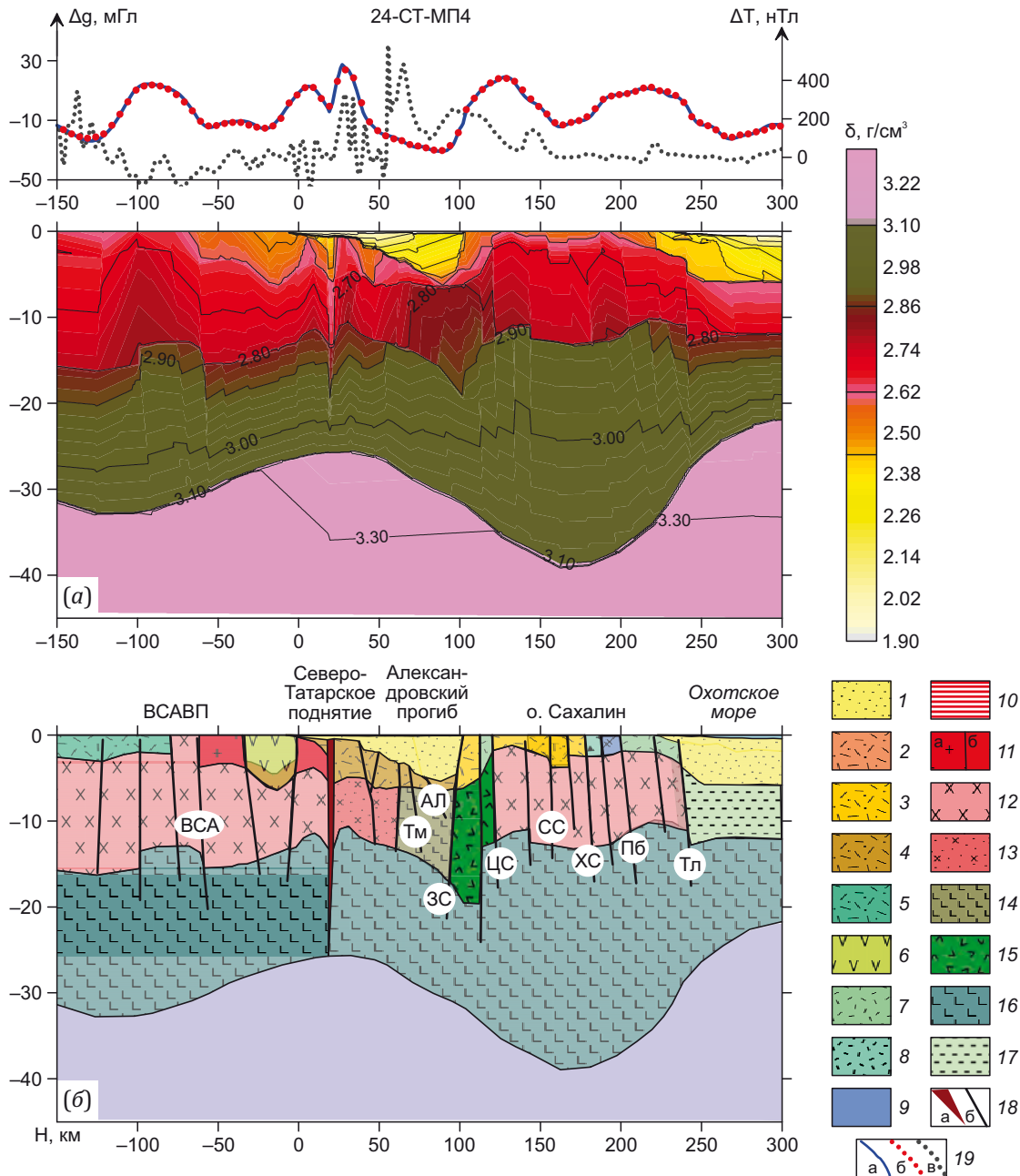


Рис. 2. Распределение плотностей (а) и структурно-геологическая модель (б) по профилю 24-СТ-МП4. 1 – осадочный слой (2.00–2.45 г/см³); 2–4 – вулканогенно-осадочный слой: 2 – подводной континентальной окраины (2.45–2.60 г/см³), 3 – палеоген-неогеновые комплексы Сахалина (2.45–2.55 г/см³), 4 – уплотненный слой (2.6–2.7 г/см³); 5–9 – до-кайнозойские комплексы [Geological Map..., 2017]: 5 – раннемеловые на континенте (2.5–2.6 г/см³), 6 – поздне-меловые вулканические на Сахалине (2.55–2.65 г/см³), 7 – поздне-меловые комплексы Сахалина (2.5–2.6 г/см³), 8 – олигостромовая толща раннего мела на Сахалине (2.55–2.65 г/см³), 9 – юрский (2.6–2.7 г/см³); 10–13 – «гранитометаморфический» слой: 10 – поздне-меловой метаморфизованный комплекс Сахалина (2.55–2.70 г/см³), 11 – интрузии: а – гранитного состава (2.54–2.60 г/см³), б – сиениты Лесогорского комплекса (2.5–2.6 г/см³) [Geological Map..., 2017], 12 – сиалический фундамент (2.65–2.75 г/см³), 13 – уплотненный сиалический фундамент (2.7–2.8 г/см³); 14 – базифицированный фундамент (2.75–2.85 г/см³); 15 – фундамент вулканогенной природы (2.75–2.90 г/см³); 16 – «базальтовый» слой (2.85–3.1 г/см³); 17 – переходный слой океанической коры (2.55–2.70 г/см³); 18 – разломы: а – зоны разуплотнения, связанные с разломами, б – предполагаемые на границах блоков; 19 – графики аномальных геофизических полей: а – гравитационного наблюдаемого в свободном воздухе Δg, б – гравитационного расчетного Δg, в – магнитного, ΔT. Разломы: ВСА – Восточно-Сихотэ-Алинский, Тм – Тымский, Ал – Аукан-Лунский, ЗС – Западно-Сахалинский, ЦС – Центрально-Сахалинский, СС – Срединно-Сахалинский, ХС – Хоккайдо-Сахалинский, Пб – Прибрежный, Тл – Тюлений (по [Kharakhinov, 2010]).

