

УДК 550.344

DOI: 10.46698/VNC.2024.10.83.002

Оригинальная статья

Новые данные о структуре поля поглощения S-волн Западного Прикаспия и ее связи с тектоникой и сейсмичностью

О.И. Аптикаева 

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995,
г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1, e-mail: aptikaevaoi@mail.ru

Статья поступила: 04.03.2024, доработана: 10.06.2024, принята к публикации: 10.06.2024

Резюме: Актуальность работы. В работе рассматривается распределение неоднородностей поля поглощения S-волн в верхней мантии Западного Прикаспия и прилегающих акваторий на существенно расширенной базе данных. Теоретические исследования, направленные на изучение связи свойств низов литосферы с сейсмичностью, актуальны и расширяют наши представления об условиях ее реализации. **Цель исследования** заключается в том, чтобы дополнить и уточнить опубликованную ранее версию распределения латеральных неоднородностей поля поглощения S-волн в районе Западного Прикаспия и прилегающих акваторий. Основанное на них представление о блоковом строении района (взаимном расположении добротных блоков и ослабленных зон) позволит более обоснованно подойти к сопоставлению их с тектоникой района исследований и сейсмичностью. **Методы.** В статье применен разработанный автором оригинальный подход, основанный на исследовании характеристики затухания короткопериодной сейсмической коды, позволяющий детально картировать неоднородности поля поглощения S-волн в верхней мантии. **Результаты.** Основываясь на существенно дополненных данных о пространственном распределении неоднородностей поля поглощения Западного Прикаспия и прилегающих акваторий, рассмотрены вариации блоковой структуры в связи с реализацией нескольких наиболее значительных землетрясений, включая Черногорское 1976 г. и Каспийское 2000 г. Удалось найти соответствие ослабленных зон, относящихся к западной части Каспийского моря с Тырныаузско-Центрально-Каспийской системой глубинных разломов и Северо-Абшеронской кольцевой системой разломов, а также ослабленных зон антикавказского простирания с выявленными в последние годы глубинными сейсмогенными разломами. Рассмотренные в работе примеры сейсмических ситуаций, сложившихся в процессе реализации наиболее заметных землетрясений, свидетельствуют об адекватности представленного блокового строения района исследований. Отмечено, что набор блоков, вовлеченных в процесс реализации каждого рассмотренного события, определяет в каждом конкретном случае состояние объекта исследований и его способность адаптироваться к воздействиям внешних факторов планетарного масштаба, например, вариациям скорости вращения Земли.

Ключевые слова: Западный Прикаспий, инструментальные записи, кода-волны, добротность, поле поглощения S-волн, добротный блок, ослабленная зона, тектоника, глубинные разломы, сейсмичность.

Для цитирования: Аптикаева О.И. Новые данные о структуре поля поглощения S-волн Западного Прикаспия и ее связи с тектоникой и сейсмичностью. *Геология и геофизика Юга России*. 2024. 14(2): 21-32. DOI: 10.46698/VNC.2024.10.83.002

DOI: 10.46698/VNC.2024.10.83.002

Original paper

New data on the structure of the S-wave attenuation field of the Western Caspian Region and its correlation with tectonics and seismicity

O.I. Aptikaeva 

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 10/1 Bolshaya Gruzinskaya, Moscow 123995, Russian Federation,
e-mail: aptikaevaoi@mail.ru

Received: 04.03.2024, revised: 10.06.2024, accepted: 10.06.2024

Abstract: Relevance. The paper examines the distribution of inhomogeneities in the S-wave attenuation field in the upper mantle of the Western Caspian Sea and adjacent water areas using a significantly expanded database. Theoretical studies aimed at studying the correlation between the properties of the lower lithosphere and seismicity are relevant and expand our understanding of the conditions for its implementation. **The aim** of the study is to complement and clarify the previously published version of the distribution of lateral inhomogeneities in the S-wave attenuation field in the Western Caspian region and adjacent water areas. An idea of the block structure of the area based on them (the relative position of blocks with a high Q -factor and weakened zones) will allow a more reasonable approach to comparing them with the tectonics of the study area and seismicity. **Methods.** The article uses an original approach developed by the author, based on a study of the attenuation characteristics of a short-period seismic code, which makes it possible to map in detail the inhomogeneities of the S-wave attenuation field in the upper mantle. **Results.** Based on significantly expanded data on the spatial distribution of inhomogeneities in the S-wave attenuation field of the Western Caspian region and adjacent water areas, variations in the block structure in connection with the implementation of several of the most significant earthquakes, including the Chernogorsk 1976 and the Kaspisk 2000, are considered. It was possible to find a correspondence of weakened zones belonging to the western part of the Caspian Sea with the Tyrnyauz-Central Caspian system of deep faults and with the North Absheron ring fault system, as well as weakened zones of anti-Caucasian strike with deep seismogenic faults identified in recent years. The examples of seismic situations considered in the work that arose during the implementation of the most noticeable earthquakes indicate the adequacy of the presented block structure of the study area. It is noted that the set of blocks involved in the implementation of each event considered determines the state in each specific case object of research and its ability to adapt to the influence of external factors on a planetary scale, for example, variations of Earth's rotation speed.

Keywords: Western Caspian region, instrumental records, coda waves, Q -factor, S-wave attenuation field, block with a high Q -factor, weakened zone, tectonics, deep faults, seismicity.

For citation: Aptikaeva O.I. New data on the structure of the S-wave attenuation field of the Western Caspian Region and its correlation with tectonics and seismicity. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2024. 14(2): 21-32. DOI: 10.46698/VNC.2024.10.83.002

Введение

Геологическим и геофизическим исследованиям глубинной структуры Кавказа и Каспия всегда уделялось большое внимание (например, [Балавадзе и др., 1966; Винник и др., 1978; Бердичевский и др., 1996; Корничев, Sokolova, 2019; Стогний,

Стогний, 2023; Горбатиков и др., 2023]). В связи с появлением новых методов исследований, использующих естественные волновые поля, таких как, томография, метод приемных функций и других (например, [Lei, Zhao, 2007; Zor, 2008; Gok et al., 2011; Koulakov et al., 2012; Rogozhin et al., 2020; Vinnik et al., 2021]) в изучении глубинной структуры Кавказа и Каспия наметился существенный прогресс. Тем не менее, детали глубинного строения Кавказа остаются слабоизученными. В частности, недостаточно исследованы латеральные вариации структуры мантии и их связь с тектоникой и сейсмичностью.

