



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМОПЛОТНОСТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ И ВЕРХАХ МАНТИИ ЗАБАЙКАЛЬЯ И ПРИБАЙКАЛЬЯ (ПРОФИЛЬ 1-СБ)

Елена Александровна Мельник^{1,✉}, Владимир Дмитриевич Суворов², Евгений Владимирович Павлов³

^{1,2,3}Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,

¹MelnikEA@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6509-623X>

²SuvorovVD@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1724-3095>

³PavlovEV@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3064-6879>

Аннотация. На основе комплексной интерпретации сейсмических и гравитационных данных по профилю 1-СБ рассмотрен параметр взвешенной плотности для различных уровней земной коры Забайкалья, Прибайкалья, а также Сибирской платформы. Характер распределения взвешенной плотности в земной коре подчеркивает различие геодинамической природы этих районов. Для складчатых областей, в отличие от Сибирской платформы, наблюдается повышенная контрастность изменения взвешенной плотности в верхнем слое консолидированной коры и в слое верхней мантии.

Ключевые слова: земная кора, скорость, плотность, Забайкалье, Прибайкалье, Сибирская платформа

Финансирование: работа была выполнена в рамках государственного задания FWZZ-2022-0021 «Региональные особенности структуры земной коры и верхов мантии платформенных и складчатых областей Сибири, их напряженно-деформированное состояние по данным сейсмологии, гравиметрии и геомеханики».

Для цитирования: Мельник Е.А., Суворов В.Д., Павлов Е.В. Распределение сейсмоплотностных неоднородностей в земной коре и верхах мантии Забайкалья и Прибайкалья (профиль 1-СБ) // Геофизические технологии. 2025. № 4. С. 4–11. doi:10.18303/2619-1563-2025-4-4.

DISTRIBUTION OF SEISMIC AND DENSITY HETEROGENEITIES IN THE CRUST AND UPPER MANTLE OF TRANSBAIKALIA AND BAIKAL REGION (PROFILE 1-SB)

Elena A. Melnik^{1,✉}, Vladimir D. Suvorov², Evgeny V. Pavlov³

^{1,2,3}Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Koptuyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,

¹MelnikEA@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6509-623X>

²SuvorovVD@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1724-3095>

³PavlovEV@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3064-6879>

Abstract. Based on the complex interpretation of seismic and gravity data along profile 1-SB, the parameter of weighted density was considered for different levels of the crust in Transbaikalia, Baikal region, and the Siberian Platform. The character of the distribution of weighted density in the crust emphasizes differences in the geodynamic essence of these areas. For folded regions, unlike the Siberian Platform, there is a higher contrast in the variation of weighted density in the upper layer of the consolidated crust and in the upper mantle layer.

Keywords: Earth's crust, velocity, density, Transbaikalia, Baikal region, Siberian Platform

Funding: The study was carried out within the framework of the project No. FWZZ-2022-0021 "Regional structure features of the Earth's crust and upper mantle of platform and folded areas of Siberia, their stress-strain state according to seismological, gravimetric and geomechanical data.

For citation: Melnik E.A., Suvorov V.D., Pavlov E.V. Distribution of seismic and density heterogeneities in the crust and upper mantle of Transbaikalia and Baikal region (profile 1-SB) // Russian Journal of Geophysical Technologies. 2025. No. 4. P. 4–11. (In Russ.). doi:10.18303/2619-1563-2025-4-4.

ВВЕДЕНИЕ

Рассматриваются региональные характеристики земной коры и верхов мантии по результатам обработки сейсмоплотностных данных на профиле 1-СБ, пересекающего Забайкальскую и Прибайкальскую части Центрально-Азиатского складчатого пояса [Сержантов и др., 2013; Кашубин и др., 2016].

Сейсмическая модель земной коры и верхов мантии получена по данным лучевого моделирования [Zelt, 1999; Мельник, Суворов, 2018] (рис. 1.). Особой характеристикой кристаллической коры Забайкалья и Прибайкалья в целом является пониженные значения средней скорости 6.2–6.4 км/с по сравнению с 6.4–6.5 км/с на Сибирской платформе, в нижней коре которой присутствует слой с повышенной до 6.7–6.9 км/с скоростью [Суворов, Мельник, 2021].