Fig. 2. Distribution of densities (a) and structural-geological modeling (b) along profile 24-CT-MP4. 1 – sedimentary layer (2.00–2.45 g/cm³); 2–4 – volcanogenic-sedimentary layer: 2 – submarine continental margin (2.45–2.60 g/cm³), 3 – Paleogene-Neogene complexes of Sakhalin (2.45–2.55 g/cm³), 4 – compacted layer (2.6–2.7 g/cm³); 5–9 – pre-Cenozoic complexes [Geological Map..., 2017]: 5 – Early Cretaceous continental complex (2.5–2.6 g/cm³), 6 – Late Cretaceous continental volcanic complex (2.55–2.65 g/cm³), 7 – Late Cretaceous complexes of Sakhalin (2.5–2.6 g/cm³), 8 – oligostromovaya thickness of the early Cretaceous on Sakhalin (2.55–2.65 g/cm³), 9 – Jurassic (2.6–2.7 g/cm³); 10–13 – «granitometamorphic» layer: 10 – Late Cretaceous metamorphosed complex of Sakhalin (2.55–2.70 g/cm³), 11 – intrusions: a – granitic composition (2.54–2.60 g/cm³), b – sienites of the Lesogorsky complex (2.5–2.6 g/cm³) [Geological Map..., 2017], 12 – sialic foundation (2.65–2.75 g/cm³), 13 – compacted sialic foundation (2.7–2.8 g/cm³); 14 – basified foundation (2.75–2.85 g/cm³); 15 – foundation of volcanic origin (2.75–2.90 g/cm³); 16 – «basaltic» layer (2.85–3.1 g/cm³); 17 – transition layer of oceanic crust (2.55–2.70 g/cm³); 18 – faults: a – zones of decompaction, related to faults, b – assumed at block boundaries; 19 – graphs of anomalous geophysical fields: a – observed free-air gravity anomaly Δg, b – calculated gravity anomaly Δg, v – magnetic, ΔT. Faults: VSA – Vostochno-Sikhote-Alinskii, Tm – Tym'skii, Al – Aukan-Lun'skii, ZS – Zapadno-Sakhalinskii, CS – Tsentrально-Sakhalinskii, SS – Sredinno-Sakhalinskii, XS – Hokkaido-Sakhalinskii, Pp – Pribrzhnyy, Tl – Tyulennyy (from [Kharakhinov, 2010]).

(2.5–2.6 g/sm³), 7 – Late Cretaceous complexes of Sakhalin (2.5–2.6 g/sm³), 8 – Early Cretaceous olistostrome strata of Sakhalin (2.55–2.65 g/sm³), 9 – Jurassic (2.6–2.7 g/sm³); 10–13 – "granite-metamorphic" layer: 10 – Late Cretaceous metamorphosed complex of Sakhalin (2.55–2.70 g/sm³), 11 – intrusions: а – granite in composition (2.54–2.60 g/sm³), б – syenites of the Lesogorsk complex (2.5–2.6 g/sm³) [Geological Map..., 2017], 12 – sialic basement (2.65–2.75 g/sm³); 13 – compacted sialic basement (2.7–2.8 g/sm³); 14 – basified basement (2.75–2.85 g/sm³); 15 – basement of volcanic nature (2.75–2.90 g/sm³); 16 – "basalt" layer (2.85–3.1 g/sm³); 17 – transitional layer of the oceanic crust (2.55–2.70 g/sm³); 18 – faults: а – fault-related decompaction zones, б – inferred faults at the block boundaries; 19 – graphs of anomalous geophysical fields: а – free-air gravity field Δg, б – calculated gravity field Δg, в – magnetic field ΔT. Faults: BCA – East Sikhote-Alin, Тм – Тум, АЛ – Aukan-Lun, ЗС – West Sakhalin, ЦС – Central Sakhalin, СС – Middle Sakhalin, ХС – Hokkaido-Sakhalin, Пб – Pribrezhny, Тл – Tyuleny (after [Kharakhinov, 2010]).

