

Е. В. Цибизова^{1}, И. В. Медведь^{2,1}, И. П. Габсатарова³*

Сейсмическая структура земной коры Кавказа по данным локальной томографии

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

³ ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», г. Обнинск, Российская Федерация

* e-mail: tsibizovaev@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Работа посвящена исследованию Кавказских гор методом сейсмической томографии. Используются данные ФИЦ ЕГС РАН о времени прихода сейсмических волн от 5 028 землетрясений, зарегистрированных 190 станциями в период с 1991 по 1999 и с 2015 по 2020 годы. Инверсия реализована в программе локальной сейсмической томографии LOTOS [1], в результате чего были получены аномалии скоростей сейсмических волн. Исследована достоверность результатов сейсмической томографии с помощью нескольких тестов, включая использование синтетических данных и инверсию двух независимых поднаборов реальных данных. Результаты показывают крупные тектонические единицы и аномалии скорости сейсмических волн на различных глубинах. Однако, интерпретация распределения аномалий под областями вулканизма остается сложной из-за неоднозначности данных. Расширение набора данных позволит более детально исследовать сейсмическую структуру района и точнее интерпретировать результаты.

Ключевые слова: сейсмическая томография, Кавказ, коллизия, вулканизм, кора, мантия

E. V. Tsibizova^{1}, I. V. Medved^{2,1}, I. P. Gabsatarova³*

Seismic Structure of the Earth's Crust beneath the Caucasus According to Local Tomography Data

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

³ Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, Russian Federation

* e-mail: tsibizovaev@ipgg.sbras.ru

Abstract. The work is devoted to the study of the Caucasus Mountains using seismic tomography. Data on the arrival time of seismic waves from 5,028 earthquakes, recorded by 190 stations from 1991 to 1999 and from 2015 to 2020 are given by Geophysical Survey of RAS. Inversion was implemented using the local seismic tomography program LOTOS [1], resulting in anomalies of seismic wave velocities. The reliability of the seismic tomography results was investigated using several tests, including the use of synthetic data and inversion of two independent subsets of real data. The results show large tectonic units and anomalies of seismic wave velocity at different depths. However, the interpretation of the distribution of anomalies beneath volcanic areas remains difficult due to the ambiguity of the data. Expanding the dataset will allow for a more detailed exploration of the seismic structure of the region and a more precise interpretation of the results.

Keywords: seismic tomography, Caucasus, collision, volcanism, crust, mantle

Введение

Кавказские горы – это уникальный регион, расположенный в крупнейшем складчатом поясе в мире, Альпийско-Гималайском. Они ограничены с запада Черным морем, а с востока – Каспийским (рис. 1). Коллизионная зона, возникшая в результате столкновения Аравийской и Евразийской тектонических плит, характеризуется продолжающимися тектоническими процессами и высокой сейсмической активностью. Это делает район благоприятным для исследования методом сейсмической томографии.