Мезокайнозойские осадочные отложения распространены чаще всего в зонах глубинных разломов и в протяженных прогибах в пределах Монголо-Забайкальской (0–180 км) и Муйской рифтогенной впадин с мощностью до 3 км. Осадочный чехол Сибирской платформы в районе Ангаро-Ленской моноклинали характеризуется двухслойным прогибом, в верхней части которого залегают породы со скоростью около 3.8 км/с и более мощного второго слоя (5–8 км), заполненного отложениями, характеризующимися скоростями 5.3–5.9 км/с. В целом мощность осадочной толщи может достигать 7–8 км.

На глубине 10–18 км частично удалось проследить кровлю средней коры с граничной скоростью 6.3 км/с. Граница образует пологий подъем протяженностью около 200 км с апикальной частью на глубине около 10 км в окрестности Монголо-Охотского разлома (250–450 км профиля) и под Селенгино-Яблонево́й складчатой системой (650–900 км).

Кровля нижней коры, где скорость продольных волн скачком изменяется от 6.35 до 6.6 км/с, залегают под Монголо-Забайкальской складчатой системой на глубине 20–23 км и погружается в зоне Монголо-Охотского разлома, образуя локальный прогиб (220–450 км профиля), заполненный линзообразной неоднородностью, со скоростью 6.45–6.5 км/с. Далее к северу под Селенгино-Становой складчатой областью (450–970 км) отмечается пологое поднятие внутрикоровой границы до глубины 20 км с амплитудой около 10 км. Скорость 6.6–6.7 км/с в нижней коре вдоль всего профиля остается практически постоянной.

При столь контрастных структурах верхней коры отмечается довольно пологий рельеф Мохо, залегающий на глубинах от 39–40 км на участке профиля 0–600 км до 45–47 км под Байкальской складчатой областью. Под Сибирской платформой глубина Мохо уменьшается до 40–42 км. Скорость на Мохо изменяется от 7.9 до 8.5 км/с в пределах блоков с размерами от 100 до 200 км. Наибольшие значения характерны для Монголо-Забайкальской складчатой системы, а наименьшие для Байкальской складчатой области.

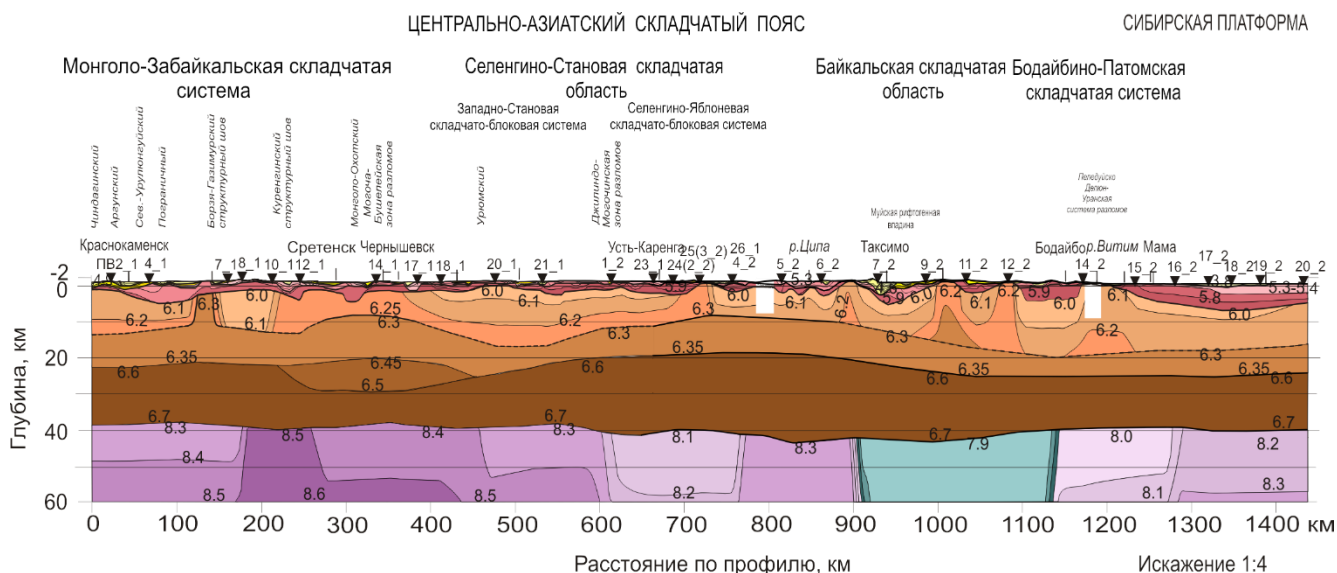


Рис. 1. Сейсмический разрез земной коры [Мельник, Суворов, 2018]. Толстые линии – границы со скачком скорости или с изменениями ее градиента в слоях, тонкие – изолинии в км/с. Структурно-тектонические единицы соответствуют тектонической карте М 1:1 000 000, листы М-50, N-50, O-49, O-50 (интернет-ресурс [ftp://ftp.vsegei.ru](http://ftp.vsegei.ru)).