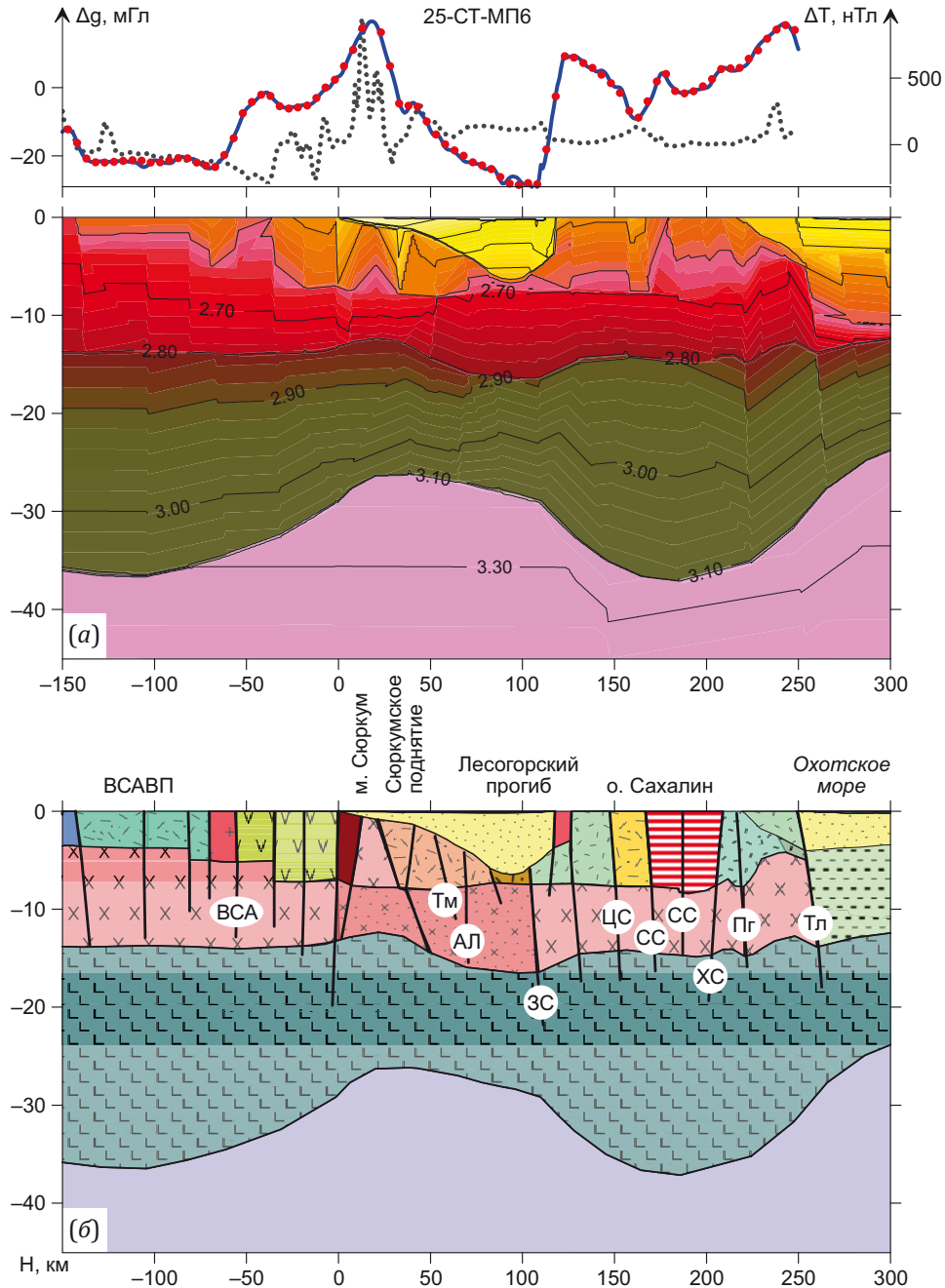


Рис. 3. Распределение плотностей (а) и структурно-геологическая модель (б) по профилю 25-СТ-МП6. Разломы: ВСА – Восточно-Сихотэ-Алинский, Тм – Тымский, ЗС – Западно-Сахалинский, ЦС – Центрально-Сахалинский, СС – Срединно-Сахалинский, ХС – Хоккайдо-Сахалинский, Пг – Пограничный, Тл – Тюлений (по [Kharakhinov, 2010]). Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 3. Distribution of densities (а) and structural-geological model (б) along profile 25-ST-MP6. Faults: BCA – East Sikhote-Alin, Тм – Тум, ЗС – West Sakhalin, ЦС – Central Sakhalin, СС – Middle Sakhalin, ХС – Hokkaido-Sakhalin, Пг – Pogranichny, Тл – Tyuleny (after [Kharakhinov, 2010]). See Fig. 2 for the legend.

перестройку коры и тектонические нарушения, связанные с глубинными процессами, происходившими на континенте севернее мыса Сюркум. Так, на профиле 23-СТ-МПЗ (рис. 4), согласно результатам моделирования, Сюркумское поднятие с северо-запада ограничивается мощной разломной зоной глубокого заложения, отчетливо выраженной в поле силы тяжести в виде гравитационной ступени и интенсивного магнитного минимума на пикете 100 км (рис. 4). На профиле 25-СТ-МП6 (см. рис. 3) на широте мыса Сюркум

при переходе от структур суши к подводной части (0–20 км) отмечаются интенсивные положительные аномалии как в гравитационном, так и в магнитном поле [Мар..., 1966], что связано с выходом интрузивного гранодиоритового массива, слагающего мыс Сюркум, согласно геологической информации [Geological Map..., 2017]. Массив отделен с запада и востока разломами, достаточно хорошо заметными на распределении плотностей (см. рис. 3), но менее глубокого заложения, чем на профиле 23-СТ-МПЗ (рис. 4). Кроме того, результаты

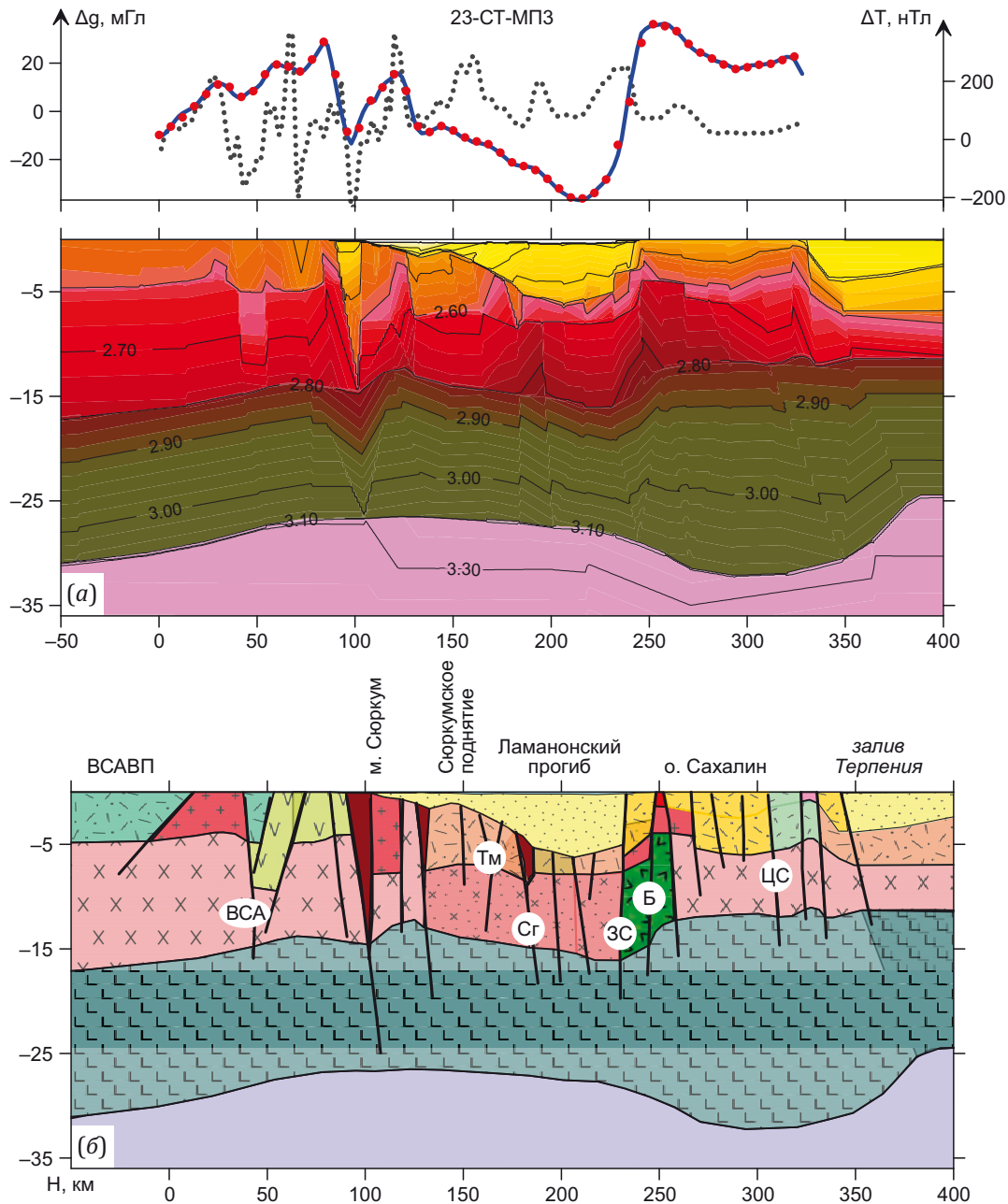


Рис. 4. Распределение плотностей (а) и структурно-геологическая модель (б) по профилю 23-СТ-МПЗ. Разломы: BCA – Восточно-Сихотэ-Алинский, Тм – Тымский, АЛ – Аукан-Лунский, Cr – Совгаванский, ЗС – Западно-Сахалинский, Б – Бошняковский, ЦС – Центрально-Сахалинский (по [Kharakhinov, 2010]). Условные обозначения см. на рис. 2.
Fig. 4. Distribution of densities (a) and structural-geological model (b) along profile 23-ST-MP3. Faults: BCA – East Sikhote-Alin, Тм – Tym, АЛ – Aukan-Lun, Cr – Sovgavan, ЗС – West Sakhalin, Б – Boshnyakovsky, ЦС – Central Sakhalin (after [Kharakhinov, 2010]). See Fig. 2 for the legend.