На исследование латеральных неоднородностей структуры поля поглощения нацелены работы, основанные на характере затухания колебаний в сейсмической среде. В работе [Artikaeva, 2020] были представлены некоторые результаты исследования латеральных вариаций структуры поля поглощения в мантии Кавказского региона методом короткопериодной коды. Карта неоднородностей поля поглощения Кавказа была построена по коду землетрясений, записанных станцией Кисловодск (KIV) сети IRIS. Впоследствии с привлечением записей землетрясений сейсмическими станциями Грузинской и Турецкой сетей карта уточнялась [Artikaeva, 2022]. Тем не менее, детальность структуры поля поглощения в верхней мантии Восточного Кавказа оставляла желать лучшего. С появлением в интернете в открытом доступе записей Азербайджанской сети станций стало возможным продвинуться в этом направлении и наиболее существенно по сравнению с предыдущей версией дополнить пространственное распределение неоднородностей поля поглощения Западного Прикаспия и прилегающих акваторий. Оно положено в основу представлений о блоковом строении района (взаимном расположении добротных блоков и ослабленных зон). Таким образом, появилась возможность подойти к анализу связи блокового строения с тектоникой и сейсмичностью района исследований.

Исходные данные и методика

Для решения поставленных задач были привлечены записи землетрясений станциями KIV и АВКТ (сети IRIS), LGD (сети GO), KARS (сети KO), DSKN, HASN, MV02, MV04 (сети АВ), GO02 (сети ХА) и метод короткопериодной коды, основанный на экспериментальных данных, свидетельствующих о том, что определяющее влияние на формирование сейсмического волнового поля оказывает структура поля поглощения и, что кода землетрясений, в основном, сформирована поперечными волнами, отраженными от многочисленных слабых субгоризонтальных границ в земной коре и мантии. Эффективная добротность Q_s оценивалась путем аппроксимации огибающих коды землетрясений кривой $A(t) = \frac{\exp\left(-\frac{\pi t}{Q_s T}\right)}{t}$, где $A(t)$ – амплитуда коды в окрестностях времени t ; Q_s – эффективная добротность; T – период колебаний. Подробно методика описана в работах [Artikaeva, 2020, 2022].

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 сведены все имеющиеся данные о структуре поля поглощения Западного Прикаспия и смежных с ним территорий на глубинах более 200 км.

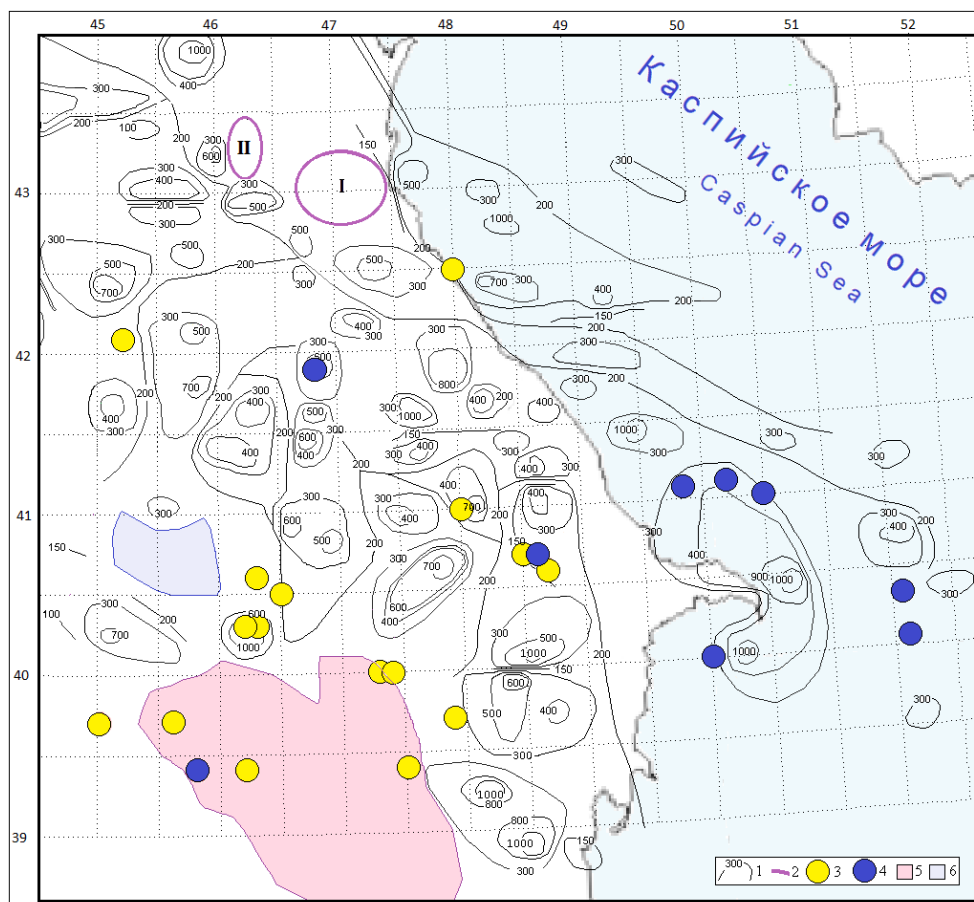


Рис. 1. Структура поля поглощения района исследований с учетом новых данных. 1 – изолинии Q_s ; 2 – границы очаговых зон землетрясений Дагестанского 1970 г. (I) и Курчалойского 2008 г. (II); 3, 4 – эпицентры сильных землетрясений соответственно исторического и инструментального периодов с 1900 г.; 5, 6 – зоны низкой сейсмической активности в течение 1962–1991 гг. /