СЕЙСМОПЛОТНОСТНАЯ СТРУКТУРА ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХОВ МАНТИИ

Для изучения распределения плотности в земной коре и условном слое верхов мантии (подошва на глубине 60 км) использованы спутниковые цифровые модели рельефа DNSCO8 и гравитационного поля в аномалиях Буге WGM2012. Разделение гравитационного влияния земной коры и верхней мантии проведено осреднением поля аномалий Буге в радиусе 125 км, отнесенное к влиянию мантийных плотностных неоднородностей. Также использовался сглаженный в круге такого же радиуса рельеф дневной поверхности (рис. 2).

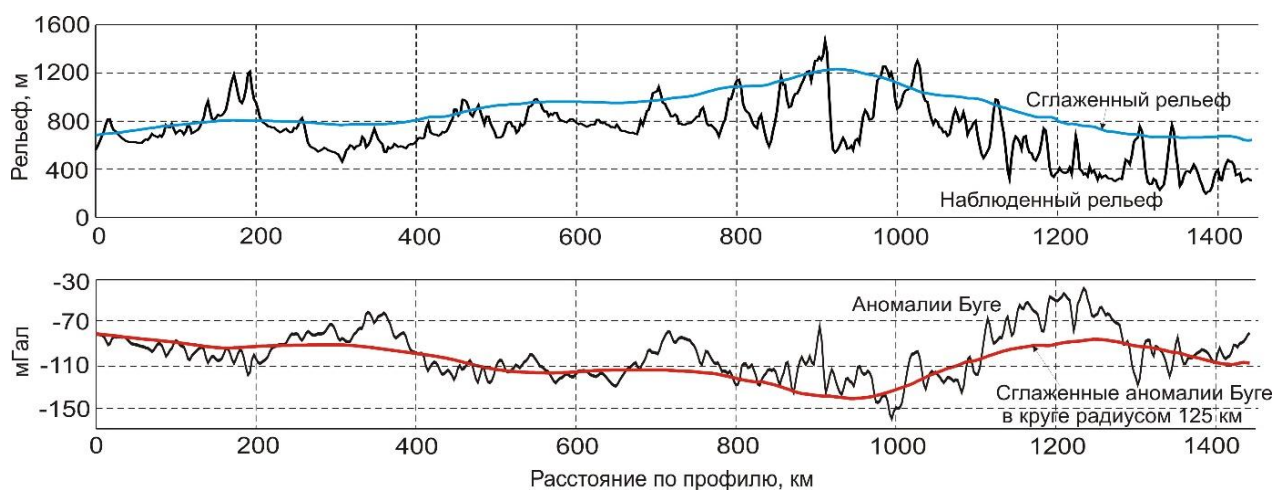


Рис. 2. Наблюдаемые и сглаженные в круге радиусом 125 км рельеф дневной поверхности (вверху) и гравитационное поле в аномалиях Буге (внизу).

Наблюдаемая уверенная корреляционная связь между сглаженными рельефом и гравитационным полем описывается соотношением $h = -8.3256g + 16.83$ при $R^2 = 0.9463$ (h – рельеф в метрах, g – аномалии Буге, мГал), что свидетельствует об изостатическом состоянии литосферы в модели Эйри–

Хейсканена. Остаточные аномалии Буге в виде разности между полным аномальным полем и сглаженным можно отнести к влиянию плотностных неоднородностей коры.