моделирования показали, что на профиле 24-СТ-МП4 Северо-Татарское поднятие отделено от континента узким глубоким разломом (см. рис. 2), и, учитывая наличие такой же глубинной зоны на 23-СТ-МП3, можно заключить, что севернее мыса Сюркум наблюдается «зияние земной коры», которое может ассоциироваться с ее расколом и проникновением мантийного вещества к верхней коре, что может объяснять сокращение мощности коры под континентальным склоном севернее мыса Сюркум и уплотнение верхних слоев разреза на профиле 24-СТ-МП4.

На профилях 23-СТ-МП3 (рис. 4) и 25-СТ-МП6 (см. рис. 3) уплотненные блоки фундамента с плотностью $2.7\text{--}2.8\text{ г/см}^3$ и вулканогенно-осадочного слоя с плотностью $2.65\text{--}2.70\text{ г/см}^3$ выделяются только в центральной части разрезов, в то время как на профиле 24-СТ-МП4 (см. рис. 2) моделированием установлено, что вулканогенно-осадочный слой, слагающий верхнюю кору Северо-Татарского поднятия, имеет повышенные значения плотности ($2.60\text{--}2.75\text{ г/см}^3$) и высокие магнитные свойства, а между пикетами 70–120 км установлен блок фундамента высокой плотности ($2.75\text{--}2.85\text{ г/см}^3$), где также в магнитном поле наблюдаются повышенные значения. Это позволяет сделать вывод о базификации коры в центральной части профиля 25-СТ-МП4 и наличии в пределах Северо-Татарского поднятия вулканического центра, сопряженного с базифицированным блоком. Поскольку земная кора Северо-Татарского поднятия более плотная, это не позволяет сделать вывод об ее единстве с Суркумским поднятием.

Чтобы проследить строение земной коры Татарского трога с юга на север, был рассчитан профиль структурно-плотностного моделирования 25-СТ-МП7 (рис. 5), пересекающий структуры СТБ в меридиональном, а ЮТБ в северо-восточном направлении (см. рис. 1).

Согласно полученной модели и результатам интерпретационного анализа земная кора исследуемого профиля неоднородна, присутствуют признаки сокращения и базификации в ЮТБ и СТБ. При этом глубинное строение базифицированных участков также отличается: в ЮТБ плотность фундамента и базальтового слоя несколько выше, чем в СТБ; кроме того, в ЮТБ вулканогенно-осадочный слой разорван, тогда как в СТБ его мощность составляет около 4 км, а плотность несколько выше, чем в соседних блоках. Участок межбассейнового блока сложен более мощной корой преимущественно сиалического происхождения, но в северной части на границе с СТБ наблюдается ее некоторое уплотнение и воздымание с локальным выступом в базальтовом слое на пикете 200 км, который образует структуру, вероятно, являющуюся центром подводного вулканизма, северный и южный борт которого сопряжены с локальными максимумами в магнитном поле. Подтверждением данного вывода может служить наличие похожей структуры на профиле 23-СТ-МП3 (см. рис. 4), где на пикете 198 км, который к тому же является точкой пересечения с профилем 25-СТ-МП7,

наблюдается локальное повышение плотности в средней части коры и повышенные значения магнитного поля.

Другой такой локальный выступ в кровле базальтового слоя наблюдается на пикете 100 км и связан с локальной перестройкой и сокращением средней части коры в СТБ. Здесь же результатами моделирования выявлен разлом, судя по всему глубокого заложения, максимальные значения магнитного поля сопряжены с выявленными уплотнениями в коре. Тектонической границей между СТБ и межбассейновым участком можно считать Совгаваньский разлом, контролирующий подводный вулканический центр с севера.

Рифтогенная структура Тернейского прогиба также отделена глубинными разломами, а в центральной части прогиба в кровле базальтового слоя наблюдаются локальные воздымания, отходящие от центрального разлома, что, возможно, связано со спрединговым процессом, завершившим финальный этап рифтогенеза в ЮТБ. При этом в магнитном поле не наблюдается интенсивных аномалий над данной структурой, что, вероятно, связано с мощным осадочным чехлом и глубиной моря.

Интересной деталью на плотностном распределении в районе Гавриловской структуры является наличие антиклинального выступа в изолиниях плотности, к которому приурочено газовое месторождение Изыльметьевское. Сама же Гавриловская структура сложена низкоплотными и слабомагнитными породами, преимущественно алевролитами, что по плотности практически не выделяет ее в осадочном чехле. Данное наблюдение может быть полезным при исследовании коллекторских свойств осадочного чехла и выделении в нем участков, благоприятных для нефтегазонакопления.

Юго-восточная оконечность профиля 25-СТ-МП7 (рис. 5) представлена корой преимущественно континентального типа, но ее мощность несколько сокращена. В пределах Лопатинского поднятия в фундаменте структуры результатами моделирования установлены горстовые блоки, разбитые системой разломов, что говорит о тектоническом воздействии на структуру без влияния магматических источников. От уплотненной коры южного борта Тернейского прогиба Лопатинское поднятие отделено узким грабеном, где отмечается понижение плотности в средней коре, а границей, отделяющей поднятие от прогиба, служит разлом, четко выделяемый на пикете 545 км. Вероятно, в геологическом прошлом Лопатинское поднятие составляло единое целое с континентом, но под влиянием деструктивных процессов, связанных с образованием Центральной котловины Японского моря, подверглось тектонической перестройке. В магнитном поле вся юго-восточная оконечность профиля выражена отрицательными значениями, осложненными локальными всплесками вблизи разломных зон.

Чтобы визуализировать выводы, сделанные выше, были проведены площадные расчеты, включающие

вынос точек глубины залегания поверхности Мохо и значений плотности в подошвенной части фундамента с полученных структурно-плотностных моделей. Кроме описанных в данной работе профилей, в расчетах участвовали опубликованные ранее профили структурно-плотностного моделирования (МП 1, МП 2, МП 5, МП 18) [Proshkina et al., 2023, 2024, 2025] (см. рис. 1). В результате описанных построений были получены

карты глубины залегания поверхности Мохо (рис. 6, а) и распределения плотности в подошвенной части фундамента (рис. 6, б) в Северо-Татарском и Южно-Татарском бассейне. Сюда также можно добавить структуры Иссикари-Западно-Сахалинского бассейна, слагающие юго-западный шельф о. Сахалин и являющиеся неотъемлемой частью структурно-плотностного моделирования.