Fig. 1. Structure of the attenuation field in study area taking into account new data 1 – quality factor isolines; 2 – boundaries of the source zones of the earthquakes Dagestan 1970 (I) and Kurchaloi 2008 (II); 3, 4 – epicenters of strong earthquakes, respectively, of the historical and instrumental period since 1900; 5, 6 – zones of low seismic activity during 1962–1991

Анализируя структуру поля поглощения в сейсмоактивных районах, мы не раз убеждались в том, что активные сейсмогенные разломы трассируют линейные зоны сильного поглощения (ослабленные зоны), например, [Artikaeva, 2020]. В данном случае некоторые крупные элементы тектоники с глубинным заложением также находят отражение в структуре поля поглощения на больших глубинах (рис. 2). Так, локализация и простираение протяженных и ярко выраженных ослабленных зон ($Q_s=200-250$) на севере района исследований соответствует границе, разделяющей тектонические зоны Кавказа и Скифской плиты по [Трифонов и др., 2020]. Кроме того, наблюдается соответствие ослабленных зон, относящихся к западной части Каспийского моря, с Тырныузско-Центрально-Каспийской системой глубинных (распространяющихся в мантию) разломов и Северо-Абшеронской кольцевой системой разломов в рамках генерализированной модели распределения региональных систем разломов Каспийского моря [Полетаева, 2013] (модель основана на комплексном анализе гравитационных, магнитных и сейсмических полей).

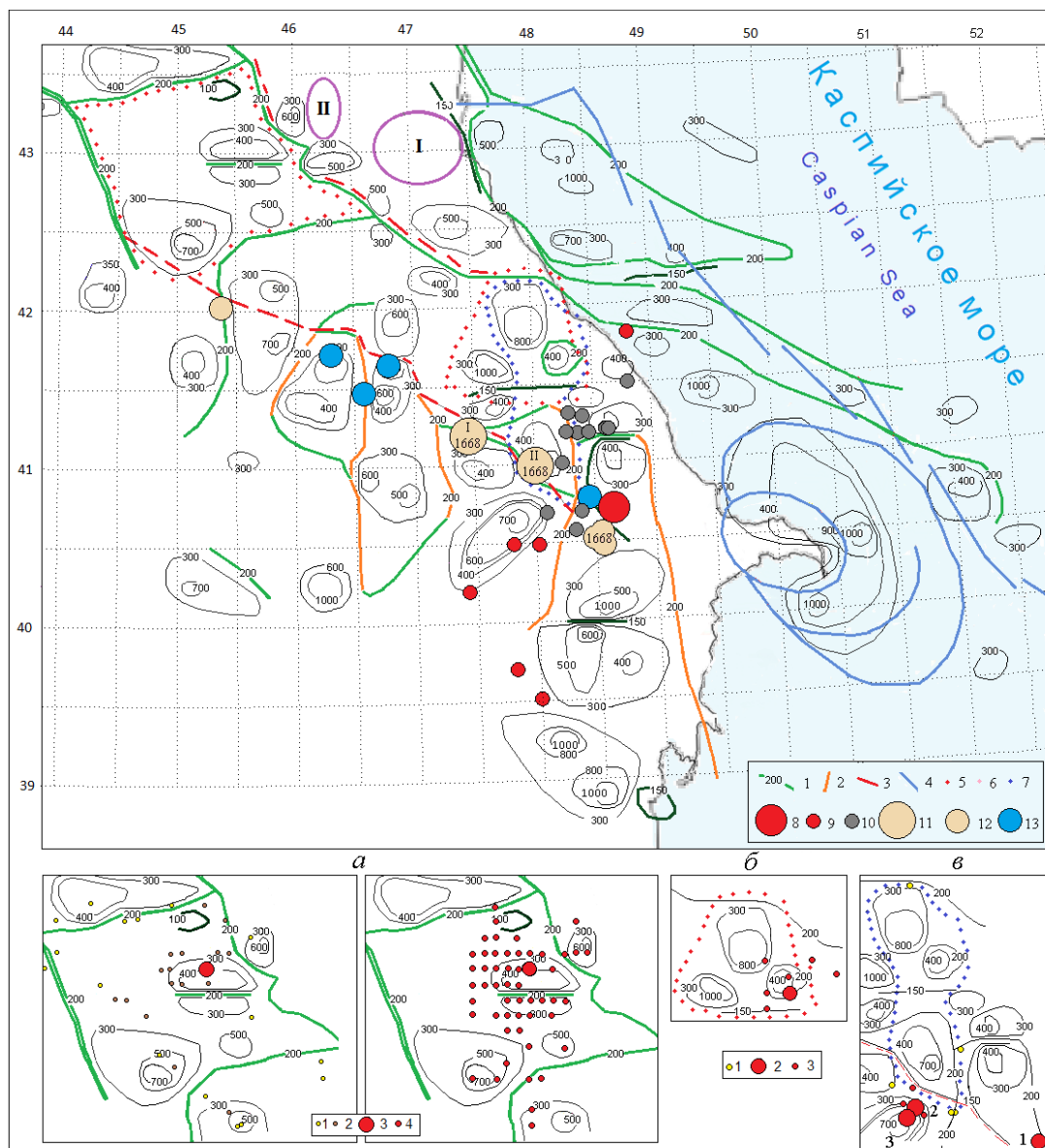


Рис. 2. Поле поглощения Западного Прикаспия и прилегающих акваторий с учетом новых данных. Изолинии добротности $Q_s=200$ (1); ослабленные зоны антикавказского (2) и кавказского (3) простираения; система разломов Каспийского моря по [Поletaева, 2013] (4); зоны затишья перед землетрясениями: 1976 г. Черногорским (5), 1966 г. (6) и 1981 г. (7); эпицентры землетрясений: Шемахинского 13.02.1902 (8); за период 13.02–27.04.1902 (9); роя землетрясений 20.12.1971 г. (10); 14.01.1668 (11); за период 1.04.1668–18.08.1671 (12); 2012 г. (13) На врезках сейсмические ситуации землетрясений. а – Черногорского: события, предшествующие землетрясению за периоды 2.08.1975–26.01.1976 (1) и 17.07–27.07.1976 (2); главный толчок (3); афтершоки (4); б, в – события, предшествующие землетрясениям 1966 и 1981 гг., их очаги и афтершоки (1-3) /