Плотностная модель для гравитационного моделирования сформирована на основе сейсмической структурно-скоростной модели коры (см. рис. 1). Для расчета стартовых значений фоновой плотности в каждом слое использована корреляционная зависимость скорость–плотность по [Brocher, 2005], при этом ее значения для каждого слоя определены средней величиной. Далее проведен итерационный подбор значений плотности в земной коре, соответствующих остаточным аномалиям Буге по программе ADG-3D [Кочнев и др., 2011]. Результат характеризуется среднеквадратическим расхождением между модельными и экспериментальными значениями поля, не превышающими 2 мГал. Финальный шаг заключался в подборе плотности в верхах мантии (слой с подошвой под Мохо на глубине 60 км) по полному полю в аномалиях Буге с учетом распределения плотности в земной коре (рис. 3).

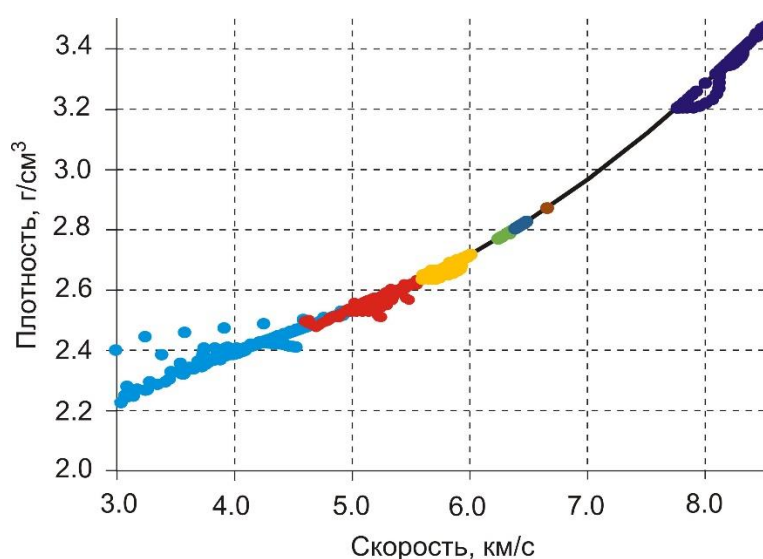


Рис. 3. Послойная корреляция скорость–плотность в земной коре и верхах мантии (сплошной линией показано изменение плотности по [Brocher, 2005], цветом плотность в слоях).

Как видно из рис. 3, слои коры характеризуются значительной латеральной плотностной неоднородностью при общей тенденции увеличения плотности и скорости с глубиной. Наиболее заметно отличающиеся пониженными значениями плотности от корреляции по [Brocher, 2005] наблюдаются для скорости на Мохо. Выделяются четыре блока верхней мантии на участках профиля 0–450, 450–900, 900–1150 и 1150–1420 км со значениями скорости 8.4, 8.2–8.3, 7.9 и 8.1 км/с соответственно, которые в целом отражают крупную блоковость коры (см. рис. 1).

Расчеты изменений плотности в коре по данным остаточных аномалий Буге (разность между аномалиями Буге и их сглаженными значениями, согласованные с сейсмической структурой коры по данным ГСЗ (см. рис. 1), выполнялись по программе [Кочнев и др., 2011]. Результаты представлены на рис. 4, где показан плотностной разрез и послойное изменение плотности. Наблюдаются заметные латеральные изменения плотности в верхней коре с контрастностью, уменьшающейся с глубиной. Нижняя кора характеризуется практически постоянной плотностью. Ее значительные латеральные изменения наблюдаются в мантийной части разреза (слой под Мохо с подошвой на глубине 60 км). Особо контрастное уменьшение плотности в верхах мантии присутствует на интервале профиля 900–1120 км.

В целом разрез кристаллической земной коры представлен трехслойной моделью, исключением является Монголо-Охотская и Могоча-Бушулейская зоны разломов, где в низах средней коры присутствует высокоскоростная линза. Наиболее контрастные изменения плотности наблюдаются в верхней части чехла, где локальные уменьшения плотности от 2.4 до 2.1 г/см³ коррелируют с Монголо-Охотской зоной разломов. Также наиболее контрастные изменения плотности характерны для верхов мантии, где уменьшение плотности от 3.4 до 3.2 г/см³ на участке профиля 900–1100 км, относящегося к Байкальской складчатой области, в целом коррелирует с блоком в верхах мантии со скоростью 7.9–8.0 км/с (рис. 4). В слоях земной коры латеральные изменения плотности значительно меньше, чем в верхней мантии, за исключением слоя верхней коры, где плотность изменяется от 2.4 до 2.55 г/см³.

