

УДК 550.34.042.4 (642)

## Сейсмические активизации Турции в XVII в. – начале XXI в. и Кахраманмарашские землетрясения 6 февраля 2023 г.

© 2023 г. Л.И. Иогансон<sup>1</sup>, А.Н. Овсяченко<sup>1</sup>, Г.Ю. Донцова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ИФЗ РАН, г. Москва, Россия; <sup>2</sup>ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия

Поступила в редакцию 29.09.2023 г.

**Аннотация.** Представлены результаты анализа долговременного сейсмического режима за XVII в. – начало XXI в. в Турции. Показано, что фундаментальная особенность сейсмического режима Турции заключается в периодических сейсмических активизациях (СА) сильных землетрясений. За проанализированный период прослежено 14 сейсмических активизаций различной продолжительности (от 4 до 24 лет) и разным количеством событий (от 4 до 22). Последняя СА в Турции началась в 2011 г. и, вполне вероятно, не закончилась Кахраманмарашским землетрясением 2023 года. В СА, как правило, вовлечены основные сейсмоактивные области страны (приэгейское побережье, Северо-Анатолийский и Восточно-Анатолийский разломы), но с отчётливым доминированием определённой сейсмоактивной области при пониженной активности других. Анализ исторической сейсмичности показывает, что сильные землетрясения по простиранию Северо-Анатолийского и Восточно-Анатолийского разломов во многих случаях происходят в одних и тех же очаговых зонах, подтверждая концепцию сейсмических очагов как унаследованных геологических структур, что, возможно, служит важным прогностическим признаком. Кахраманмарашские землетрясения 6 февраля 2023 г. произошли в рамках последней СА, начавшейся в 2011 году. Возникновение этой сложной очаговой зоны на южном сегменте Восточно-Анатолийского разлома вписывается в картину смещения сейсмических очагов с севера на юг по этому разлому в XX в. и, вероятно, связано с оживлением более древних сейсмических очагов.

**Ключевые слова:** землетрясение, сейсмический режим, сейсмическая активизация, каталог землетрясений, магнитуда, интенсивность, кумулятивный сейсмический момент, Турция, Кахраманмарашское землетрясение.

**Для цитирования:** Иогансон Л.И., Овсяченко А.Н., Донцова Г.Ю. Сейсмические активизации Турции в XVII в. – начале XXI в. и Кахраманмарашские землетрясения 6 февраля 2023 г. // Российский сейсмологический журнал. – 2023. – Т. 5, № 4. – С. 20–40. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2023.4.02>. – EDN: IMNEAF

### Введение

Турция относится к одной из наиболее сейсмоактивных стран мира. За исторический период в ней произошли сотни сильных разрушительных землетрясений. Последнее катастрофическое двойное землетрясение 6 февраля 2023 г. на юго-востоке страны привело к огромным человеческим жертвам (более 50 тыс. погибших) и разрушениям более чем в десяти городах. Землетрясения 2023 г. стали сильнейшими для Восточно-Анатолийской зоны разломов не только на инструментальном этапе наблюдений, но и за всю известную сейсмическую историю. В среде турецких специалистов устоялось общее название – Кахраманмарашские землетрясения.

Первое землетрясение названо Пазарджикским ( $M_w=7.8$ ), а второе – Эльбистанским ( $M_w=7.7$ ) [Esat, Seyitoğlu, 2023; Özacar et al., 2023; Utkusu et al., 2023]. Они произошли с разницей в девять часов и вызвали мощную афтершоковую последовательность. Магнитуды землетрясений превысили прогнозируемый потенциал сегментов Восточно-Анатолийской зоны разломов [Duman, Emre, 2013; Güvercin et al., 2022], а очаги охватили сразу несколько крупнейших структур.

Кроме колоссального разрушительного эффекта, это землетрясение внесло коррективы в устоявшиеся в научном сообществе представления о сейсмическом потенциале и сейсмической опасности страны. В статье приводится характеристика основных общепризнанных

сейсмогенерирующих структур Турции и принципов оценки их сейсмического потенциала и сейсмической опасности. Показано, что важные дополнительные сведения в этом отношении могут быть получены с использованием расчётов кумулятивного сейсмического момента и, особенно, анализа долговременного сейсмического режима, фундаментальная особенность которого в сейсмоактивных областях заключается в периодическом группировании сильных землетрясений, называемом сейсмическими активизациями. Изучение сейсмического режима, как и введение самого понятия в научный обиход, остаётся прерогативой отечественной сейсмологии. Однако и в нашей стране этот важнейший аспект долговременного сейсмического режима остаётся на периферии научного дискурса. Зарубежная сейсмология и вовсе сосредоточена на изучении иных аспектов сейсмогенеза, хотя и в ней развивается направление по изучению кластеризации сейсмических толчков, но в более узких временных рамках, ограничиваясь форшоковыми и афтершоковыми процессами. Между тем, с начала XXI в. человечество оказалось перед лицом очевидной сейсмической активизации, ознаменовавшейся рядом катастрофических землетрясений в Японии, Китае, Индии, Таиланде, Индонезии, Чили, Мексике и, наконец, в Турции в феврале 2023 года. Именно Турция как одна из наиболее сейсмоактивных стран, имеющая длительную задокументированную сейсмологическую историю, представляет наиболее благоприятный объект для изучения этого природного феномена с выходом на решение актуальных фундаментальных и прикладных задач.

### Основные сейсмогенерирующие структуры Турции

В сеймотектоническом отношении Турция довольно хорошо изучена. На её территории к общепризнанным наиболее сейсмоактивным зонам относится западное приэгейское побережье и прилегающие острова с развитием сбросовых грабенообразных структур. Особенно часто разрушительным толчкам подвергался Измир (начиная с XVII в., в 1654, 1680, 1688, 1719, 1723, 1776, 1778, 1846, 2020 гг.), хотя при этом не всегда ясно расположение сейсмического очага. Вполне вероятно, что в ряде случаев, как и при землетрясении 2020 г., очаг располагался в Эгейском море или на острове Самос. Внутриконтинентальные сейсмоактивные зоны образуют Северо-Анатолийский и Восточно-Ана-

толийский разломы соответственно право- и левосторонней сдвиговой кинематики, по которым реализуется компенсация динамического взаимодействия Анатолийской, Аравийской и Евразийской и плит [Şengör et al., 2005; Hubert-Ferrari, 2007].

Важнейшая сейсмогенерирующая структура Турции представлена дугообразным Северо-Анатолийским разломом (САР) субширотного простирания, нарушающим всю северную часть страны и разветвляющимся в восточной части Мраморного моря на две или даже три главные ветви, а также на ряд более мелких дизъюнктивов в его акватории [Ambraseys, Jackson, 2002; Şengör et al., 2005; Bayrak et al., 2011]. Именно с Северо-Анатолийским разломом связано самое сильное из известных в историческое время землетрясений в Турции – Северо-Анатолийское 17 августа 1668 г. с эпицентром на южном побережье озера Ладик и магнитудой 7.8–8, а также повышенная сейсмическая активность разлома в XX в., в том числе Эрзинканское землетрясение 26 декабря 1939 г. (сильнейшее в XX в. ( $M=7.8$ ) до событий 6 февраля 2023 г.) [Bohnhoff, 2016].

По особенностям морфологии и зафиксированной сейсмичности Северо-Анатолийский разлом подразделяется на ряд сегментов. Bayrak с соавторами [Bayrak et al., 2011] с запада на восток выделяют девять сегментов: Saroz Gulf, Marmara Sea, İzmit-Düzce, the Southern Branch of NAF, the Southern of Marmara, Düzce-Tosya, Tosya-Erbaa, Tokat-Erzincan, the Eastern of Erzincan. Как видно из этого районирования, пять из выделенных сегментов относятся к западной части разлома, включая периметр Мраморного моря и приэгейскую зону. Западные сегменты САР и восточный (Эрзинканский) обладают повышенным сейсмическим потенциалом по сравнению с его центральными частями. Особое значение этого разлома заключается ещё и в том, что в зоне его влияния находится Стамбул, где сильные землетрясения известны с древнейших времён, а наиболее разрушительные с  $M \geq 7$  произошли в 557, 1509, 1754, 1766, 1894 гг. В районе Стамбула зафиксирован и ряд событий с меньшими магнитудами (1642, 1648, 1690 гг.). Кроме того, заслуживают внимания сильнейшие землетрясения в Измите, в восточной части Мраморного моря, ощущавшиеся и в Стамбуле (19 апреля 1858 г. с  $M=6.8$ , 19 апреля 1878 г. с  $M=6.8$ , 17 августа 1999 г. с  $M=7.6$ ). Более того, некоторые события с эпицентрами в Измитском заливе называются Стамбульскими. Так, землетрясения 25 мая 1719 г. (по различным оценкам  $M$  в диапазоне

от 6.8 до 7.4) и 10 июля 1894 г. ( $M=7$ ), эпицентры которых располагались в Измитском заливе на востоке Мраморного моря, принято называть Стамбульскими. В южной ветви САР, в провинции Бурса, известны землетрясения с  $M>6$  (1754, 1794, 1855, 1860, 1964 гг.).