Fig. 2. Attenuation field of the Western Caspian region and adjacent territories, taking into account new data. Quality factor $Q_s=200$ isolines (1); weakened zones of anti-Caucasian (2) and Caucasian (3) strike; fault system of the Caspian Sea according to [Poletaeva, 2013] (4); quiescent zones before earthquakes: 1976 Chernogorsk (5), 1966 (6) and 1981 (7); earthquake epicenters: Shemakhi 02/13/1902 (8); for the period 13.02-27.04.1902 (9); earthquake swarm on December 20, 1971 (10); 01/14/1668 (11); for the period 04/01/1668-08/18/1671 (12); 2012 (13) Insets show seismic situations of earthquakes. а – Chernogorsk: events preceding the earthquake for the periods 08/2/1975–01/26/1976 (1) and 07/17–07/27/1976 (2); main shock (3); aftershocks (4); б, в – events preceding the earthquakes of 1966 and 1981, their sources and aftershocks (1-3) /

Разломы кавказского простирания проявляются в поле поглощения, в большинстве своем, локальными участками ослабленных зон (см. рис. 2). Это объясняется, скорее всего, тем, что в пределах разломов кавказского простирания сейсмоактивными (т.е. информативными для метода короткопериодной коды) являются лишь их отдельные сегменты небольшой длины. С такими разломами были связаны очаги сильнейших землетрясений конца XX века Дагестанского 1970 г., Рачинского 1991 г., Черногорского 1976 г., Онийского 2009 г., Барисахского 1992 г., структура поля поглощения в очаговых зонах некоторых из них описана в [Artikaeva, 2020].

Более ярко выражены ослабленные зоны антикавказского простирания (см. рис. 2). Отметим, что с помощью разработанного в последние годы метода выявления сейсмогенерирующих зон глубинных разломов по проявлениям слабой сейсмичности обнаружены глубинные разломы антикавказского (ЮЗ-СВ) простирания [Mammadli, Rogozhin, 2018]. Эти разломы долгое время оставались недооцененными в качестве опасных сейсмогенерирующих структур, хотя с некоторыми из них связаны очаги сильных землетрясений, например, Курчалойского землетрясения 2008 г. с $M=5.6$. Структура поля поглощения в пределах очага этого землетрясения включает ослабленные зоны северо-восточного простирания [Artikaeva, 2020].

В последнее время к этой теме авторы обращаются все чаще. Например, в работе [Yetirmishli et al., 2019] как основные сейсмогенные разломы, среди прочих, упоминаются Казах-Сигнахский, Шарур-Загатальский и Гянджачай-Алазанский разломы, которые ассоциируются с ослабленными зонами в западной части района исследований, а в работе [Етирмишли и др., 2023] обсуждается сейсмичность Азербайджана в 2018–2019 гг., связанная с Западно-Каспийским, Таирджачай-Сальянским, Астара-Дербендским и Гызылбогаз-Девичинским разломами, которые большими сегментами совпадают с ослабленными зонами в восточной его части.

Как известно, сейсмическому затишью перед сильным событием отвечает состояние консолидированного блока, когда при данном уровне тектонических напряжений составляющие его малые блоки занимают такое положение, что их взаимные перемещения отсутствуют. Так, зона затишья, сформировавшаяся перед Черногорским землетрясением 1976 г., включает несколько малых блоков. Границы большого блока совпадают с долгоживущими ослабленными низкодобротными зонами, а ослабленные зоны, разделяющие малые блоки, проявляются время от времени. Сейсмическую активизацию, предшествующую этому землетрясению можно разбить на несколько этапов: с 2.08.1975 по 26.01.1976 г. эпицентры событий оконтурили зону затишья по долгоживущим ослабленным зонам (см. рис. 2 врезка а), по мере приближения к моменту возникновения главного события (28.07.1976 г.) они стягивались к его очагу, а с 17.07 по 27.07.1976 г. практически окружили его.

Развитие сейсмической ситуации в процессе реализации этого землетрясения описывает случай, когда зона затишья, которая может быть ассоциирована с относительно консолидированным объемом, сокращается от периферии к центру. Не исключено, что в данном случае работает схема деконсолидации периферийных участков консолидированного блока в результате флюидизации. Судя по локализации афтершоков (см. рис. 2 врезка а) процесс завершается полной деструкцией ранее консолидированного объема.

Проанализировав сейсмическую ситуацию за год, предшествующий землетрясению 1966 г., можно сказать, что по завершении процесса его подготовки три малых блока объединились в большой (рис. 2 врезка б). В результате афтершокового

процесса большой консолидированный блок лишился малого восточного блока.

Консолидированный блок, сложившийся перед двумя последними из серии землетрясений $M=4.5-5.2$, которые произошли 19, 29 ноября и 2 декабря 1981 г. (№1-3 на рис. 2 врезка в), оконтурили предшествующие им события. Очаги сильных землетрясений локализованы на границе консолидированного блока, а их афтершоки компактно расположены вокруг очагов сильных событий. В данном случае процесс развивается не по пути разрушения консолидированного блока, а посредством его движения по долгоживущим ослабленным зонам и передачи напряжений в соседние блоки. Таким образом, консолидированный блок сохранил свои размеры.

Следует отметить, что на изучаемой территории имеют место зоны очень низкой сейсмической активности в течение длительного времени (см. рис. 1). Такие зоны можно рассматривать в качестве консолидированных блоков на том основании, что в иерархически построенных блочных средах в течение некоторого времени могут существовать большие блоки, в пределах которых взаимные перемещения составляющих их малых блоков (относительно слабые землетрясения) отсутствуют. Сами же большие блоки могут перемещаться, результатом чего могут быть крупные события, приуроченные к границам этих блоков. Большинство приведенных на рис. 1 землетрясений приурочены к границам добротных блоков или принятых нами в качестве блоков зон низкой сейсмической активности.