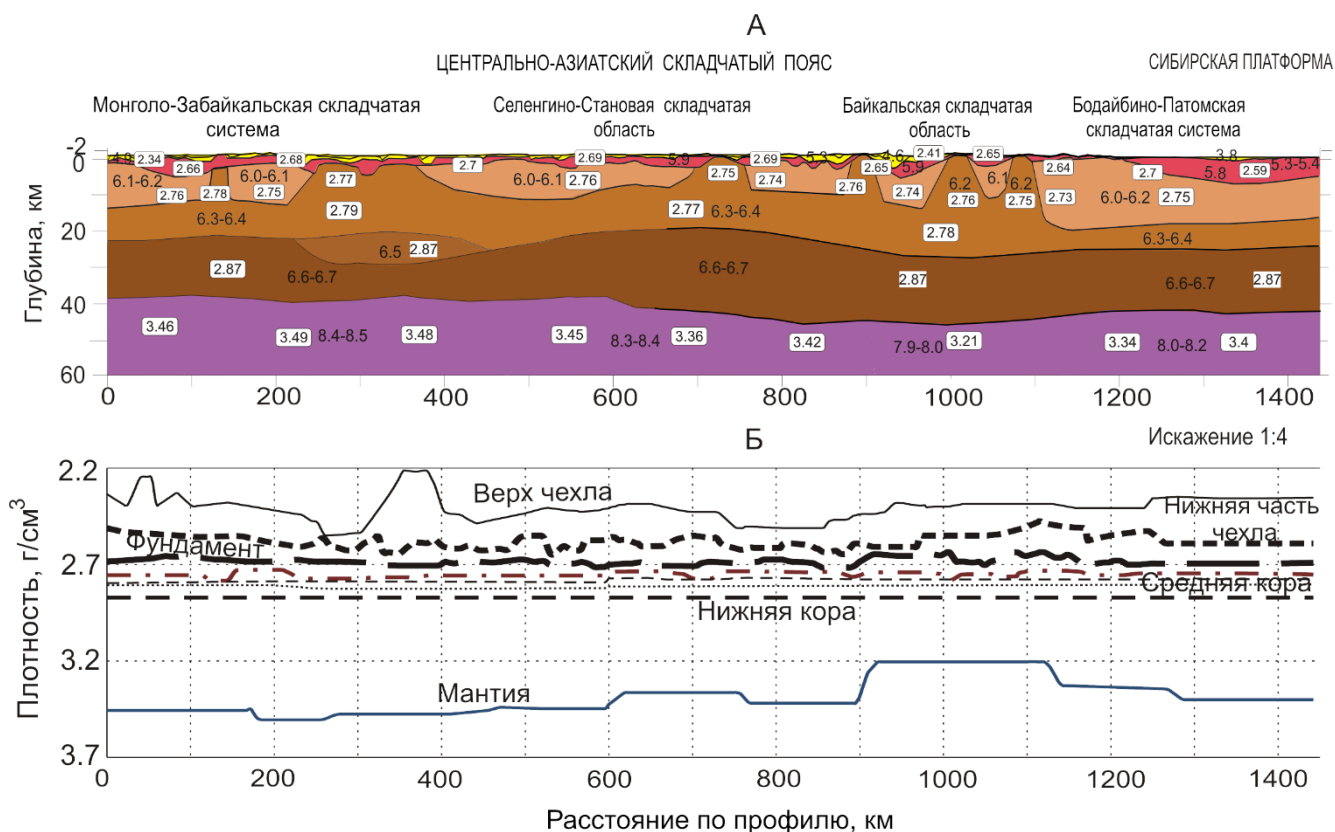


Рис. 4. Плотностной разрез (А) и изменения плотности в слоях земной коры и верхах мантии (Б).

Для учета влияния латеральных изменений переменной мощности слоев на вариации обобщенной плотности можно использовать взвешенную послойную величину $R_o = \sum h_i \rho_i / \sum h_i$, где подстрочный знак i соответствует порядковому номеру слоя [Суворов и др., 2022]. Полученные результаты представлены на рис. 5. Хорошо видна корреляция взвешенной плотности для различных уровней суммирования. В первую очередь, можно районировать Сибирскую платформу, где значения взвешенной плотности не так контрастны. Для Монголо-Охотской и Селенгино-Становой складчатых областей повышенная контрастность изменения взвешенной плотности наблюдается в верхнем слое консолидированной коры, который можно отнести к толще кристаллического фундамента и в слое верхней мантии, ограниченном границей Мохо на глубине 40 км. Для средней коры и для коры в целом таких контрастных изменения не выявлено.