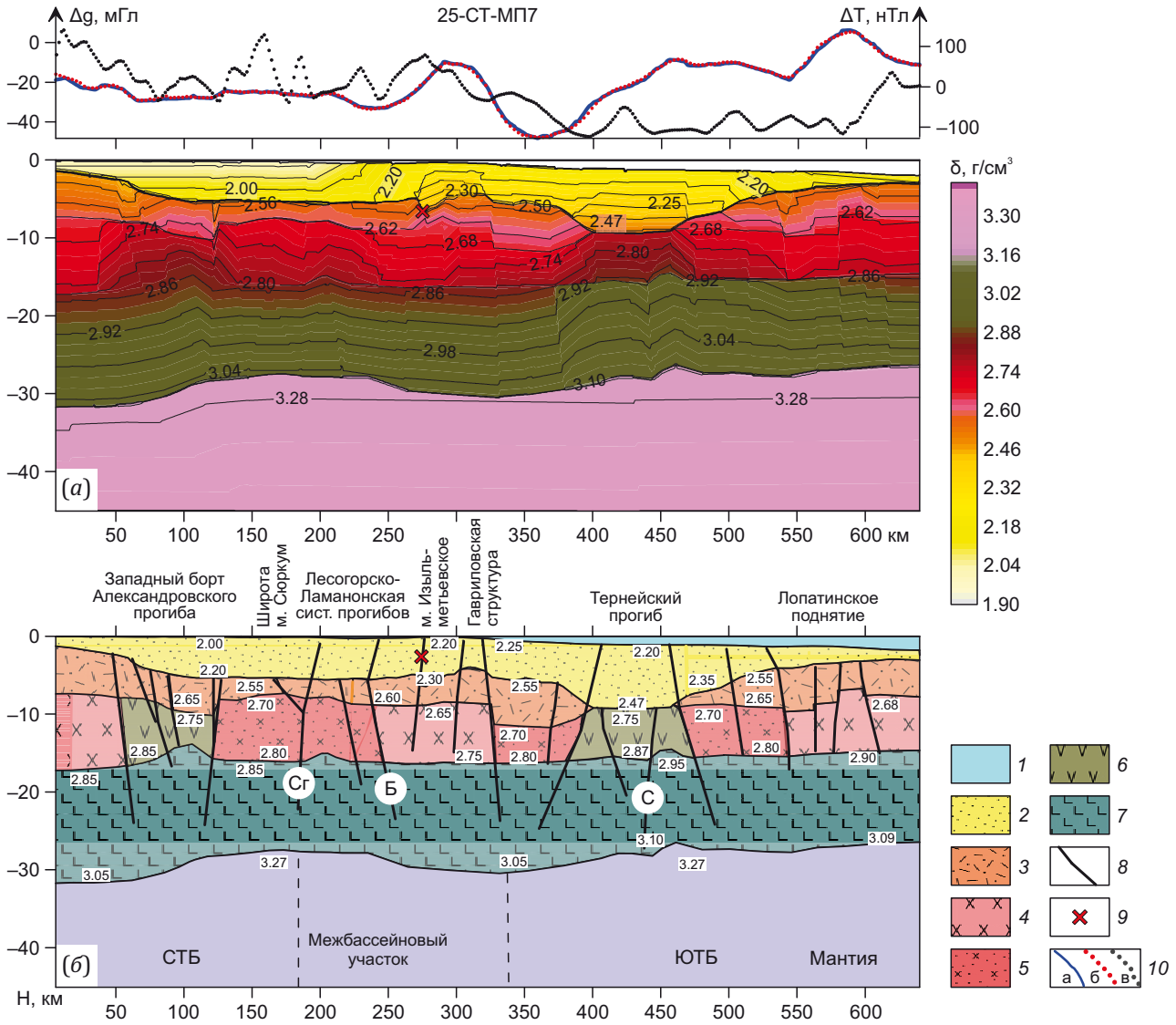


Рис. 5. Глубинное распределение плотности (а) и структурно-геологическая модель (б) по профилю структурно-плотностного моделирования 25-СТ-МП7.

1 – водный слой; 2 – осадочный слой (2.00–2.45 г/см³); 3 – вулканогенно-осадочный слой (2.50–2.65 г/см³); 4–6 – кристаллический фундамент: 4 – сиалический (2.65–2.75 г/см³), 5 – уплотненный сиалический фундамент (2.7–2.8 г/см³), 6 – базифицированный фундамент (2.75–2.87 г/см³); 7 – «базальтовый» слой (2.85–3.10 г/см³); 8 – разломы (Сг – Совгаваньский, Б – Бошняковский, С – Слепиковский (по [Kharakhinov, 2010])); 9 – локализация газового месторождения Изьльметьевское; 10 – графики аномальных геофизических полей: а – гравитационного наблюдаемого в свободном воздухе Δg, б – гравитационного расчетного Δg, в – магнитного ΔТ. Цифры на границах слоев – плотность (г/см³).

Fig. 5. Deep density distribution (а) and structural-geological model (б) along the structural-density modeling profile 25-CT-MP7. 1 – water layer; 2 – sedimentary layer (2.00–2.45 g/cm³); 3 – volcanogenic-sedimentary layer (2.50–2.65 g/cm³); 4–6 – crystalline basement: 4 – sialic (2.65–2.75 g/cm³), 5 – compacted sialic basement (2.7–2.8 g/cm³), 6 – basified basement (2.75–2.87 g/cm³); 7 – "basalt" layer (2.85–3.10 g/cm³); 8 – faults (Cr – Sovgavan, B – Boshnyakovsky, C – Slepikovsky (after [Kharakhinov, 2010])); 9 – localization of the Izylmeteyevskoye gas field; 10 – graphs of anomalous geophysical fields: а – free-air gravity field Δg, б – calculated gravity field Δg, в – magnetic field ΔТ. Numbers at the boundaries of the layers are densities (g/cm³).

На представленной карте (рис. 6, а) выявлен блок увеличенной мощности земной коры в межбассейновом участке между Южно-Татарским и Северо-Татарским бассейном. Здесь же отмечаются более низкие значения плотности в подошве фундамента (рис. 6, б), что может свидетельствовать о его более кислом составе, при этом в районе мыса Ламанон мощность коры достигает максимальных отметок (37 км), так же как и разуплотнение пород фундамента.

Выявлена зона сокращенной мощности коры, протягивающаяся в северо-западном направлении от Лесогорского выступа о. Сахалин и расширяющаяся при движении к мысу Сюркум, с образованием в приконтинентальной части области максимального сокращения земной коры до 25 км. Этой сокращенной зоной земная кора центральной и северной части о. Сахалин поделена на блоки, где мощность коры составляет более 37 км.