Обращает на себя внимание повышенная концентрация очагов с $M>6.0$ вокруг крупного добротного блока в зоне Южного Каспия. К этому блоку приурочены еще несколько землетрясений с магнитудой $M=6.0-6.3$. Рассматривая этот факт совместно с вариациями скорости вращения Земли, можно заметить, что моментам возникновения пяти близких по магнитуде событий в зоне Южного Каспия соответствуют близкие скорости вращения Земли (рис. 3а), иными словами, в этом месте максимальные напряжения, которые способен накопить блок, реализуются в виде сильных событий, под воздействием схожих внешних факторов.

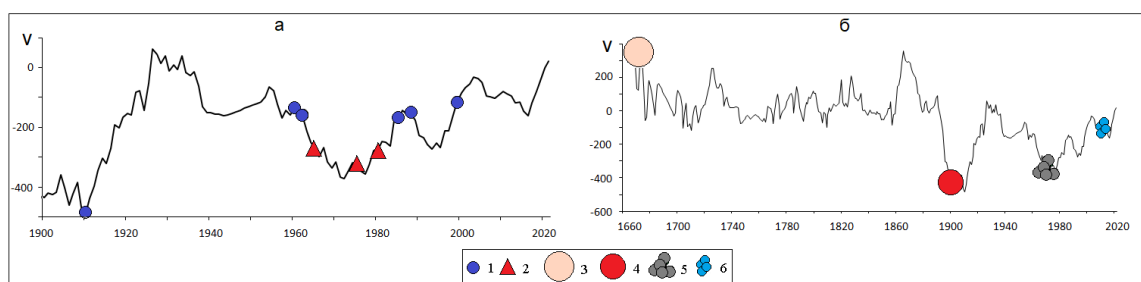


Рис. 3. Моменты возникновения описанных в работе землетрясений на фоне вариаций скорости вращения Земли¹; землетрясения: 1 – 1911, 1961, 1963, 1986, 1989 и 2000 гг., 2 – 1966, 1976 и 1981 гг., 3 – 1668 г., 4 – 1902 г., 5 – 1971 г., 6 – 2012 г. /

Fig. 3. Moments of occurrence of the earthquakes described in the work against the background of variations in the Earth's² rotation speed; earthquakes: 1 – 1911, 1961, 1963, 1986, 1989 and 2000, 2 – 1966, 1976 and 1981, 3 – 1668, 4 – 1902, 5 – 1971, 6 – 2012

Рассмотрим сейсмическую ситуацию в зоне Южного Каспия в процессе реализации двух из шести упомянутых Каспийских землетрясений – 1963 и 2000 гг. В обоих случаях в сейсмический процесс были вовлечены большие добротные объ-

¹ Временной ряд вариаций скорости вращения Земли любезно предоставлен Н.С. Сидоренковым.

² The time series of variations in the Earth's rotation speed was kindly provided by N.S. Sidorenkov.

емы, что позволило реализоваться землетрясениям большой силы, хотя процессы реализации приуроченных к ним землетрясений отличались.

Землетрясение 2000 г. произошло в условиях роста скорости вращения Земли (см. рис. 3а) и сжатия ее поверхности, когда малые блоки занимают наиболее компактное положение, при этом большой блок становится более консолидированным. С начала 1999 г. по март 2000 г. в юго-восточной части района исследований сформировалась обширная зона затишья (рис. 4а), которую можно ассоциировать с таким блоком.

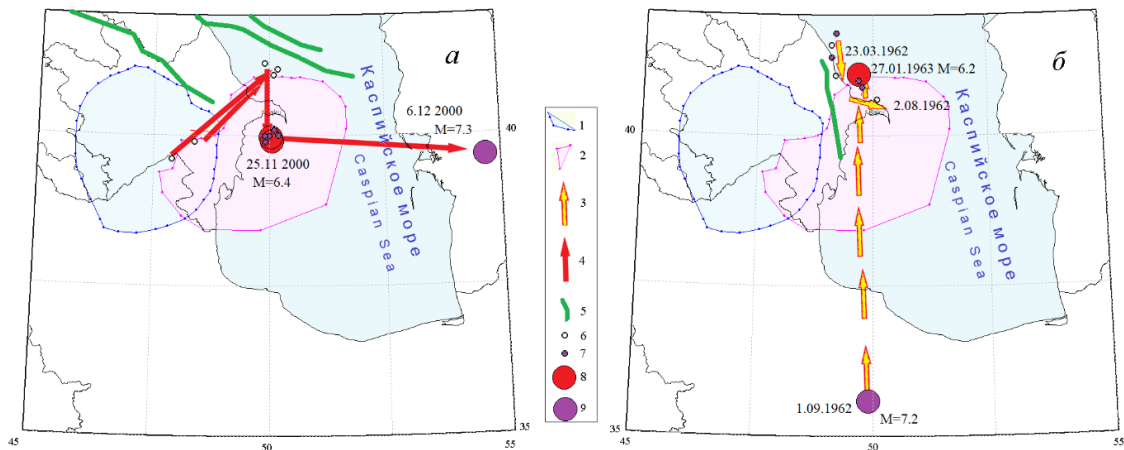


Рис. 4. Сейсмическая ситуация в процессе реализации Каспийских землетрясений 2000 (а) и 1963 гг. (б). 1, 2 – зоны затишья, сформировавшиеся перед землетрясениями 27.01.1963 г. и 25.11.2000 г.; 3, 4 – направление их сейсмического процесса; 5 – ослабленные зоны; 6 – эпицентры землетрясений $K > 11$, предшествующих главным событиям, 7 – их афтершоки; 8, 9 – главные толчки и связанные с ними сильные события /

Fig. 4. Seismic situation during the implementation of the Caspian earthquakes of 2000 (a) and 1963. (b). 1, 2 – quiescent zones formed before the earthquakes of January 27, 1963 and November 25, 2000; 3, 4 – direction of their seismic process; 5 – weakened zones; 6 – epicenters of $K > 11$ earthquakes preceding the main events, 7 – their aftershocks; 8, 9 – main shocks and strong events associated with them

Зона охватывает несколько добротных блоков и линейную ослабленную зону субмеридионального простирания. С марта по сентябрь 2000 г. по периферии зоны затишья произошло 5 землетрясений энергетического класса $K > 11.0$, а 25 ноября произошли два, следующих друг за другом, сильных $K = 13.5$ и 14.2 землетрясения с близкими эпицентрами (см. рис. 4а). Основные афтершоки в данном случае локализованы компактно.