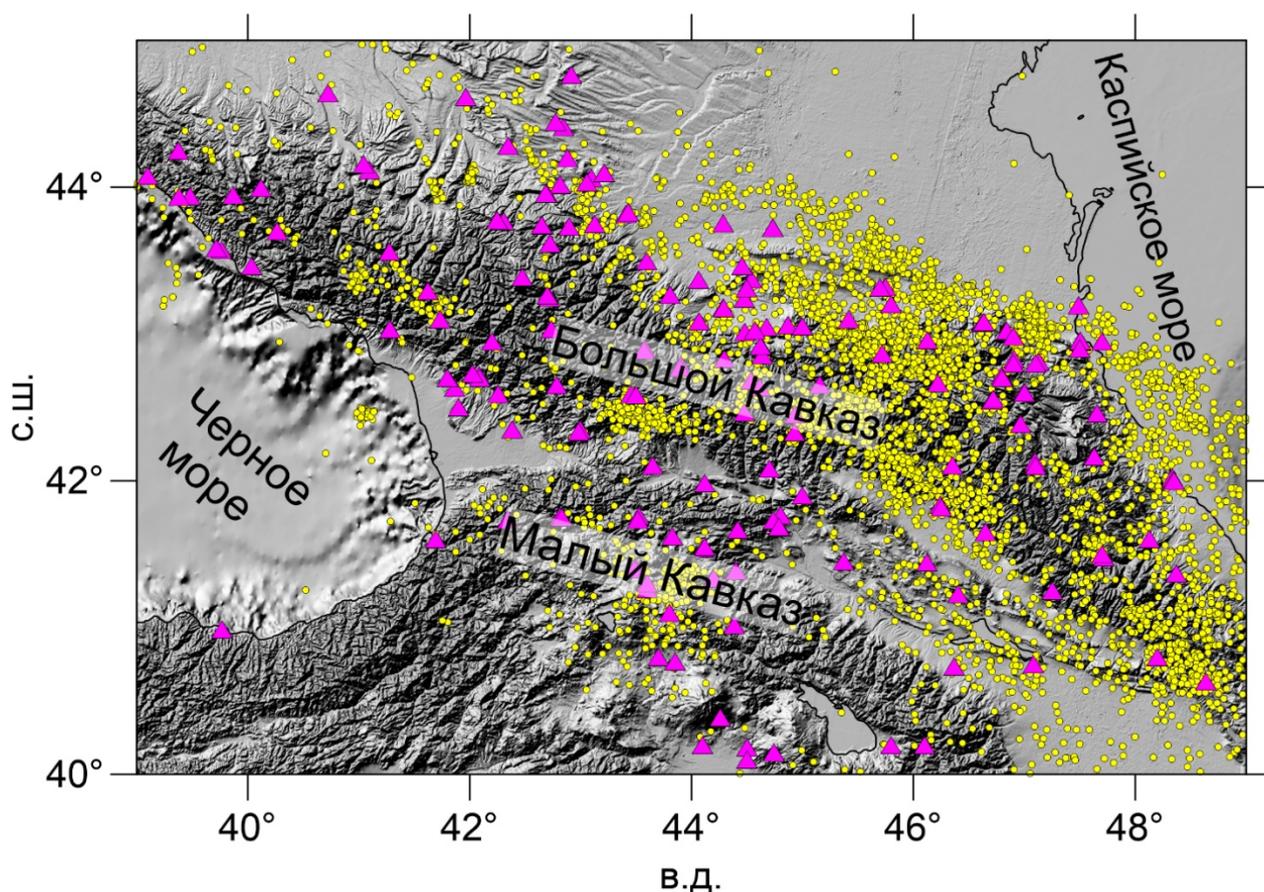


Рис. 1. Район исследований и сеть наблюдений: желтыми точками показаны землетрясения, розовыми треугольниками – сейсмические станции.

Методы и материалы

Перед началом обработки данных для сейсмической томографии был сформирован набор данных, который включал информацию о времени прихода сейсмических волн от 6 406 землетрясений, зарегистрированных 249 станциями в период с 1991 по 1999 и с 2015 по 2020 годы. Всего в наборе данных было 166 808 времен прихода. Данные были предоставлены ФИЦ ЕГС РАН.

Для сейсмической томографии была выбрана область, включающая 190 станций. Для более точной локализации были выбраны только землетрясения, от которых зарегистрировано не менее 10 фаз продольных или поперечных волн.

Итоговый набор данных содержал 72 996 фаз Р-волн и 74 067 фаз S-волн от 5 028 землетрясений (рис. 1), эти данные были обработаны с помощью программы локальной сейсмической томографии LOTOS [1]. В программе было реализовано 5 итераций локализации землетрясений и расчета аномалий скоростей сейсмических волн. На первой итерации была задана одномерная модель скоростей сейсмических волн, а на последующих итерациях в качестве стартовой модели выступало трехмерное распределение скоростей, полученное на предыдущей итерации.

Верификация

Для верификации результатов сейсмической томографии было проведено несколько тестов. В первом тесте были использованы синтетические данные, представляющие собой трехмерную модель аномалий скоростей сейсмических волн, в которой положительные и отрицательные аномалии чередовались, образуя в плане «шахматную доску», а в разрезе – уходящие вглубь колонны. В этой модели в программе LOTOS рассчитывались времена прихода сейсмических волн, которые затем подставлялись на место реальных данных, и в ходе решения обратной задачи в этой же программе вычислялись аномалии скоростей. Было обработано несколько таких моделей с размером ячеек от 50 до 100 км, что позволяет судить о достоверном размере аномалий, наблюдаемых в разных частях исследуемого района.

Во втором тесте была проведена инверсия двух независимых поднаборов реальных данных. Основной набор был разделен на четные и нечетные события, после чего производилась инверсия каждого из поднаборов. Этот тест показал хорошую сходимость результатов.

Таким образом, проведение таких тестов позволило убедиться в достоверности результатов сейсмической томографии.