Восточно-Анатолийский разлом (ВАР), сочленяясь с Северо-Анатолийским в зоне его восточного затухания в районе Карлиова, относящейся к надвиго-складчатой Анатолии, образуя зону тройного сочленения, простирается в юго-западном направлении до залива Искендерун, где в свою очередь образуется зона тройного сочленения между ВАР, разломом Мёртвого моря (Левантийским разломом) и Критской дугой [Duman et al., 2013; Hubert-Ferrari et al., 2020; Güvercin et al., 2022]. Восточно-Анатолийский разлом также подразделяется на ряд сегментов. С северо-востока на юго-запад по его простиранию выделяются сегменты Karliova, Ilica, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcik, Amanos [Duman et al., 2013]. Каждый из сегментов характеризовался сильным историческим землетрясением. При этом события с  $M\geq 7$  происходили до XX в. (1789 г. с  $M=7.2$ , Palu; 1795 г. с  $M=7.0$ , Pazarcik; 1866 г. с  $M=7.2$  Karliova; 1872 г. с  $M=7.2$ , Amanos; 1874 г. с  $M=7.1$ , Palu; 1893 г. с  $M=7.1$ , Erkenek (Малатья)). Предположительно к сегменту Пазарджик приурочено сильнейшее землетрясение 1513 г. с  $M_s=7.4$ .

В отличие от Северо-Анатолийского, Восточно-Анатолийский разлом был практически пассивным на протяжении XVII в. — первой половины XIX века. Более того, в работе [Ambraseys, 1989] указывается на отсутствие здесь землетрясений с  $M\geq 6.6$  в период с 1544 до 1789 года. Для XVIII в. есть сведения о землетрясении 1789 г. в районе Элазига (датируемого концом мая — началом июня) с  $M=7.2$  [Köküm, Özçelik, 2020]. По историческим источникам реконструировано землетрясение 29 ноября 1795 г. в Кахраманмараше ( $M=7.0$ , интенсивностью VIII баллов) [Palutoğlu, Sasmaz, 2017]. В XIX в. с Восточно-Анатолийским разломом связаны высокомагнитудные землетрясения 1866, 1874, 1875, 1893 гг. (табл. 1) [Ambraseys, Jackson, 2002; Pousse-Beltran et al., 2020; Stucchi et al., 2022]. С зоной слияния Восточно-Анатолийского разлома с дизъюнктивом Мёртвого моря также ассоциируется катастрофическое землетрясение Алеппо 1822 года.

В различных участках Северо-Анатолийского и Восточно-Анатолийского разломов были проведены палеосейсмологические исследования, показавшие наличие следов древних сильных землетрясений [Cetin et al., 2003; Hartleb et al.,

2006; D'Addezio et al., 2007; Pousse-Beltran, 2020]. В качестве едва ли не главного прогностического признака при выделении наиболее сеймоопасных зон турецкие сейсмологи рассматривают сейсмические бреши по отсутствию сильных событий на участках, ограниченных эпицентрами более ранних землетрясений. Эти же материалы служили основанием для оценки периодов повторяемости сильных толчков, которые варьировали в широких пределах — от 100 до 1000 лет [Ambraseys, Jackson, 2002; Çoban, Sayil, 2020; Güvercin et al., 2022].

Таким образом, оба крупнейших внутриконтинентальных дизъюнктива (а точнее разломные зоны) обоснованно расцениваются как важнейшие сейсмогенерирующие структуры, неоднократно порождающие сейсмические катаклизмы. Однако в XX в. Восточно-Анатолийский разлом был намного спокойнее в сейсмическом отношении по сравнению с Северо-Анатолийским разломом, зафиксированные здесь землетрясения не достигали значений  $M$ , равных семи, а тем более их превышающих. Начиная с 1905 г. здесь произошёл ряд землетрясений с  $M_w\geq 6.5$  (1905, 1949, 1971, 1966, 2020 гг.).

В связи с этим не удивительно, что в последние десятилетия Северо-Анатолийский разлом вызывал первостатейное внимание специалистов при оценке сейсмической опасности страны, особенно его западные сегменты. Так, в работе [Ambraseys, Jackson, 2000] проанализирована сейсмичность Мраморного моря за 500 лет, начиная с 1500 года. Авторы показали, что сейсмическая активность этого региона заметно усилилась в XX в., когда здесь произошло шесть землетрясений с  $M_s\geq 7$ . При этом отмечено, что в Стамбульском регионе магнитуды землетрясений ниже, чем в восточном и западном секторе Мраморного моря. В свою очередь, северное побережье, находящееся в зоне влияния северной ветви Северо-Анатолийского разлома, более сейсмоактивно по сравнению с южным побережьем, где проходит южная ветвь Анатолийского разлома. В регионе наблюдались периоды отсутствия землетрясений с  $M_s\geq 6.8$  (1556–1719 и 1766–1855 гг.), т.е. максимальная длительность затишья составляла 163 года. Выделены также зоны затишья, наблюдавшиеся за 500 лет между эпицентрами Стамбульского 1509 г. и Текирдагского землетрясения 1912 г. в западной части Северо-Анатолийского разлома, включая, таким образом, всё северное побережье Мраморного моря. Вторая зона затишья связана с южным побережьем Мраморного моря восточнее Бурсы [Ambraseys, Jackson, 2000]. Как район первоочередной сейсмической опасности

разломное ограничение Мраморного моря расценивалось и в работе [Bayrak et al., 2011].

Меньшую обеспокоенность вызывал сейсмический потенциал ВАР, который, по всем признакам, уступал в этом отношении Северо-Анатолийскому разлому и был как бы заперт («locked»), пребывая в затяжном сейсмическом затишье [Ambraseys, 1989]. Только после трагических последствий февраля 2023 г., связанных с двойным Кахраманмарашским землетрясением, Восточно-Анатолийский разлом привлёк повышенное внимание специалистов. Особенно реактивировался интерес к работе [Nalbant et al., 2002], в которой обозначалась длительно существующая сейсмическая брешь на сегментах Pazarcık и Amanos между эпицентрами Марашского 1513 г. и Алеппо 1822 г. землетрясений.

### Сейсмо тектоническая позиция очагов Кахраманмарашских землетрясений 2023 г.

На уровне крупнейших тектонических структур очаги землетрясений 2023 г. привязываются

к границе Аравийской плиты и Альпийско-Гималайского подвижного пояса. Здесь трассируется Восточно-Анатолийская зона разломов – крупнейшая разломная структура длиной около 600 км, реализующая до 2/3 общего смещения между Аравийской плитой и Анатолийским блоком Альпийско-Гималайского пояса [Duman, Emre, 2013]. Скорость левого сдвига за последние 4 млн. лет оценена в 8 мм/год [Westaway, 2004], а за последние 0.9–0.8 млн. лет она может достигать 13–15 мм/год [Трифонов, 2017]. Согласно историческим данным, центральный участок отрезка Восточно-Анатолийской зоны разломов, активизированного при первом землетрясении 2023 г., представлял собой наиболее опасный район – сейсмическую брешь с накоплением напряжений после сильных землетрясений 1513 г. с  $M=7.4$  и 1822 г. с  $M=7.5$  [Nalbant et al., 2002].