Перед другим землетрясением 27.01.1963 г. ($M = 6.2$), относящимся к тому же блоку, также сформировалась зона затишья (рис. 4б). С блоком она граничит по протяженной ослабленной зоне антикавказского простирания, вдоль которой локализованы эпицентры предшествующих главному толчку событий и его афтершоки.

Компактное положение эпицентров афтершоков землетрясения 2000 г. (период быстрого роста скорости вращения Земли) говорит о переупаковке малых блоков в пределах большого, тогда как, эпицентры форшоков, предшествующих сильному землетрясению 1963 г., и его афтершоков, расположенные вдоль ослабленной зоны, указывают на деструкцию сложившегося перед сильным событием объекта в период снижения скорости вращения Земли.

Каждое из этих землетрясений может быть примером, демонстрирующим процесс перераспределения напряжений вдоль ослабленных зон (стрелками показана

последовательность событий). В случае Каспийского землетрясения 2000 г. сброс напряжений в его очаге вполне мог спровоцировать Балханское землетрясение 2000 г. с $M=7.3$ на противоположном берегу Каспия (они произошли с интервалом всего в несколько дней 25.11–6.12).

Сценарий землетрясения 1963 г. сложнее. Предшествующие ему события марта–августа 1962 г. в северной части района могли спровоцировать землетрясение на юге в сентябре 1962 г. с $M=7.2$, которое, в свою очередь, спровоцировало землетрясение 27 января 1963 г. с $M=6.2$ на севере. Между очагами двух сильных событий расположена ослабленная зона субмеридионального простирания.

Рассмотрим в этом контексте несколько знаковых событий, произошедших в контрастные по скорости вращения Земли периоды. Сильнейшее Шемахинское землетрясение 1902 г. с $M=6.9$ относится к периоду минимальных за последние 450 лет среднегодовых значений скорости вращения Земли (рис. 3б). Кроме Шемахинского землетрясения обращает на себя внимание рой из 5 землетрясений с $K=12-13$ (20 декабря 1971 г.), который приходится на минимум скорости вращения Земли 70-х годов прошлого века.

Последовательность эпицентров первых афтершоков Шемахинского землетрясения 1902 г. локализована по простиранию Западно-Каспийского сдвигового разлома (см. рис. 2). В том же направлении ориентированы и эпицентры событий, последовавших за роём 1971 г. В направлении антикавказских разломов ориентированы также афтершоки землетрясений Каспийского 1963 г. и описанного выше землетрясения 1966 г. Они относятся к периоду снижения скорости вращения Земли. Напрашивается вывод, что реализация таких событий в зонах разломов антикавказского простирания является способом адаптации к внешним воздействиям этого геодинамического объекта в условиях снижающейся скорости вращения Земли или ее минимальных среднегодовых значений.

В непосредственной близости к очаговой зоне Шемахинского землетрясения 1902 г. 14.01.1668 г. произошло землетрясение с $M=7.8$ (его эпицентры по разным данным: I – (Специализированный каталог землетрясений для задач общего сейсмического районирования территории Российской Федерации. Ред. Уломов В.И., Медведева Н.С.) и II - [Никонов, 1982] показаны на рис. 2). Это землетрясение произошло на фоне высоких значений скорости вращения Земли. Эпицентры событий, которые могут быть ассоциированы с этим землетрясением ориентированы в направлении параллельном оси горного сооружения Большого Кавказа. На фоне высоких или растущих значений скорости вращения Земли произошли также: серия землетрясений с $M>5.0$ в 2012 г., землетрясения ноября–декабря 1981 г., а также землетрясения $K>11.0$ марта–сентября 2000 г., которые локализованы по периферии зоны затишья перед Каспийским землетрясением 2000 г. Очаги этих событий также расположены вдоль оси горного сооружения Большого Кавказа. Реализация таких землетрясений в зоне взбросо-надвиговых разломов является способом адаптации к внешним воздействиям данного геодинамического объекта, в условиях максимальной или растущей скорости вращения Земли.

Выводы

На основе существенно расширенной по сравнению с предыдущими исследованиями базы данных проведен анализ связи блокового строения Западного Прикаспия и прилегающих акваторий с тектоникой и сейсмичностью. При этом выявлено

соответствие ослабленных зон, относящихся к западной части Каспийского моря, с Тырнаузско-Центрально-Каспийской системой глубинных разломов и Северо-Абшеронской кольцевой системой разломов. Разломы кавказского простирания проявляются в поле поглощения локальными участками ослабленных зон. Более ярко выражены ослабленные зоны антикавказского простирания, которые соотносятся с ориентированными в том же направлении глубинными разломами.

Рассмотренные в работе примеры сейсмических ситуаций, сложившихся в процессе реализации наиболее заметных землетрясений, свидетельствуют об адекватности представленного блокового строения района исследований.

Из анализа сейсмичности района исследований на фоне вариаций скорости вращения Земли следует, что адаптация его геодинамических объектов к внешним воздействиям в условиях минимальной, а также снижающейся среднегодовой скорости вращения Земли осуществляется за счет реализации сильных и умеренных землетрясений в зоне разломов антикавказского простирания. Тогда как, в условиях роста или максимальной среднегодовой скорости вращения Земли способом адаптации геодинамических объектов к внешним воздействиям является реализация землетрясений в зонах разломов кавказского простирания.