Результаты и обсуждение

Результаты сейсмической томографии представлены в виде аномалий значений скорости сейсмических волн, показанных на горизонтальных сечениях на разной глубине с шагом 5 км. В центре северной части исследуемого района на всех сечениях наблюдается отрицательная аномалия, которая может быть связана с осадочным чехлом Скифской платформы (рис. 2). Под Транскавказским массивом прослеживается положительная аномалия, которая, согласно [2], ассоциирована с останцом океанической плиты, оставшимся после закрытия зоны субдукции в этом регионе. Неоднозначно проявляются в аномалиях скоростей сейсмических волн области вулканизма.

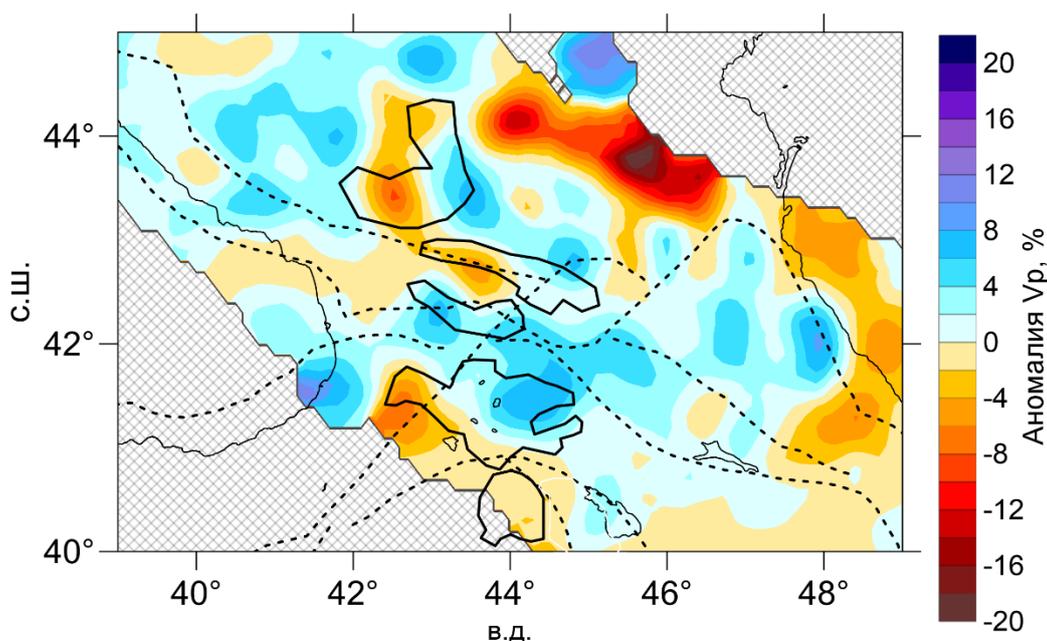


Рис. 2. Распределение аномалий скорости продольных волн на глубине 20 км. Пунктиром обозначены разломные зоны, сплошные жирные линии – вулканические провинции по [3].

Заключение

Крупные тектонические единицы уверенно прослеживаются в литосфере до глубин в несколько десятков км. Уверенно говорить о характере аномалий под областями кайнозойского вулканизма по имеющимся данным затруднительно. Расширение набора данных позволит повысить детальность исследования и углубить интерпретацию распределения аномалий скорости сейсмических волн.

Благодарности

Работа по сейсмической томографии была выполнена при поддержке государственного задания FWZZ-2022-0030. Работа по литературному обзору была выполнена при поддержке государственного задания FSUS-2022-0019.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Koulakov I. LOTOS code for local earthquake tomographic inversion: Benchmarks for testing tomographic algorithms //Bulletin of the Seismological Society of America. – 2009. – Т. 99. – №. 1. – С. 194-214. <http://dx.doi.org/10.1785/0120080013>
2. Zabelina I., Koulakov I., Amanatashvili I., El Khrepy S., Al-Arifi N. Seismic structure of the crust and uppermost mantle beneath Caucasus based on regional earthquake tomography //Journal of Asian Earth Sciences. – 2016. – Т. 119. – С. 87-99. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2016.01.010>
3. Коваленко В. И., Ярмолюк В. В., Богатиков О. А. Новейший вулканизм Северной Евразии: закономерности развития, вулканическая опасность, связь с глубинными процессами и изменениями природной среды и климата //Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. В 8 томах. – М.: ИГЕМ РАН, ИФЗ РАН, 2008. – Т. 2. – С. 13-230.

© Е. В. Цибизова, И. В. Медведь, И. П. Габсатарова, 2023