Также область сокращенной мощности земной коры (до 26 км) наблюдается в центральной части ЮТБ, куда она протягивается со стороны Японского моря. Как видно на карте (рис. 6, б), область максимальных значений плотности подошвы фундамента в центральной части ЮТБ связана с сокращением коры, при этом на юго-западе уплотненная кора наблюдается лишь в пределах узкого участка, примыкающего к континентальному склону. Эта особенность распределения плотности на южном замыкании структур ЮТБ была замечена нами ранее при описании профиля структурно-

плотностного моделирования МП5, опубликованного в работе [Proshkina et al., 2025]. Расположенное здесь Лопатинское поднятие, как уже было замечено выше, вероятно, в геологическом прошлом составляло единое целое с континентом. Рифтинговый процесс на ранних этапах становления Татарского трога (период раннего палеогена), протекающий в северо-восточном направлении из центральной части Японского моря, не привел к полной деструкции мощной континентальной коры в районе южной части Южно-Татарского бассейна, раздробив ее фундамент на отдельные блоки и частично заместив сиалический фундамент более основными породами. При этом северо-восточное направление рифтинга сменилось на «веерообразное», что привело к расколу земной коры в нескольких направлениях – от северо-восточного до субширотного в центральной части ЮТБ. Здесь интенсивный рифтинг протекал вплоть до четвертичного периода, что привело к максимальной переработке земной коры в этой части Татарского трога [Proshkina et al., 2025].

Участки уплотненной и относительно мощной коры, локализованные в Иссикари-Западно-Сахалинском бассейне, связаны со структурами вулканического происхождения, так же как и участки повышенной плотности на северо-западном шельфе о. Сахалин. Минимальной плотностью подошвы фундамента отличается Слепиковская разломная зона в ЮТБ, продолжаясь на юго-восток, она разделяет центральный и южный сегмент земной коры о. Сахалин.

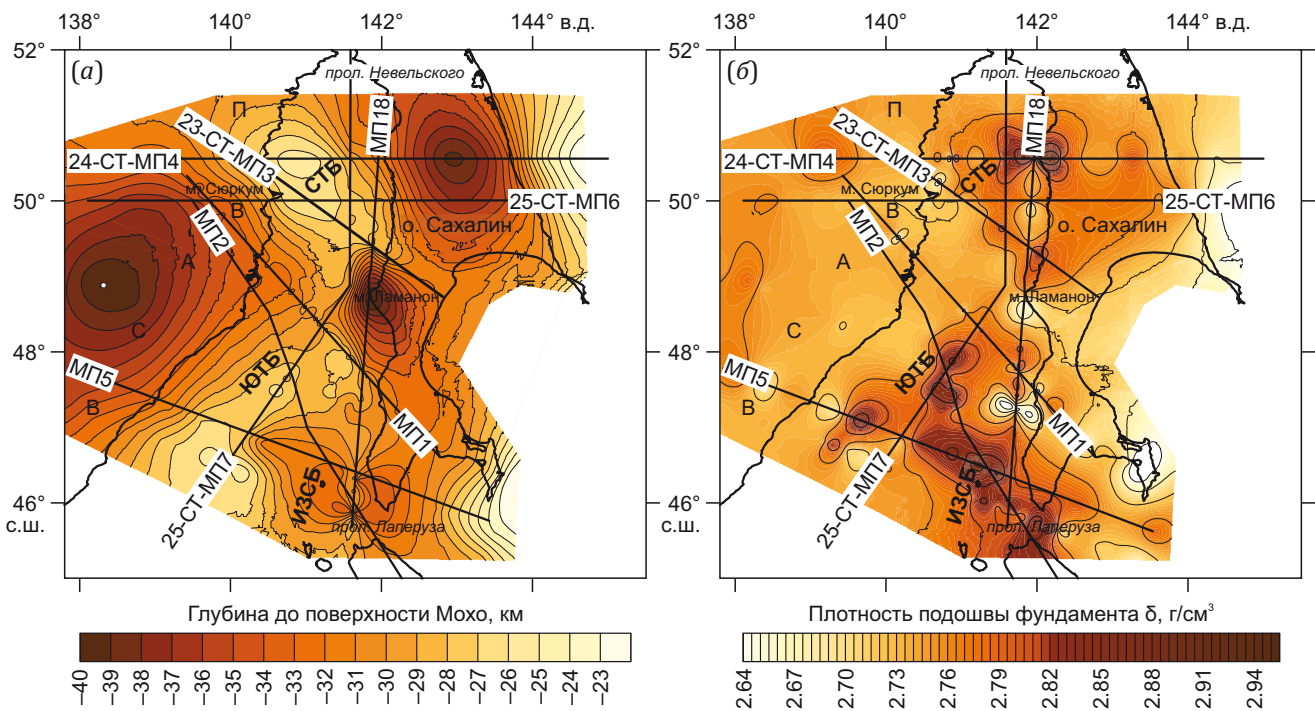


Рис. 6. Карты площадных расчетов с вынесенными профилями структурно-плотностного моделирования: (а) – глубины залегания поверхности Мохо, (б) – распределения плотности в подошвенной части фундамента. Сокращенные названия см. на рис. 1.

Fig. 6. Maps of areal calculations with plotted structural-density modeling profiles: (a) – depth of the Moho surface, (b) – density distribution in the bottom part of the basement. See Fig. 1 for the abbreviated names.

Таким образом было установлено, что земная кора о. Сахалин поделена на три блока: северный, центральный и южный, а не на два, как считалось ранее [Zharov et al., 2004]. Кроме того, между СТБ и ЮТБ существует межбассейновый блок, в котором присутствуют породы сиалического ряда, что свидетельствует о затухании процесса активного рифтогенеза в северном направлении; при этом в центральной части ЮТБ земная кора сокращена и сильно базифицирована. Севернее мыса Сюркум в приконтинентальной части наблюдается максимальное сокращение земной коры с участками локального повышения плотности в подошвенной части фундамента. Максимальное повышение плотности в СТБ отмечено под структурой Александровского прогиба, а также вдоль всей границы области сокращения земной коры, простирающейся от мыса Сюркум до Лесогорского выступа, где по результатам моделирования выявлены центры подводного вулканизма (см. рис. 5).

4. ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований были получены профили структурно-плотностного моделирования для Северо-Татарского бассейна (см. рис. 2, 3, 4), а также профиль, пересекающий СТБ и ЮТБ (см. рис. 5), что позволило проследить глубинное строение земной коры Татарского трога с юга на север. Интерпретация полученных результатов и сравнение с ранее рассчитанными моделями [Proshkina et al., 2023] показали, что вся центральная часть ЮТБ сложена корой преимущественно субокеанического типа, здесь отмечается ее сокращение и базификация, связанные с фазой активного рифтинга в период позднего неоген-четвертичного периода. Резкая смена глубинного строения наблюдается севернее мыса Сюркум, где в приконтинентальной части отмечается максимальное сокращение мощности земной коры и локальные участки повышенной плотности, протягивающиеся сюда со стороны Лесогорского узла о. Сахалин.