Литература

1. Балавадзе Б.К., Твалтвадзе Г.К., Шенгелая Г.Ш., Сихарулидзе Д.И., Картвелишвили К.М. Геофизические исследования земной коры и верхней мантии в области Кавказа. // Геотектоника. – 1966. – № 3. – С. 30–40.
2. Бердичевский М.Н., Борисова В.П., Голубцова Н.С., Ингеров А.И., Коновалов Ю.Ф., Куликов А.В., Солодилов Л.Н., Чернявский Г.А., Шпак И.П. Опыт интерпретации МТ-зондирований в горах Малого Кавказа. // Физика Земли. – 1996. – № 4. – С. 99–117.
3. Винник Л.П., Годзиковская А.А., Патарая Е.И., Сихарулидзе Д.И., Баграмян А.Х. Скоростные аномалии верхней мантии Кавказа. // Физика Земли. – 1978. – № 7. – С. 22–31.
4. Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Харазова Ю.В., Степанова М.Ю., Милуков В.К., Миронов А.П., Хубаев Х.М., Мельков Д.А., Кануков А.С., Абаева З.В., Шманатов Г.В., Габараев А.Ф., Ревазов М.О. Глубинное строение, сейсмичность, тектоника северного фланга Большого Кавказа и Терско-Каспийского прогиба (Северная Осетия) в рамках единой кинематической модели на базе новых геофизических данных. // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 3. – С. – 33–48. DOI: 10.46698/VNC.2023.44.73.003.
5. Етирмишли Г.Д., Абдуллаева Р.Р., Исмаилова С.С., Казымова С.Э. Сейсмичность Азербайджана и прилегающих территорий в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 56–66. DOI: 10.35540/1818-6254.2023.26.04.
6. Никонов А.А. Сильнейшее землетрясение Большого Кавказа 14 января 1668 г. // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1982. – № 9. – С. 90–106.
7. Полетаева Е.В. Разломно-блоковая модель земной коры Каспийского моря. // Ученые записки Тамбовского отделения РОСМУ. – 2013. – № 1. – С. 175–182.
8. Стогний Г.А., Стогний В.В. Южная граница Скифской плиты в системе блоковой делимости консолидированной коры Центрального и Восточного сегментов Большого Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 3. – С. 6–18. DOI: 10.46698/VNC.2023.96.83.001.
9. Трифонов В.Г., Соколов С.Ю., Соколов С.А., Хессами Х. Мезозойско-кайнозойская структура Черноморско-Кавказско-Каспийского региона и ее соотношение со строением верхней мантии. // Геотектоника. – 2020. – № 3. – С. 55–81.
10. Aptikaeva O.I. S-Wave Attenuation Field and Seismotectonics of Eastern Anatolia. // Seismic Instruments. – 2020. – Vol. 56. – pp. 106–120. DOI: 10.3103/S074792392001003X.

11. Aptikaeva O.I. Source of the 1902 Shamakhi Earthquake on the Background of Attenuation Field Inhomogeneities and Seismicity of the Western Caspian Region. // *Seismic Instruments*. – 2022. – Vol. 58. – pp. S67–S78. DOI: 10.3103/S0747923922070027.
12. Gok R., Mellors R.J., Sandvol E., Pasyanos M., Hauk T., Takedatsu R., Yetirmishli G., Teoman U., Turkell N., Godoladze T., Javakishvirli Z. Lithospheric velocity structure of the Anatolian plateau-Caucasus-Caspian region. // *Journal of Geophysical Research*. – 2011. – Vol. 116. – B05303. DOI: 10.1029/2009JB000837.
13. Kopnichev Yu.F., Sokolova I.N. Heterogeneities of the field of *S*-wave attenuation in the lithosphere of the Caucasus and their relationship with seismicity. // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. – 2019. Vol. – 55. No. – 10. pp. 1526–1535. DOI: 10.1134/S0001433819100050.
14. Koulakov I., Zabelina I., Amanatashvili I., Meskhia V. Nature of orogenesis and volcanism in the Caucasus region based on results of regional tomography. // *Solid Earth*. – 2012. – Vol. 3. Issue 2. – pp. 327–337. DOI: 10.5194/se-3-327-2012.
15. Lei J., Zhao D. Teleseismic evidence for a break-off subducting slab under Eastern Turkey. // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2007. – Vol. 257. Issue 1–2. – pp. 14–28.
16. Mammadli T.Y., Rogozhin E.A. Transverse Faults of the Eastern Caucasus and Their Manifestations in Seismicity. // *Seismic Instruments*. – 2018. – Vol. 45. – No. 2. – pp. 21–30. DOI: 10.21455/VIS2018.2-2.
17. Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Stepanova M.Yu., Kharazova Yu.V., Sysolin A.I., Andreeva N.V., Pogrebchenko V.V., Chervinchuk S.Yu., Chen Jiec, Liu Jiaoc, Ovsyuchenko A.N., Lar'kov A.S. Deep Structure of the Northwestern Termination of the Caucasus from New Geological and Geophysical Data. // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2020. – Vol. 56. – No 6. – pp. 772–788. DOI: 10.1134/S1069351320060075.
18. Vinnik L.P., Kosarev G.L., Makeeva L.I., Oreshin S.I. The Caucasus and the Caspian Sea: topography of deep seismic boundaries. // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2021. – No. 4. – pp. 47–60.
19. Yetirmishli G.D., Mammadli T.Ya., Rogozhin E. A., Sysolin A.I. Seismic Activation in the Eastern Part of the Southern Slope of the Great Caucasus in the Late XX to Early XXI Centuries. // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. – 2019. – Vol. 55. – No. 8. – pp. 870–88. DOI: 10.1134/S0001433819080024.
20. Zor E. Tomographic evidence of slab detachment beneath eastern Turkey and the Caucasus. // *Geophysical Journal International*. – 2008. – Vol. 175. – Issue 3. – pp. 1273–1282.