Очаги обоих землетрясений вышли на поверхность. На момент составления схемы (рис. 1) с наибольшей представительностью сеймотектонические разрывы закартированы по дистанционным данным как путём прямого выявления

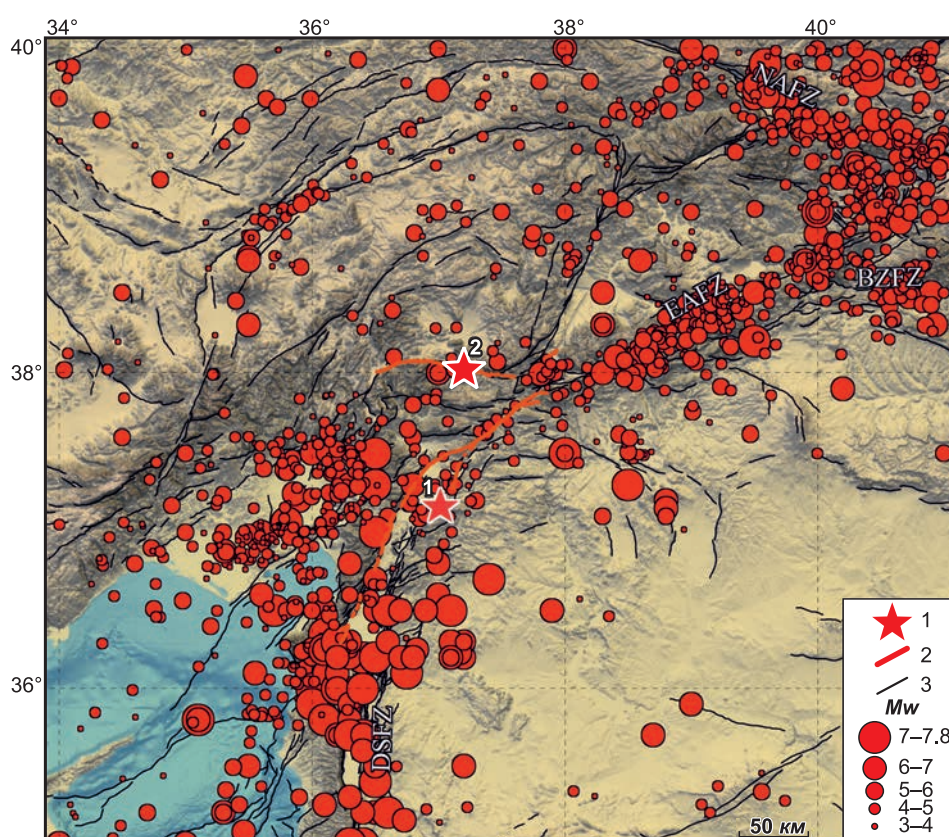


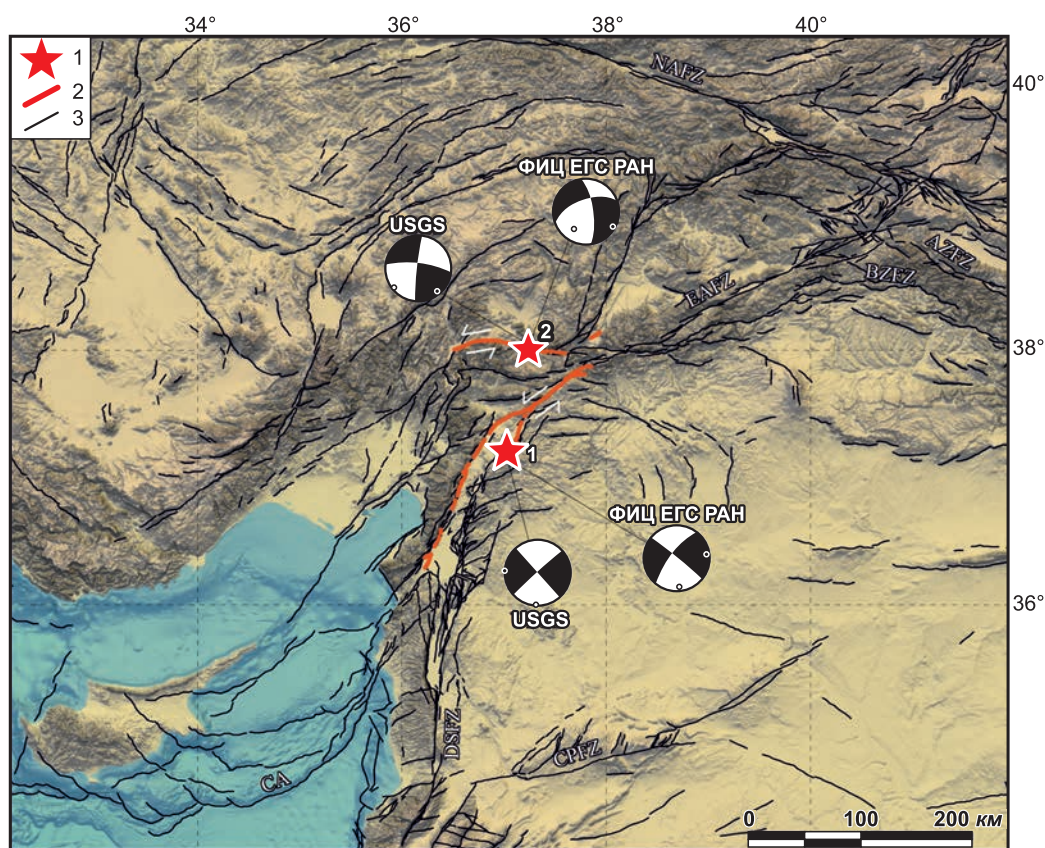
Рис. 1. Сейсмичность района очагов Кахраманмарашских землетрясений.

1 – эпицентры основных толчков (1 – 06.02.2023 г. в 01:17, Пазарджикское; 2 – 06.02.2023 г. в 10:24, Эльби-станское); 2 – сеймотектонические разрывы [Esat, Seyitoğlu, 2023]; 3 – активные разломы [Emre et al., 2013; Бачманов и др., 2017]. Крупнейшие разломные структуры: NAFZ – Северо-Анатолийская зона разломов; EAFZ – Восточно-Анатолийская зона разломов; СА – Кипрская дуга; DSFZ – зона разломов (Трансформа) Мёртвого моря; CPFZ – зона разломов Центральных Пальмирид; BZFZ – Битлис-Загросская зона разломов

свежих разрывов с полевой заверкой на отдельных участках [Esat, Seyitoğlu, 2023], так и посредством моделирования данных космической съёмки [Reitman et al., 2023; Karabulut et al., 2023; Barbot et al., 2023]. Кинематика сейсмотектонических разрывов первого, Пазарджикского, землетрясения соответствует решению механизма очага и представляет собой левый сдвиг северо-восточного простирания. Оценки длины системы разрывов — от 240 км [Esat, Seyitoğlu, 2023] до 320 км [Reitman et al., 2023]. Структурный рисунок закартированной системы разрывов сложный. В районе инструментального эпицентра происходит изгиб ориентировки системы разрывов с близмеридиональной (ССВ) на северо-восточную. Здесь же появляется обособленная короткая ветвь субмеридионального (ССВ) простирания. Максимальные горизонтальные смещения по основному сегменту варьируют от 4 м [Esat, Seyitoğlu, 2023] до 7 м [Özacar et al.,

2023; Utkusu et al., 2023]. Вертикальное смещение составляет 1–2 м, поднято восточное крыло [Utkusu et al., 2023]. Очаг землетрясения охватил не менее трёх ранее выделенных сегментов Восточно-Анатолийской зоны разломов и короткий участок на северном окончании зоны разломов (Трансформы) Мёртвого моря (рис. 2).

Очаг второго, Эльбистанского, землетрясения охватил не менее двух сегментов. Основной сегмент был закартирован ранее [Emre et al., 2013], но восточное окончание системы разрывов не увязывается с известными активными разломами. Общее простирание системы разрывов — субширотное, длина — около 135 км [Esat, Seyitoğlu, 2023]. Решения механизма очага варьируют от преимущественно левого сдвига (USGS) до левого сдвига с взбросовой компонентой (ФИЦ ЕГС РАН) по плоскости субширотного простирания. Максимальная величина левого сдвига по основному сегменту составила 8.5 м [Esat, Seyitoğlu, 2023].



**Рис. 2.** Сейсмотектоническая схема района очагов землетрясений 06.02.2023 г. с механизмами очагов по данным ФИЦ ЕГС ФИЦ РАН и USGS.