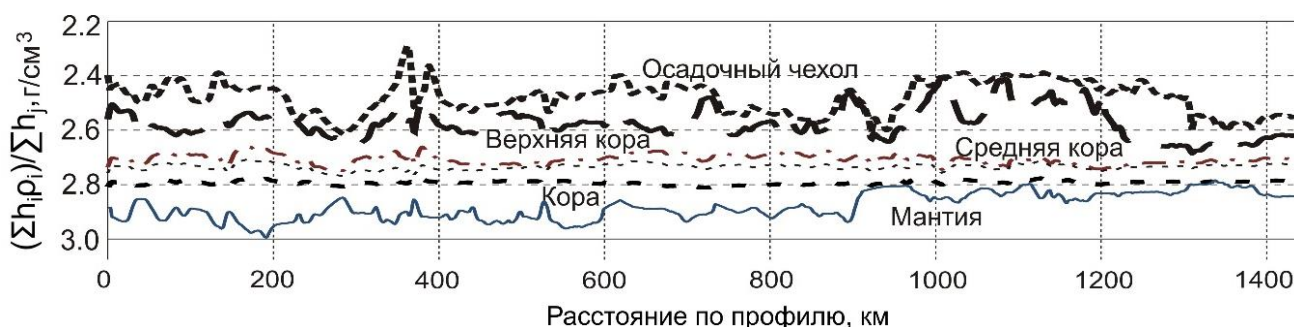


Рис. 5. Распределение взвешенной плотности в слоях земной коры и совместно со слоем в верхах мантии. Подписи на изолиниях соответствуют подошве слоев при значениях взвешенной плотности, относящиеся к покрывающей толще коры.

Это может быть геофизическим признаком того, что стадии тектонического развития и локализация деформаций в складчатых системах Центрально-Азиатского складчатого пояса концентрировалась в ослабленных зонах фундамента (швы, разломы, аккреционные клинья), а внутрикоровые массивы могли оставаться относительно неглубоко вовлеченными, особенно если движение пластов и надвигов происходит поверх фундамента. Таким образом, выделяются две границы, наиболее неоднородные по латеральным изменениям плотности и ее взвешенных значений, маркирующих кровлю коры и мантии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Земная кора Забайкалья и Прибайкалья отличается пониженными значениями средней скорости 6.2–6.4 км/с в сравнении с 6.4–6.5 км/с на Сибирской платформе при отсутствии слоя (характерен для Сибирского кратона) с повышенной до 6.7–6.9 км/с скоростью в ее нижней части [Суворов, Мельник, 2021].

Мощность коры изменяется в интервале 39–42 км при значительных вариациях скорости на Мохо от 7.9 до 8.3 км/с, где наименьшие значения характерны для Байкальской складчатой области. Природа других вариаций скорости пока не вполне понятна.

Характер распределения значений плотности в земной коре значительно дополняет возможность изучения природы глубинных сейсмических неоднородностей. Повышенная контрастность изменения взвешенной плотности наблюдается в верхнем слое консолидированной коры, который можно отнести к толще кристаллического фундамента и в слое верхней мантии, ограниченном границей Мохо и глубиной 60 км. Существуют две границы, наиболее неоднородные по латеральным изменениям плотности и ее взвешенным значениям, маркирующих кровлю коры и мантии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Кашубин С.Н., Мильштейн Е.Д., Винокуров И.Ю., Эринчек Ю.М., Сержантов Р.Б., Татарин В.Ю. Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин – основа глубинного 3D-картографирования территории Российской Федерации и ее континентального шельфа // Региональная геология и металлогения. 2016. № 67. С. 43–48. EDN:YJYCYB.
- Кочнев В.А., Васильев Д.В., Сидоров В.Ю. Пакет для решения прямых и обратных трехмерных задач гравиметрии ADG-3D // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. 2011. № 2011611667.

Мельник Е.А., Суворов В.Д. Восстановление структуры земной коры Забайкалья по данным глубинных сейсмических исследований // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 12, 2 (78). С. 92–97. doi:10.23670/IRJ.2018.78.12.054. EDN:YSUKKT.