References

1. Balavadze B.K., Tvaltadze G.K., Shengelaya G.Sh., Sikharulidze D.I., Kartvelishvili K.M., Geophysical investigations of the Earth's crust and upper mantle in the region of Caucasus. *Geotektonika*. 1966. No. 3. pp. 30–40. (in Russ.)
2. Berdichevskii M.N., Borisova V.P., Golubtsova N.S., Ingerov A.I., Konovalov Yu.F., Kulikov A.V., Solodilov L.N., Chernyavskii G.A., Shpak I.P. Interpretation of magnetotelluric soundings in the Lesser Caucasus. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 1996. No. 4. pp. 99–117. (in Russ.)
3. Vinnik, L.P., Godzikovskaya, A.A., Pataraya, E.I., Sikharulidze, D.I., Bagramyan, A.Kh. Velocity anomalies of the upper mantle beneath Caucasus. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 1978. No. 7. pp. 22–31. (in Russ.)
4. Gorbatikov A.V., Zaalishvili V.B., Kharazova Yu.V., Stepanova M.Yu., Milyukov V.K., Mironov A.P., Khubaev Kh.M., Melkov D.A., Kanukov A.S., Abaeva Z.V., Shmanatov G.V., Gabaraev A.F., Revazov M.O. Deep structure, seismicity, tectonics of the northern flank of the Greater Caucasus and the Terek-Caspian trough (North Ossetia) within the framework of a unified kinematic model based on new geophysical data. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 3. pp. 33–48. DOI: 10.46698/VNC.2023.44.73.003. (in Russ.)

5. Yetirmishli G.D., Abdullaeva R.R., Ismailova S.S., Kazimova S.E. Seismicity of Azerbaijan and adjacent territories in 2018–2019. *Earthquakes in Northern Eurasia*. 2023. Issue 26 (2018–2019). pp. 56–66. DOI: 10.35540/1818-6254.2023.26.04. (in Russ.)
6. Nikonov A.A. A very powerful earthquake in the Greater Caucasus Mountains, January 14, 1668. *Izvestiya AN SSSR. Fizika Zemli*. 1982. No. 9. pp. 90–106. (in Russ.)
7. Poletaeva E.V. Fault-block model of the Earth's crust of the Caspian Sea. *Scientific notes of the Tambov branch of ROSMU*. 2013. No. 1. pp. 175–182. (in Russ.)
8. Stogny G.A., Stogny V.V. The Scythian plate southern boundary in the system of block divisibility consolidated crust of the Greater Caucasus Central and Eastern segments. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 3. pp. 6–18. DOI: 10.46698/VNC.2023.96.83.001. (in Russ.)
9. Trifonov V.G., Sokolov S.Yu., Sokolov S.A., Hessami K. Mesozoic–Cenozoic structure of the Black Sea – Caucasus–Caspian region and its relationships with the upper mantle structure. *Geotectonics*. 2020. No. 3. pp. 55–81. (in Russ.)
10. Aptikaeva O.I. S-Wave Attenuation Field and Seismotectonics of Eastern Anatolia. *Seismic Instruments*. 2020. Vol. 56. pp. 106–120. DOI: 10.3103/S074792392001003X.
11. Aptikaeva O.I. Source of the 1902 Shamakhi Earthquake on the Background of Attenuation Field Inhomogeneities and Seismicity of the Western Caspian Region. *Seismic Instruments*. 2022. Vol. 58. pp. S67–S78. DOI: 10.3103/S0747923922070027.
12. Gok R., Mellors R.J., Sandvol E., Pasyanos M., Hauk T., Takedatsu R., Yetirmishli G., Teoman U., Turkell N., Godoladze T., Javakishviri Z. Lithospheric velocity structure of the Anatolian plateau-Caucasus-Caspian region. *Journal of Geophysical Research*. 2011. Vol. 116. B05303. DOI: 10.1029/2009JB000837.
13. Kopnichev Yu.F., Sokolova I.N. Heterogeneities of the field of S-wave attenuation in the lithosphere of the Caucasus and their relationship with seismicity. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019. Vol. 55. No. 10. pp. 1526–1535. DOI: 10.1134/S0001433819100050.
14. Koulakov I., Zabelina I., Amanatashvili I., Meskhia V. Nature of orogenesis and volcanism in the Caucasus region based on results of regional tomography. *Solid Earth*. 2012. Vol. 3. Issue 2. pp. 327–337. DOI: 10.5194/se-3-327-2012.
15. Lei J., Zhao D. Teleseismic evidence for a break-off subducting slab under Eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*. 2007. Vol. 257. Issue 1–2. pp. 14–28.
16. Mammadli T.Y., Rogozhin E.A. Transverse Faults of the Eastern Caucasus and Their Manifestations in Seismicity. *Seismic Instruments*. 2018. Vol. 45. No. 2. pp. 21–30. DOI: 10.21455/VIS2018.2-2.
17. Rogozhin E.A., Gorbaticov A.V., Stepanova M.Yu., Kharazova Yu.V., Sysolin A.I., Andreeva N.V., Pogrebchenko V.V., Chervinchuk S.Yu., Chen Jiec, Liu Jiaoc, Ovsyuchenko A.N., Lar'kov A.S. Deep Structure of the Northwestern Termination of the Caucasus from New Geological and Geophysical Data. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2020. Vol. 56. No 6. pp. 772–788. DOI: 10.1134/S1069351320060075.
18. Vinnik L.P., Kosarev G.L., Makeeva L.I., Oreshin S.I. The Caucasus and the Caspian Sea: topography of deep seismic boundaries. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2021. No. 4. pp. 47–60.
19. Yetirmishli G.D., Mammadli T.Ya., Rogozhin E.A., Sysolin A.I. Seismic Activation in the Eastern Part of the Southern Slope of the Great Caucasus in the Late XX to Early XXI Centuries. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019. Vol. 55. No. 8. pp. 870–88. DOI: 10.1134/S0001433819080024.
20. Zor E. Tomographic evidence of slab detachment beneath eastern Turkey and the Caucasus. *Geophysical Journal International*. 2008. Vol. 175. Issue 3. pp. 1273–1282.