1 — эпицентры основных толков (1 — 06.02.2023 г. в 01:17, Пазарджикское; 2 — 06.02.2023 г. в 10:24, Эльбистанское); 2 — сейсмотектонические разрывы [Esat, Seyitoğlu, 2023]; 3 — активные разломы [Emre et al., 2013; Бачманов и др., 2017]. Крупнейшие разломные структуры: NAFZ — Северо-Анатолийская зона разломов; EAFZ — Восточно-Анатолийская зона разломов; CA — Кипрская дуга; DSFZ — зона разломов (Трансформа) Мёртвого моря; CPFZ — зона разломов Центральных Пальмирид; BZFZ — Битлис-Загросская зона разломов; AZFZ — Анатолийско-Загросская зона разломов

Можно полагать, что очаг Эльбистанского землетрясения 2023 г. возник как отклик на подвижку по Восточно-Анатолийской зоне разломов при первом землетрясении. Левосдвиговая подвижка по субширотному разрыву частично компенсировала вращение блока в западном крыле Восточно-Анатолийской зоны разломов. Общий структурный рисунок, образованный очагами 2023 г., имеет незаконченный вид, что позволяет предположить возможность нового сильного землетрясения в недалёком будущем.

Как сопряжённые сейсмотектонические события очаги землетрясений 2023 г. укладываются в зону концентрированных деформаций (shear zone) шириной 150–200 м, объединяемых в Анатолийскую диагональ [Seyitoğlu et al., 2022]. Анатолийская диагональ выражена в рельефе цепочками среднегорных хребтов и впадин, вытянутых вдоль активных разломов, а в поле деформаций – сочетанием вращающихся блоков. По всем этим разломам закартированы поздчетвертичные левосдвиговые смещения с уступающей по величине взбросовой компонентой [Emre et al., 2013].

Магистральная Восточно-Анатолийская зона разломов ограничивает Анатолийскую диагональ с юго-востока. В центральном сегменте Анатолийской диагонали активные разломы имеют преимущественно северо-восточную ориентировку и левосдвиговую кинематику смещений. На севере Анатолийская диагональ под тупым углом сочленяется с Северо-Анатолийской правосдвиговой зоной разломов северо-западного простирания. К востоку от пересечения с Восточно-Анатолийской зоной разломов основной правый сдвиг северо-западного простирания представлен Анатолийско-Загросской зоной разломов. В покровно-складчатой системе Загроса развиваются параллельные этому сдвигу складчато-надвиговые структуры [Трифонов, 2017]. На юге Анатолийской диагонали активные разломы принимают субширотную ориентировку и выражены чешуйчатой системой взбросо-надвигов Кипрской дуги. В этом же районе происходит эшелонировано устроенное сочленение с крупнейшей разломной структурой западного обрамления Аравийской плиты – Трансформой Мёртвого моря субмеридионального простирания [Westaway, 2004].

Очаг первого землетрясения 2023 г. охватил как значительный участок Восточно-Анатолийской зоны разломов, так и короткий отрезок Трансформы Мёртвого моря субмеридионального простирания. Таким образом, очаг возник в крупнейшем сейсмотектоническом узле трой-

ного сочленения Восточно-Анатолийской зоны разломов, Трансформы Мёртвого моря и Кипрской дуги. Кроме этого, было реализовано тектоническое вращение блока по часовой стрелке в северо-западном крыле Восточно-Анатолийской зоны разломов, вызвавшее второе сильное землетрясение. Эта тенденция отразила общий стиль деформаций во внутренних частях Анатолийской диагонали.

### Сейсмический режим Турции

#### *Сейсмический режим Турции в XVII–XIX вв.*

При достаточно надёжной обеспеченности данными по исторической сейсмичности и удовлетворительной сейсмологической и сейсмотектонической изученности Турции обращает на себя внимание дефицит работ о долговременном сейсмическом режиме страны. Материалы исторических каталогов используются исследователями преимущественно для выделения сейсмических брешей как диагностического признака при оценке сейсмической опасности и, наряду с сейсмотектоническими и палеосейсмологическими данными, определения периода повторяемости землетрясений. Общие (и заметим, малообоснованные) соображения о циклическом характере сейсмичности со столетним периодом и западным трендом приводятся в работе [Şengör et al., 2005]. 100-летние сейсмические циклы и более длительные гиперциклы (до 1800 лет) для центральной части Альпийско-Гималайского орогенного пояса рассматриваются в работе В.Г. Трифонова [Трифонов, 2013]. Отдельные работы анализируют по сути кратковременный сейсмический режим применительно к отдельным ограниченным участкам. Так, в работе [Güvercin et al., 2022] анализируется общая сейсмичность для периода с 2007 по 2019 г. для центрального и южного сегментов Восточно-Анатолийского разлома. Между тем представляется, что изучение именно долговременного сейсмического режима в терминах сейсмических активизаций, т.е. группирования во времени сильных землетрясений, способствует более полному представлению о характере высвобождения сейсмической энергии в пределах главных сейсмогенерирующих структур и тем самым предоставляет дополнительные прогностические возможности.

В работе «Сейсмические активизации в Италии, Греции и Турции в XVII–XIX вв.» проанализирован сейсмический режим в названных странах Средиземноморья за 300 лет и показано, что выразительной его особенностью было наличие

во всех названных странах ряда активизаций сильной сейсмичности (рассматривались землетрясения с  $M_w \geq 6$  и интенсивностью  $\geq IX$  баллов) по данным каталога [Stucchi et al., 2012] [Ioganson, 2022]. В частности, в Турции за этот период,

по уточнённым данным, произошло 83 землетрясения с  $M_w \geq 6$ , в том числе 21 – с  $M \geq 7$ . В табл. 1 перечислены учтённые в анализе землетрясения с географической привязкой.

**Таблица 1.** Сильные землетрясения Турции в XVII–XIX вв. ([Ioganson, 2022], в таблицу внесены уточнения и дополнения)

№	Дата, гггг.мм.дд	Локализация	$M_w$	$I$ , баллы
1	1609.04	о. Родос (Эгейское море)	7.2	IX
Сейсмическая активизация I				
2	1642.08.19	Стамбул	6.2	VIII
3	1646	Назилли (Nazilli), Западная Турция	6.3	VIII
4	1648.06.21	Стамбул	6.1	VIII
5	1651.06.08	Лаодикея (Laodicea), Западная Турция, близ Денизли	6.5	IX
6	1653.02.22	Айдын (Aydın, Западная Турция)	6.7	X
7	1654.05.20	Измир (İzmir, Западная Турция)	6.2	VIII
8	1659.02.17	Redestos (западная часть Северо-Анатолийского разлома)	7.1	VIII
Сейсмическая активизация II				
9	1668.07.03	Болу – Кастамону (Bolu – Kastamonu), Северная Турция	6.2	VIII
10	1668.08.17	Северная Турция, южное поб-е озера Ладик, на Северо-Анатолийском разломе	7.8–8.0	IX
11	1669.10.26	Эгейское море (западное продолжение Северо-Анатолийского разлома)	6.8	–
12	1672.02.14	о. Бозджаада (Bozcaada) у западного поб-я Турции	7.1	VIII
Сейсмическая активизация III				
13	1680.02.14	Измир (İzmir, Западная Турция)	6.1	VIII
14	1685.11.22	Восточно-Анатолийский разлом (Gonek)	6.7	
15	1688.07.10	Измир (İzmir, Западная Турция)	6.8	X
16	1688.09.10	Балыкесир (Balıkesir, Западная Турция)	6.8	VIII
17	1689.04.25	Эдирне (Edirne/Andrianoğlu, европейская часть Турции)	6.1	VII
18	1690.07.11	Стамбул	6.1	VIII
19	1702.02.25	Денизли (Denizli, Юго-Западная Турция)	6.8	IX–X
20	1709.07.03	Фоча (Foça, западное побережье Турции)	6.4	IX
Сейсмическая активизация IV				
21	1717.11.19	Денизли (Denizli, Юго-Западная Турция)	6.5	IX
22	1719.03	Измир (İzmir, Западная Турция)	6.2	VIII
23	1719.05.25	Измит (İzmit, восточное побережье Мраморного моря)	6.8–7.4	IX–X
24	1723.08	Измир (İzmir, Западная Турция)	6.3	VIII
Сейсмическая активизация V				
25	1737	Стамбул	6.2	VIII
26	1737.03.06	Эзине (Ezine, северо-западное поб-е Турции)	7.4	X
27	1739.04.04	Фоча (Foça, западное поб-е Турции)	6.8	IX–X
28	1741.01.31	о. Родос (Эгейское море)	7.4	VIII
Сейсмическая активизация VI				
29	1751.06.18	о. Самос (Эгейское море)	6.7	IX–X
30	1754.09.02	Гейве (Geyve), южная ветвь Северо-Анатолийского разлома	6.9	IX–X
31	1755.02.24	Митилена (Mytilene), о. Лесбос, Эгейское море	6.8	IX–X
32	1756.02.13	о. Родос (Эгейское море)	7.5	VII
33	1763.09.03	Стамбул	6.2	VIII
34	1765.11.15	о. Лемнос (Эгейское море)	6.8	–
35	1766.05.22	Стамбул, эпицентр в восточной части Мраморного моря, у Принцевых островов	7.1	IX
36	1766.08.05	Мраморное море	7.1	IX–X
37	1771.09.01	Кемальпаша (Kemalpaşa, Западная Турция)	6.6	IX
38	1772.11.24	Фоча (Foça, западное побережье Турции)	6.2	VIII
39	1776.06.16	Измир (İzmir, Западная Турция)	6.2	VIII
40	1778.07.03	Измир (İzmir, Западная Турция)	6.6	IX
Сейсмическая активизация VII				
41	1784.07.23	Эрзинкан, Северо-Анатолийский разлом	7.6	