Согласно результатам моделирования и построению карты мощности земной коры можно предположить, что севернее мыса Сюркум наблюдается «зияние земной коры», которое может ассоциироваться с ее расколом и проникновением мантийного вещества к верхней коре, что может объяснять области повышенной плотности как в центральной части СТБ, так и в пределах утонченной коры, пересекающей СТБ от Сахалина до мыса Сюркум в северо-западном направлении.

По нашему мнению, севернее мыса Сюркум процесс формирования глубинной структуры шел изолированно, с участием мантийного вещества и геодинамических процессов в литосфере на ранних этапах формирования Татарского трога. Косвенным образом это подтверждают данные из работы [Martynov et al., 2019], где на примере слабо изученной позднемеловой Больбинской свиты Северного Сихотэ-Алиня исследована «природа позднемеловой латеральной зо-

нальности поясовой структуры Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Анализ опубликованной геологической информации, новые возрастные датировки, микроэлементные и изотопные данные свидетельствуют об ее формировании в несубдукционной геодинамической обстановке, предполагающей повышенную проницаемость погружающегося слэба и внедрение в надсубдукционную мантию «горячей» океанической астеносферы» [Martynov et al., 2019, с. 76]. Кроме того, изучена среднекайнозойская лавовая последовательность района оз. Кизи, характеризующая активность вулканических источников северной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Согласно этим данным «среднеэоценовый импульс и продолжительное позднеолигоценовое поступление магм связаны с подлитосферной конвектирующей мантией» [Rasskazov et al., 2010, с. 94].

Отдельного внимания заслуживает межбассейновый участок, сложенный корой континентального и субконтинентального типа, где выделяются блоки более плотного фундамента и вулканические центры, связанные с подъемом мантийных источников по ослабленным зонам разломов.

Полученные результаты структурно-плотностного моделирования, подчеркивающие особенности глубинного строения Северо-Татарского бассейна, косвенно подтверждаются геохимическими исследованиями [Martynov et al., 2019; Rasskazov et al., 2021].

Построенные карты глубины залегания поверхности Мохо (рис. 6, а) и распределения плотности в подошвенной части фундамента (рис. 6, б) показали, что между мысом Ламанон и мысом Сюркум существует блок коры увеличенной мощности с менее плотным фундаментом относительно Южно-Татарского и северной части Северо-Татарского бассейна. Из этого можно сделать вывод о существовании межбассейнового субконтинентального блока, где процесс рифтогенеза в значительной мере не проявился, но вызвал базификацию фундамента в центральной части блока. Надо отметить, что согласно данным газогеохимических исследований [Shakirov et al., 2019a, 2019b; Yatsuk et al., 2020] большая часть аномальных газопроявлений, а также единственное подтвержденное газовое месторождение – Изыльметьевское [Zharov et al., 2004] – связаны с выявленным межбассейновым субконтинентальным блоком.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что земная кора Северо-Татарского бассейна неоднородна: северная часть в значительной мере отличается от южной, где выявлен межбассейновый субконтинентальный блок с увеличенной мощностью и меньшей плотностью относительно Южно-Татарского бассейна и области севернее мыса Сюркум. Весьма вероятно, что земная кора севернее мыса Сюркум развивалась в изолированных от Южно-Татарского бассейна геодинамических условиях и основной этап ее формирования

связан с глубинными процессами в литосфере в позднемеловое время.

6. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность зав. лабораторией изотопии и геохронологии Института земной коры СО РАН д.г.-м.н С.В. Рассказову за проявленный интерес к работе, обсуждение и ценные советы, касающиеся дополнительных источников информации, используемых при интерпретации полученных данных.

7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

All authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

8. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Geological Map of the Pre-Quaternary Formations, 2017. Far Eastern Series. Scale of 1:1000000. Sheet M-54 (Aleksandrov-Sakhalinsky). VSEGEI, Saint-Petersburg, 1 sh. (in Russian) [Геологическая карта дочетвертичных образований. Серия Дальневосточная. Масштаб 1:1000000. Лист М-54 (Александров-Сахалинский). СПб.: ВСЕГЕИ, 2017. 1 л.].

Kharakhinov V.V., 2010. Oil-and-Gas Geology of the Sakhalin Region. Moscow, Nauchny Mir, 276 p. (in Russian) [Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинской области. М.: Научный мир, 2010. 276 с.].

Kolpashchikova T.N., 2007. Magnetic, Gravity and Some of Magnetic-and-Gravity-Derived Data Modeling Tool. Inventor's Certificate RF No. 200761354. Computer Programs. Data Bases. Integrated Circuit Topographies. Iss. 3. ROSPATENT, Moscow (in Russian) [Колпашчикова Т.Н. Программа моделирования магнитного, гравитационного полей и некоторых их производных: Авторское свидетельство РФ № 200761354 // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. Вып. 3. М.: РОСПАТЕНТ, 2007].

Lomtev V.L., Partikeev V.N., Senachin V.N., 2010. To the Structure of the Tatar Trough (Sea of Japan): New Approaches. Geology and Mineral Resources of World Ocean 3, 65–75 (in Russian) [Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н., Сеначин В.Н. К строению Татарского трога (Японское море): новые подходы // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010. № 3. С. 65–75].

Map of the Anomalous Magnetic Field of the USSR, 1966. Isolines (ΔT)a. Scale of 1:1000000. Sheets M-54, M-55, L-54. Main Department of Geodesy and Cartography, Moscow (in Russian) [Карта аномального магнитного поля СССР.

Изолинии (ΔT)а. Масштаб 1:1000000. Листы М-54, М-55, L-54. М.: ГУГК, 1966].

Martynov A.Yu., Golozubov V.V., Martynov Yu.A., Kasatkin S.A., 2019. Lateral Zonality of the East Sikhote-Alin Volcanic Belt: Geodynamic Regime in the Late Cretaceous. Russian Journal of Pacific Geology 13 (3), 265–282. <https://doi.org/10.1134/S1819714019030060>.

Proshkina Z.N., Valitov M.G., Sigeev I.A., 2024. Structural-Density Model of the Earth's Crust Within the Sakhalin Western Shelf and Its Geological Interpretation. Russian Journal of Pacific Geology 18 (4), 373–382. <https://doi.org/10.1134/S1819714024700106>.