Сержантов Р.Б., Кашубин С.Н., Эринчек Ю.М., Татаринов В.Ю., Мильштейн Е.Д. Глубинное геолого-геофизическое изучение недр России: Современное состояние и основные задачи // Региональная геология и металлогения. 2013. № 53. С. 26–31. EDN:RFSBJJ.

Суворов В.Д., Мельник Е.А. Сейсмическая модель зоны сочленения Сибирского кратона и Верхояно-Колымской складчатой системы (опорный профиль 3-ДВ) // Физика Земли. 2021. № 6. С. 52–67. doi:10.31857/S0002333721060107. EDN:XNOUZM.

Суворов В.Д., Павлов Е.В., Мельник Е.А. Сейсмоплотностные признаки мезозойской складчатости в земной коре восточной пассивной окраины Сибирского кратона (профиль 3ДВ) // Геофизические технологии. 2022. № 1. С. 110–117. doi:10.18303/2619-1563-2022-1-110. EDN:LUGPLD.

Brocher T.M. Empirical relations between elastic wavespeeds and density in the Earth's crust // Bulletin of the Seismological Society of America. 2005. Vol. 95 (6). P. 2081–2092. doi:10.1785/0120050077.

Zelt C.A. Modelling strategies and model assessment for wide-angle seismic travelttime data // Geophysical Journal International. 1999. Vol. 139 (1). P. 183–204. doi:10.1046/j.1365-246X.1999.00934.x.

REFERENCES

Brocher T.M. Empirical relations between elastic wavespeeds and density in the Earth's crust // Bulletin of the Seismological Society of America. 2005. Vol. 95 (6). P. 2081–2092. doi:10.1785/0120050077.

Kashubin S.N., Milshtein E.D., Vinokurov I.Yu., Erinchek Yu.V., Serzhantov R.B., Tatarinov V.Yu. State network of geotransects and superdeep wells – the basis for 3D deep mapping of the Russian Federation and its continental shelf // Regional Geology and Metallogeny. 2016. No. 67. P. 43–48. (In Russ.).

Kochnev V.A., Vasiliev D.V., Sidorov V.Yu. Package for solving direct and inverse three-dimensional gravimetry problems ADG-3D // Certificate of state registration of a computer program. 2011. No. 2011611667. (In Russ.).

Melnik E.A., Suvorov V.D. Restoration of structure of Earth crust of Transbaikal based on data of in-depth seismic researches // International Research Journal. 2018. № 12, 2 (78). P. 92–97. (In Russ.). doi:10.23670/IRJ.2018.78.12.054.

Serzhantov R.B., Kashubin S.N., Erinchek Yu.M., Tatarinov V.Yu., Milshtein E.D. Deep geological and geophysical study of the subsoil of Russia: Current state and main tasks // Regional Geology and Metallogeny. 2013. No. 53. P. 26–31. (In Russ.).

Suvorov V.D., Melnik E.A. Transition zone from the Siberian craton to the Verkhoyansk-Kolyma Folded System according to seismic data (reference 3-DV profile) // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. 2021. Vol. 57 (6). P. 864–877. doi:10.1134/S1069351321060100. EDN: GXLVYL.

Suvorov V.D., Pavlov E.V., Melnik E.A. Seismic and density signs of Mesozoic folding in the Earth's crust of the eastern passive margin of the Siberian craton (profile 3DV) // Russian Journal of Geophysical Technologies. 2022. No. 1. P. 110–117. (In Russ.). doi:10.18303/2619-1563-2022-1-110.

Zelt C.A. Modelling strategies and model assessment for wide-angle seismic travelttime data // Geophysical Journal International. 1999. Vol. 139 (1). P. 183–204. doi:10.1046/j.1365-246X.1999.00934.x.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

МЕЛЬНИК Елена Александровна – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности, ведущий научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Основные научные интересы: региональное изучение земной коры и верхней мантии платформенных и складчатых областей Сибири методами активной сейсмологии.

СУВОРОВ Владимир Дмитриевич – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Основные научные интересы: развитие методики обнаружения и описания закономерностей распределения сейсмоплотностных и геомеханических параметров, определяющих структурообразование в земной коре.

ПАВЛОВ Евгений Владимирович – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Основные научные интересы: интерпретация гравитационных аномалий в приложении к задачам тектонического районирования и разведки полезных ископаемых.

*Статья поступила в редакцию 29 декабря 2025 г.,
одобрена после рецензирования 12 февраля 2026 г.,
принята к публикации 12 февраля 2026 г.*