№	Дата, гггг.мм.дд	Локализация	$M_w$	$I$ , баллы
42	1789.05-06.28-02	Элазиг, Палу (Elazig, Palu), Восточно-Анатолийский разлом	7.2	
43	1794.08.05	Proussa, (соответствует современной Бурсе к югу от восточного поб-я Мраморного моря)	6.1	VII
44	1795.11.29	Кахраманмараш, (Kahramanmaraş), Восточно-Анатолийский разлом	7.0	VIII
45	1809.02.07	Эскистанбул (Eskistanbul, Западная Турция)	6.9	VIII
46	1822.08.13	Алеппо, Сирия (Aleppo), в зоне сочленения разлома Мёртвого моря и Восточно-Анатолийского разлома	7.5	X
47	1826.02.08	Эзине (Ezine), Западная Турция	6.3	VIII
Сейсмическая активизация VIII				
48	1843.10.18	о. Халки (Chalke), Эгейское море, близ о. Родос	6.5	VIII–IX
49	1845.06.23	Маниса (Manisa, Западная Турция)	6.7	IX
50	1845.12.01	Западное поб-е Турции и прибрежные острова – Лесбос, Хиос	6.2	VIII
51	1846.06.25	о. Самос (Эгейское море)	6.1	VII–VIII
52	1846.06.25	Измир (İzmir, Западная Турция)	6.1	VII–VIII
53	1850.04.19	Район оз. Улубат (к югу от Мраморного моря)	6.7	VIII
54	1851.02.28	Leivesio (Южная Турция)	6.8	X
55	1855.02.28	Proussa, современная Бурса, южное поб-е Мраморного моря	7.0	X
56	1855.04.11	Proussa, современная Бурса, южное поб-е Мраморного моря	6.7	IX
57	1856.11.25	о. Хиос (Chios, Эгейское море)	6.1	VIII
58	1859.08.21	о. Гёкчеада (Gökçeada/İmroz, север Эгейского моря)	6.8	IX
59	1860.06.07	Proussa, современная Бурса	6.2	VIII
60	1860.08.06	о. Самотраки (Samothrace, север Эгейского моря)	6.2	VII
61	1862.03.24	о. Родос (Эгейское море)	6.2	VII
62	1862.11.03	Тургутлу (Turgutlu, Западная Турция)	6.5	IX
63	1863.04.22	о. Родос (Эгейское море)	7.5	X
64	1863.11.06	Умурбей (Umurbey, к югу от Мраморного моря)	6.3	VIII
65	1865.02.23	Midili, западная часть Северо-Анатолийского разлома	6.4	VIII
66	1865.07.23	Моливос (Molyvos, о. Лесбос – западное окончание Северо-Анатолийского разлома)	6.6	VIII
67	1865.11.11	о. Хиос (Chios, Эгейское море)	6.2	VIII
68	1866.05.12	Бингель, Восточно-Анатолийский разлом	7.2	IX
69	1867.03.07	Клюмидадос, о. Лесбос, Эгейское море	6.9	X
Сейсмическая активизация IX				
70	1872.04.03	Amik (Antakya) (по координатам практически совпадает с Алеппо 1822 г.)	7.0–7.2	XI
71	1874.05.03	(Gölcük Gölü), в зоне Элазига (Восточно-Анатолийский разлом)	7.1	
72	1875.03.27	Gölcük Gölü, Восточно-Анатолийский разлом	6.7	
73	1878.04.19	Измит (İzmit, восточное поб-е Мраморного моря)	6.8	VIII
74	1880.07.29	Менемен (Menemen, Западная Турция)	6.2	IX
75	1881.04.03	о. Хиос (Chios, Эгейское море)	6.5	IX
76	1883.10.15	Чешме (Çeşme, западное поб-е Турции)	6.7	IX
Сейсмическая активизация X				
77	1889.10.26	Chidyra, о. Лесбос	6.8	X
78	1893.02.09	о. Самотраки (Samothrace, север Эгейского моря)	6.8	IX
79	1893.03.03(28)	Малатья (Malatya), Восточно-Анатолийский разлом, к югу от Элазига	7.0–7.1 (6.8–7.0)	X
80	1894.07.10	Стамбул, Измитский залив	7.2	VIII–IX
81	1895.08.19	Айдын (Aydın, Западная Турция)	6.6	IX
82	1898.01.29	Балыкесир (Balıkesir, Западная Турция)	6.9	X
83	1899.09.20	Назилли (Nazilli, Западная Турция)	6.7	IX
84	1903.04.29	Малазгирт (Malazgirt), зона влияния Восточно-Анатолийского разлома	7.0	X
85	1905.12.04	Малатья (Malatya), Восточно-Анатолийский разлом	6.8	X

Примечание: курсивом выделены землетрясения, не входящие в СА.

Проанализированный материал по сильной сейсмичности Турции за XVII–XIX вв. показывает, что намечается устойчивая тенденция группирования землетрясений с  $M \geq 6.5$  в отдельные серии, образующие периоды сейсмических активизаций. Сильные события между СА

относительно редки или отсутствуют полностью (табл. 1). За 300 лет в Турции прослеживается десять СА, при этом последняя активизация включает два землетрясения XX века. Продолжительность СА колеблется в широких пределах – от 4 до 27 лет при количестве землетрясений



– от 4 до 22. Интервалы или периоды относительного затишья между СА изменяются от 5 до 27 лет (исключение и некоторые сомнения связаны с необычно длительным периодом в 48 лет между VII и VIII СА) (табл. 2).

**Таблица 2.** Сейсмические активизации в Турции в XVII–XIX вв. ([Ioganson, 2022], в таблицу внесены уточнения и дополнения)

СА	Годы	Продолжительность СА, лет	Число событий в СА	Интервалы между СА, лет
I	1642–1659	17	8	
II	1668–1672	14	4	9
III	1680–1690	10	6	8
IV	1717–1723	6	4	27
V	1737–1741	4	4	14
VI	1751–1778	27	12	10
VII	1784–1795	12	5	6
VIII	1843–1867	24	22	48
IX	1872–1883	12	7	5
X	1889–1905	17	9	6

В пространственном отношении подавляющее количество сильных землетрясений связано с западными областями страны, включая острова в Эгейском море. На протяжении XVII–XIX вв. и первой половины XX в. этот регион лидировал по числу сильных землетрясений. Несмотря на то, что их магнитуды оценивались в диапазоне 6–7, интенсивность сотрясений нередко достигала X баллов (табл. 1 и 3). Только в XX в. землетрясение Айвалик 18 ноября 1919 г., с очагом между Эгейским и Мраморным морем, характеризовалось магнитудой 7, равно как и Эгейское землетрясение 30 октября 2020 года.