Proshkina Z.N., Valitov M.G., Sigeev I.A., 2025. Deep Structure and Sources of a Magnetic Anomaly in the South Tatar Basin (Tatar Strait, Sea of Japan). Russian Journal of Pacific Geology 19 (1), S60–S69. <https://doi.org/10.1134/S1819714025700162>.

Proshkina Z.N., Valitov M.G., Telegin Yu.A., Li N.S., Kolpashchikova T.N., Tsovbun N.M., 2023. The Deep Crustal Structure in the Southern Part of the Tatar Trough and the Distribution of Gas-Geochemical Anomalies. Russian Journal of Pacific Geology 17 (2), 134–146. <https://doi.org/10.1134/S1819714023020057>.

Rasskazov S.V., Melnikov O.A., Rybin A.V., Guryanov V.A., Yasnygina T.A., Brandt I.S., Brandt S.B., Saranina E.V., Maslovskaya M.N., Fefelov N.N., Zharov A.E., 2005. The Spatial Change of Deep Sources of Cenozoic Volcanic Rocks on the Western Coast of South Sakhalin. Russian Journal of Pacific Geology 24 (2), 10–32 (in Russian) [Рассказов С.В., Мельников О.А., Рыбин А.В., Гурьянов В.А., Ясныгина Т.А., Брандт И.С., Брандт С.Б., Саранина Е.В., Масловская М.Н., Фефелов Н.Н., Жаров А.Э. Пространственная смена глубинных источников кайнозойских вулканических пород западного побережья Южного Сахалина // Тихоокеанская геология. 2005. Т. 24. № 2. С. 10–32].

Rasskazov S.V., Prikhod'ko V.S., Yasnygina T.A., Fefelov N.N., Saranina E.V., Voinova I.P., Brandt S.B., 2010. Mantle Sources of the Cenozoic Volcanic Rocks of the Lake Kizi Region in the Eastern Sikhote Alin. Russian Journal of Pacific Geology 4 (5), 441–459. <https://doi.org/10.1134/S1819714010050076>.

Rasskazov S.V., Rybin A.V., Degterev A.V., Chuvashova I.S., Yasnygina T.A., Saranina E.V., 2021. Pliocene Adakite-Like Accent of Andesites and Dacites from the Orlov Volcanic Field (Sakhalin Island). Geosystems of Transition Zones 5 (3), 255–274 (in Russian) [Рассказов С.В., Рыбин А.В., Дегтерев А.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А., Саранина Е.В. Плиоценовый адакитоподобный акцент андезитов и дацитов на Орловском вулканическом поле (о. Сахалин) // Геосистемы переходных зон. 2021. Т. 5. № 3. С. 255–274]. <https://doi.org/10.30730/grtz.2021.5.3.255-274>.

Rodnikov A.G., Zabarinskaya L.P., Piip V.B., Rashidov V.A., Sergeeva N.A., Filatova N.I., 2005. The Okhotsk Sea Geotraverse. Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences 5, 45–58 (in Russian) [Родников А.Г., Забаринская Л.П., Пийп В.Б., Рашидов В.А., Сергеева Н.А., Филатова Н.И. Геотраверс

региона Охотского моря // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. № 5. С. 45–58].

Shakirov R.B., Obzhairov A.I., Shakirova M.V., Maltseva E.V., 2019a. About Gas Hydrates of East Asian Marginal Seas: Patterns of Genesis and Distribution (Review). *Geosystems of Transition Zones* 3 (1), 65–106 (in Russian) [Шакиров Р.Б., Обжиров А.И., Шакирова М.В., Мальцева Е.В. О газогидратах окраинных морей Восточной Азии: закономерности генезиса и распространения (обзор) // Геосистемы переходных зон. 2019. Т. 3. № 1. С. 65–106]. <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.1.065-106>.

Shakirov R.B., Valitov M.G., Obzhairov A.I., Mishukov V.F., Yatsuk A.V., Syrbu N.S., Mishukova O.V., 2019b. Methane Anomalies, Its Flux on the Sea – Atmosphere Interface and Their Relations to the Geological Structure of the South-Tatar Sedimentary Basin (Tatar Strait, the Sea of Japan). *Marine Geophysical Researches* 40 (4), 581–600. <https://doi.org/10.1007/s11001-019-09389-3>.

Valitov M.G., Shakirov R.B., Yatsuk A.V., Aksentov K.I., Proshkina Z.N., Belous O.V., Mishukova G.I., 2019. Integrated Geological and Geophysical Expedition Aboard the R/V Akademik Oparin to the Tatar Strait, Sea of Japan (Cruise 54, 2017). *Oceanology* 59 (2), 283–286. <https://doi.org/10.1134/S0001437019020188>.

Yatsuk A., Shakirov R., Gresov A., Obzhairov A., 2020. Hydrocarbon Gases in Seafloor Sediments of the TATAR Strait, the Northern Sea of Japan. *Geo-Marine Letters* 40 (4), 481–490. <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00628-5>.

Zharov A.E., 2002. Rifting System of the Tatar Strait and Its Importance for the Prediction of Oil and Gas Presence

in the West Sakhalin. In: *Mineral Resource Development in the Sakhalin Region*. Yuzhno-Sakhalinsk, p. 28–34 (in Russian) [Жаров А.Э. Рифтогенная система Татарского пролива и ее значение для прогноза нефтегазоносности Западного Сахалина // Проблемы развития и освоения минерально-сырьевой базы Сахалинской области. Южно-Сахалинск, 2002. С. 28–34].

Zharov A.E., Kirillova G.L., Margulis L.S., Chuiko L.S., Kudelkin V.V., Varnavsky V.G., Gagaev V.N., 2004. *Geology, Geodynamics and Petroliferous Potential of Sedimentary Basins of the Tatar Strait*. FEB RAS, Vladivostok, 220 p. (in Russian) [Жаров А.Э., Кириллова Г.Л., Маргулис Л.С., Чуйко Л.С., Куделькин В.В., Варнавский В.Г., Гагаев В.Н. Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива. Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 2004. 220 с.].

Zlobin T.K., Yershov V.V., Polets A.Yu., 2012. *Crustal Structure, Tectonic Stress Field and Mud Volcanism in the Sakhalin-Kuril Region*. Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, 176 p. (in Russian) [Злобин Т.К., Ершов В.В., Полец А.Ю. Строение земной коры, поле тектонических напряжений и грязевой вулканизм Сахалино-Курильского региона. Южно-Сахалинск: Сахалинский государственный университет, 2012. 176 с.].

Zverev S.M., Tulina Yu.V., 1971. *Deep Seismic Sounding of the Earth's Crust in the Sakhalin-Hokkaido-Primorye Zone*. Nauka, Moscow, 285 p. (in Russian) [Зверев С.М., Тулина Ю.В. Глубинное сейсмическое зондирование земной коры Сахалино-Хоккайдо-Приморской зоны. М.: Наука, 1971. 285 с.].