Несколько весьма сильных землетрясений произошло в зоне Северо-Анатолийского разлома, в том числе рассматриваемое как самое сильное до последнего времени Северо-Анатолийское землетрясение 1668 г., а также ряд землетрясений по обрамлению Мраморного моря, разрушительные эффекты которых ощущались в Стамбуле. В восточной части Мраморного моря, по-видимому, находится крупный, неоднократно проявляющийся сейсмический очаг, с которым связаны, в частности, Измитские землетрясения 1719, 1894 и 1999 гг., сотрясения от которых были ощутимы и в Стамбуле.

Характерно, что в зоне влияния Восточно-Анатолийского разлома за XVII–XVIII вв. зафиксированы только три землетрясения: 28 ноября 1685 г. (Генек), 6 мая 1789 г. (Элазиг) и 29 ноя-

бря 1795 г. (Кахраманмараш). Последнее землетрясение восстановлено по архивным данным и не числится ни в местных, ни в международных каталогах [Palutoğlu, Sasmaz, 2017]. Более активно эта сейсмогенная структура начала проявляться во второй половине XIX в. – здесь произошли землетрясения в 1866 г. (Бингель) с  $M=7.2$ , в 1874, 1875 гг. (Элазиг) и 1893 г. (Малатья) с магнитудами соответственно 7.1, 6.7 и 7.0–7.1.

Весьма важная особенность сейсмического режима в рассматриваемый период заключается в заметном увеличении количества сильных событий: от XVII в. (18 землетрясений с  $M_w \geq 6$ , в т.ч. четыре – с  $M_w \geq 7$ ) к XVIII в. (26 событий с  $M_w \geq 6$ , в т.ч. с  $M_w \geq 7$ ) и далее к XIX в. (39 событий, в т.ч. с  $M_w \geq 7$ ). При этом первые два сильные землетрясения XX в. (29 апреля 1903 г. и 4 декабря 1905 г.) по сути входят в последнюю активизацию XIX в. и открывают новую географию в распределении сейсмических очагов, в которой при доминировании Северо-Анатолийского разлома заметную роль играет Восточно-Анатолийский разлом.

#### *Сейсмический режим Турции в XX в. и начале XXI в.*

Тенденция к возрастанию сильной сейсмичности, наметившаяся от XVII к XIX в., усилилась в XX в. и в начале XXI века. Данные по сильной сейсмичности заимствованы из ряда источников [ISC-GEM ..., 2022; Guidoboni et al., 2007; Stein et al., 1997; Ambraseys, 2001a; Gürboğa, 2015; Moazami-Goudarzi, Akasheh, 1977; Köküim, Özçelik, 2020; Palutoğlu, Sasmaz, 2017; Stucchi et al., 2022]. В XX в. в Турции произошло 32 землетрясения только с магнитудами  $>6.5$ , из которых землетрясения с  $M_w \geq 7$  составили 16 событий. В период с 2000 по 2023 г. произошло семь землетрясений с магнитудами  $>6.5$ , четыре из которых имели  $M_w \geq 7$ , в том числе два катастрофических толчка Кахраманмарашского землетрясения 6 февраля 2023 г. с  $M_w=7.8$  и 7.5–7.7 (табл. 3).

Опираясь на эти данные, сейсмический режим Турции за XX в. – начало XXI в. проанализирован только с учётом землетрясений с магнитудами  $>6.5$ . По своему характеру он также имеет свойство группирования сближенных во времени сильных событий, которые рассматриваются в качестве СА. Как и для предшествующего периода, контрольные промежутки между землетрясениями, образующими одну СА, составили два-пять лет. По этим критериям в рассматриваемый период выделяются четыре сейсмические активизации, разделённые периодами относительного затишья продолжительностью от 7 до 35 лет (табл. 4).

Таблица 3. Землетрясения в Турции с  $M_w > 6.5$  с 1900 по 2023 г.

№	Дата, гггг.мм.дд	Локализация	$M_w$	$I$ , баллы
1	1903.04.29	Малазгирт (Malazgirt), складчато-надвиговый комплекс, Восточная Турция	7	X
2	1905.12.04	Малатья (Malatya), Восточно-Анатолийский разлом	6.8	
Сейсмическая активизация I				
3	1912.08.09	Текирдаг, Мюрефте (Mürefte), на северо-западном поб-е Мраморного моря, к западу от Стамбула	7.3–7.4	X
4	1914.10.04	Бурдур (Burdur), Юго-Западная Турция	7.0	IX
5	1916.01.24	Алмус-Токат (Almus-Tokat), восточная часть Северо-Анатолийского разлома	7.1	
6	1919.11.18	Айвалик (Ayvalık), провинция Баликезир между Эгейским и Мраморным морем	7.0	IX
7	1924.09.13	Пазинлер (Pasinler), складчато-надвиговый комплекс Загроса	6.8	IX
Сейсмическая активизация II				
8	1938.04.19	Кирсегир (Kırşehir), Центральная Турция	6.7	IX
9	1939.09.22	Дикили (Dikili), Приэгейский регион	6.6	
10	1939.12.26	Эрзинкан (Erzincan), восточная часть Северо-Анатолийского разлома	7.8	XII
11	1942.12.20	Никсар-Эрбаа (Niksar-Erbaa), восточная часть Северо-Анатолийского разлома, западнее Эрзинканского эпицентра	7	IX
12	1943.06.20	Адапазари-Хендек (Kastamonu) (Adapazarı-Hendek), западная часть Северо-Анатолийского разлома	6.6	IX
13	1943.11.26	Тосья-Ладик (Tosya-Ladik), Северо-Анатолийский разлом, между эпицентрами двух предыдущих землетрясений	7.5–7.7	XI
14	1944.02.01	Болу-Гереди (Bolu-Gerede), западная часть Северо-Анатолийского разлома	7.5	IX–X
15	1944.10.06	Эдремит-Айвачик (Edremit-Ayvaci), в заливе Эдремит северного поб-я Эгейского моря	6.7	IX
16	1949.08.17	Карлиова (Karlıova), зона сочленения Северо-Анатолийского и Восточно-Анатолийского разломов	6.7–6.8	X
17	1951.08.13	Курсунлу-Канкири (Kurşunlu), Северо-Анатолийский разлом, восточнее эпицентра Болу-Гереди 1944 г.	6.9	IX
18	1953.03.18	Енедже-Гёнен (Yenice-Gönen), к югу от Мраморного моря	7.2–7.5	IX
19	1955.07.16	Секе (Söke), южная часть Эгейского поб-я	6.8	
20	1957.04.25	Фетиве (Fethiye), эпицентр между о. Родос и Эгейским поб-ем Турции	7.3	IX
21	1957.05.26	Абант (Abant), западная часть Северо-Анатолийского разлома	7.1	IX
Сейсмическая активизация III				
22	1964.10.06	Маньяс (Manyas), южное поб-е Мраморного моря (провинция Бурса)	6.8–7.0	IX
23	1966.08.19	Варто (Varto), зона сочленения Северо-Анатолийского и Восточно-Анатолийского разломов	6.8	IX
24	1967.07.22	Мудурну (Mudurnu), западная часть Северо-Анатолийского разлома (почти совпадает с эпицентром Абантского землетрясения 1957 г.)	7.1–7.2	
25	1970.03.28	Гедиз (Gediz), континентальная часть Западной Турции, к югу от Бурсы, Мраморного моря, к востоку от Измита	7.2	IX
26	1971.03.22	Бингель (Bingöl), северная часть Восточно-Анатолийского разлома	6.9	VIII
27	1975.09.05	Лисе (Lice), южная часть Восточно-Анатолийского разлома	6.7	VIII
28	1976.11.24	Калдриан-Мурадие (Çaldıran-Muradiye), зона влияния Битлис-Загросского складчато-надвигового пояса	7.5	X
29	1983.10.30	Эрзерум (Erzurum), складчато-надвиговый пояс	6.6–6.9	IX
30	1992.03.13	Эрзинкан (Erzincan) восточная часть Северо-Анатолийского разлома (в зоне эпицентра землетрясения 1939 г.)	6.7	IX
31	1999.08.17	Измит (İzmit - Gölcük) западная часть Северо-Анатолийского разлома, восточная часть Мраморного моря	7.6	X
32	1999.11.12	Дюрсе (Düzce) западная часть Северо-Анатолийского разлома, в 100 км восточнее эпицентра Измитского землетрясения	7.2	IX
Сейсмическая активизация IV				
34	2011.10.23	Ван (Битлис-Загросский складчато-надвиговый пояс)	7.1	VIII
35	2014.05.24	Имброс (Imbros – самый крупный остров), эпицентр в Эгейском море	6.9	VIII
36	2017.07.21	Бодрум (Bodrum), юг Эгейского побережья	6.6	
37	2020.01.24	Элазиг, Малатья (Elazığ, Malatya), Восточно-Анатолийский разлом	6.7	IX
38	2020.10.30	Самос (Samos Aegean Sea), Эгейское море	7.0	VIII
39,	2023.02.06(2)	Кахраманмараш, Газиантеп (Kahramanmaraş, Gaziantep), Восточно-Анатолийский разлом	7.8,	XII
40			7.5–7.7	

**Таблица 4.** Сейсмические активизации в Турции в XX и XXI вв.

СА	Годы	Продолжительность СА, лет	Число событий в СА	Интервалы между СА, лет
I	1912–1924	12	5	9
II	1938–1957	19	14	14
III	1964–1976	12	7	7
IV	2011–2023...	12...	7	35

Как видно из табл. 3, только между III и IV СА произошли четыре сильные землетрясения с довольно крупными интервалами между ними (от семи до девяти лет), не вписывающиеся в СА. Между тем, это были значительные события в сейсмической истории страны – среди них два землетрясения 1999 г. в западной части Северо-Анатолийского разлома в восточной части Мраморного моря. Тогда сильно пострадал г. Измит и, отчасти, Стамбул, магнитуды толчков оценивались как 7.6 и 7.2 при балльности соответственно X и IX.

Первая активизация XX в. проявилась в 1912–1924 гг. пятью землетрясениями (1912, 1914, 1916, 1919 и 1924 гг.), которые произошли в различных районах страны. Очаг землетрясения 1912 г. приурочен к сейсмоактивной зоне, очевидно контролирующей систему Северо-Анатолийского разлома в районе Мраморного моря. Здесь в предыдущие века зафиксирован ряд сильных землетрясений, ощущавшихся в Стамбуле. С восточной частью Северо-Анатолийского разлома связано землетрясение 24 января 1916 года. В западных районах страны произошли землетрясения в 1914 и 1919 гг. Очаг последнего землетрясения в этой серии расположен на востоке Турции, в складчато-надвиговой зоне альпид.

Вторая активизация XX в. в Турции охватила 19 лет – с 1938 по 1957 год. Хотя первые два землетрясения этой СА (19 апреля 1938 г. в Центральной Турции и Кирсегир, 22 сентября 1939 г. в Приэгейском регионе) произошли вне зоны влияния Северо-Анатолийского разлома, основные сейсмические события этой СА связаны с этим разломом. При этом по его простираению в 1939–1944 гг. наблюдалась отчётливая миграция сейсмических очагов с востока на запад [Toksoz et al., 1979; Stein et al., 1997; Никонов, 1999]. Начало этой серии мощных толчков положило катастрофическое 12-балльное Эрзинканское землетрясение 26 декабря 1939 г. в восточной части Северо-Анатолийского разлома. Землетрясения 1942, 1943 и 1944 гг. последовательно

вспарывали все более западные его участки, финишировав Эдремит-Айвачикским землетрясением 6 октября 1944 г. на западном затухании северной ветви этого дизъюнктива в Адриатическом море. Исключением в этой серии было землетрясение 26 ноября 1943 г., возникшее не западнее, а восточнее предыдущего. За шесть лет здесь произошло шесть землетрясений с  $M_w \geq 6.6$ , в том числе четыре – с  $M_w \geq 7$  (табл. 3). Серия этих землетрясений, однако, не исчерпала сейсмический потенциал Северо-Анатолийского разлома, где, как в рамках этой СА, так и после её завершения в 1951, 1957, 1967, 1999 гг. произошли землетрясения в зонах, не затронутых в период 1939–1944 гг., с  $M=6.9–7.6$ . Примечательно, что один из наиболее часто проявляющихся очагов на Северо-Анатолийском разломе в районе Измитского залива в этой активизации оказался в зоне затишья и активизировался только в конце века.

Через пять лет после перемещения сейсмических очагов с востока на запад по Северо-Анатолийскому разлому десятибалльное землетрясение 17 августа 1949 г. возникло на его крайнем восточном фланге в зоне сочленения с Восточно-Анатолийским разломом (Карлиова). Дальнейшие сейсмические события в этой СА происходили в западной зоне Северо-Анатолийского разлома и на Эгейском побережье.

Третья сейсмическая активизация (1964–1976 гг.) началась через семь лет 9-балльным землетрясением 6 октября 1964 г. на южном побережье Мраморного моря (Маньяс, провинция Бурса). Землетрясения 1967 и 1970 гг. возникли несколько восточнее, но так же, как и Абантское землетрясение 1957 г., тяготели к западной части Северо-Анатолийского разлома. В этой активизации заметную роль начал играть Восточно-Анатолийский разлом, где произошли землетрясения 1966, 1971 и 1975 гг., сближенные эпицентры которых последовательно смещались к югу. Завершило третью СА наиболее восточное землетрясение 24 ноября 1976 г. (Калдриан-Мурадие), тяготеющее уже к зоне влияния Битлис-Загросского складчато-надвигового пояса.

Между третьей и четвёртой СА в период с 1976 по 2011 г. произошли четыре сильные землетрясения, разделённые временными интервалами, превышающими принятые пределы для включения их в определённую СА. Два из них – 30 октября 1983 г. и 13 марта 1992 г. – приурочены к восточной части Северо-Анатолийского разлома, при этом эпицентр землетрясения 1992 г. практически совпал с эпицентром Эрзинканского землетрясения 1939 года. Два следующих

землетрясения 1999 г., в т.ч. катастрофическое Измитское 17 августа и последовавшее за ним восточнее 12 ноября, заполнили сейсмическую брешь на Северо-Анатолийском разломе, обозначившуюся во второй СА.

Четвёртая сейсмическая активизация началась в 2011 году. Последним на сегодня событием в этой активизации стала сейсмическая катастрофа 6 февраля 2023 г. – Кахраманмарашское землетрясение. Об окончании этой СА пока судить рано, учитывая наблюдавшуюся длительность СА в Турции в прошлом. Отличительная особенность последней СА – чередование землетрясений в восточной части страны, в пределах Битлис-Загросского складчато-надвигового пояса, Восточно-Анатолийского разлома и западного побережья с прилегающими островами Эгейского моря. Так, землетрясение 23 октября 2011 г. связано с Битлис-Загросским районом, а следующие землетрясения 2014 и 2017 гг. произошли на побережье и острове Эгейского моря. За ними 24 января 2020 г. последовали Элазигское землетрясение на Восточно-Анатолийском разломе, а 30 октября этого же года – разрушительный Измирский толчок, эпицентр которого находился на острове Самос в Эгейском море. И, наконец, два сильнейшие землетрясения 6 февраля 2023 г. снова возникли на Восточно-Анатолийском разломе. Характерно «молчание» в этой СА Северо-Анатолийского разлома.

### Расчёты кумулятивного скалярного сейсмического момента

Временные ряды суммарного скалярного сейсмического момента в очаговых зонах сильных землетрясений позволяют отслеживать по уровню фоновой сейсмичности стадии сейсмической активизации и сейсмического затишья. С точки зрения мониторинга сейсмической обстановки, более информативным является не временной ряд  $M_0$ , а временная зависимость кумулятивного или накопленного скалярного сейсмического момента. Фактически такая зависимость демонстрирует временной ход высвобождения сейсмостектонической деформации, так что в известном смысле возникает аналогия с графиками Бенъофа [Лутиков, Донцова, 2006].

Для изучения сейсмичности района был составлен сводный каталог сильных и умеренных землетрясений ( $3.8 < Mw < 7.8$ ) территории ( $\varphi = 35.5 - 38.5^\circ$ ;  $\lambda = 35.5 - 38.5^\circ$ ) с 37 г. по настоящее время ( $Mw \leq 5.7$  – с 1900 г.). Источниками для этого каталога служили:

– Специализированный каталог землетрясений для задач общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (СКЗ) [Уломов, Медведева, 2014];

– каталог сильных и ощутимых землетрясений Сирии и её обрамления [Трифонов и др., 2012];

– каталоги National Earthquake Information Center (NEIC) [National ..., 2023];

– каталог Global Centroid Moment Tensor Catalog (CMT) [Global ..., 2023].

В рассматриваемых каталогах приводимые данные имели разные магнитуды, поэтому в сводном каталоге все данные были унифицированы по магнитуде  $Mw$ .

Рассмотрим временной ход параметра  $M_{0cum}$  в исследуемом регионе. На рис. 3 приведена временная зависимость кумулятивного (накопленного) скалярного сейсмического момента в изучаемом регионе за период времени с 37 по 2023 год. На графике отчётливо видны несколько ступеней: 245 г. – землетрясение с  $Mw=7.6$ ; 859 г. – землетрясение с  $Mw=7.6$ ; 1114 г. – землетрясение с  $Mw=7.7$ ; 2023 г. – землетрясение с  $Mw=7.8$ ; а также несколько небольших ступеней: 1408, 1626, 1822 гг. – землетрясения с магнитудами 7.1–7.3. Прямая линия на графике представляет собой линейную регрессию, которая показывает, как в среднем в течение рассматриваемого отрезка времени происходит высвобождение  $M_{0cum}$ . В данном случае при проведении линии регрессии используется обычный метод наименьших квадратов, поскольку с ошибками определяются только ординаты [Лутиков, Донцова, 2006]. В итоге была получена следующая регрессионная зависимость:

$$M_{0cum} = 1.33209 \cdot 10^{18} \cdot t + 9.84 \cdot 10^{19}, R_c^2 = 0.9618, \quad (1)$$

где  $t$  – год, для которого может быть рассчитан суммарный сейсмический момент согласно полученной зависимости;  $R_c^2$  – квадрат коэффициента корреляции.

В соответствии с полученной зависимостью, минимальное время накопления энергии для землетрясений рассматриваемого района: магнитуды 7.1–7.2 – примерно 50 лет; для магнитуд – 7.5–7.6 – примерно 150–200 лет; для магнитуд 7.7–7.8 – 300–400 лет.

Рассмотрим временной ход зависимости накопленного скалярного сейсмического момента для события 2023 года.

Отметим, что при построении данной временной зависимости использовался десятичный логарифм кумулятивного (накопленного) скалярного сейсмического момента  $\lg(M_{0cum})$  вместо

просто  $M_{0cum}$ , как это напрашивается при постулировании равномерного хода высвобождения скалярного сейсмического момента. В теоретическом плане использование  $\lg(M_{0cum})$  практически идентично использованию  $M_{0cum}$ , поскольку первый, линейный, член разложения  $\lg(M_{0cum})$  в ряд в интервал времени  $t$  является доминирующим. С другой стороны, использование логарифмической зависимости является предпочтительным, поскольку при этом достигается сглаживание резких скачков  $M_{0cum}$ , связанных

с сильными сейсмическими событиями [Лутиков, Донцова, 2006].

На рис. 4 представлена временная зависимость десятичного логарифма кумулятивно-го (накопленного) скалярного сейсмического момента  $\lg(M_{0sum})$  за период с 1822 г. по февраль 2023 года. Линейная регрессия, аппроксимирующая ход высвобождения  $M_{0cum}$ , была построена за период времени с 1822 по 1900 г. и имеет вид:

$$\lg M_{0cum}(t) = 0.005978 \cdot t + 8.713382, R_c^2 = 0.9548. \quad (2)$$

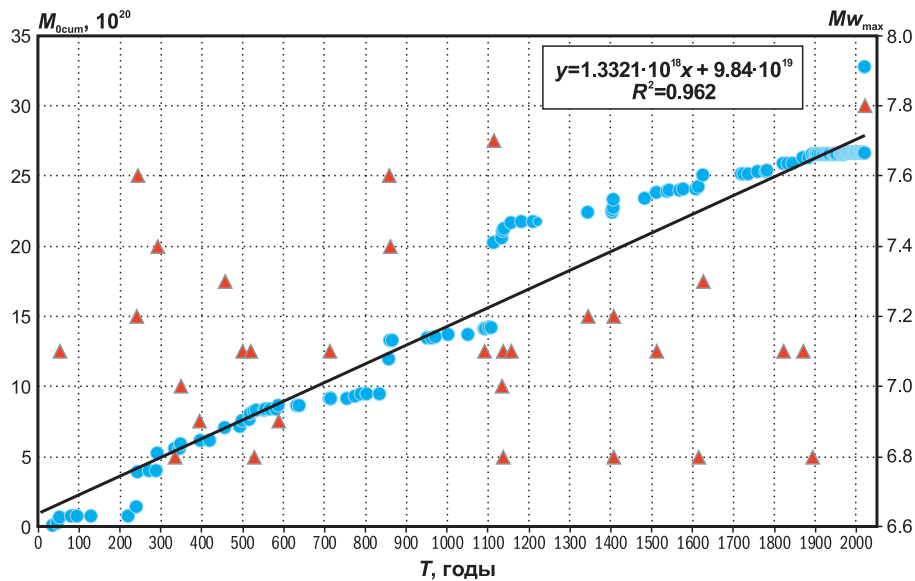


Рис. 3. Высвобождение кумулятивного скалярного сейсмического момента в 37–2023 гг.

Прямой линией показан линейный тренд. Треугольниками обозначены магнитуды землетрясений с  $M \geq 6.8$

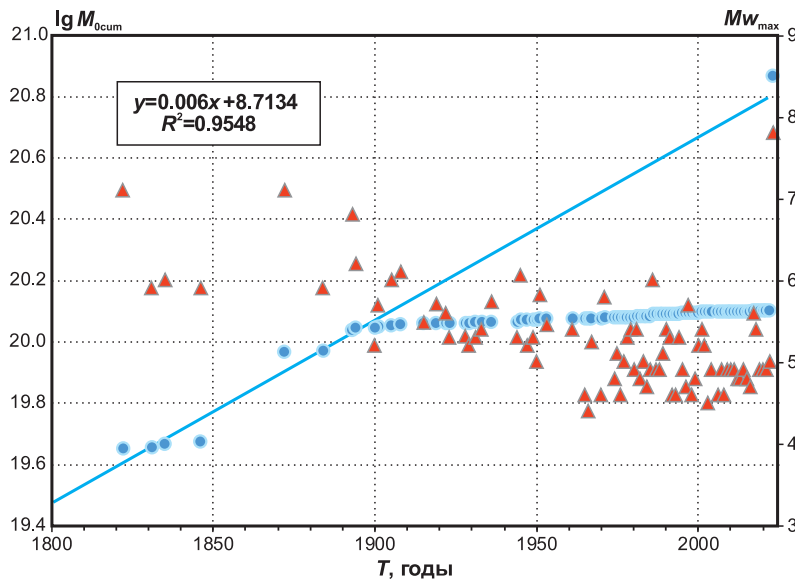


Рис. 4. Высвобождение кумулятивного скалярного сейсмического момента в 1822–2023 гг.

Прямой линией показан линейный тренд. Треугольниками обозначены максимальные на каждом шаге дискретизации магнитуды землетрясений

В данном случае линейная аппроксимация представляется уместной, поскольку в долговременном плане сейсмический режим постулируется как стационарный [Lutikov et al., 2018], весьма высокий коэффициент линейной корреляции  $R_c=0.9548$  подтверждает правомерность такой аппроксимации. Приблизительно с начала прошлого века начал накапливаться дефицит в высвобождении  $M_0$ , определяемый по разности между значением  $M_{0cum}$  регрессии и его фактическим наблюденным значением. К началу 2023 г. дефицит в высвобождении  $M_0$  составил  $\Delta M_0=5.14 \cdot 10^{20}$  Н·м, что эквивалентно возникновению землетрясения с  $M_w \approx 7.7-7.8$ . В феврале 2023 г. в этом районе произошло землетрясение с магнитудой  $M_w=7.8$ . Таким образом, в 2023 г. фактический и прогнозный ход  $\lg M_{0cum}$  практически совпадают. Поэтому в ближайшие годы в этой области вряд ли можно ожидать возникновения землетрясений с  $M_w$  порядка 7.8.

### Заключение

Очаговая зона Кахраманмарашских землетрясений 2023 г. связана с подвижками по нескольким разломам в южной части сегмента Пазарджик Восточно-Анатолийского разлома. Кахраманмарашские землетрясения произошли в рамках последней СА, начавшейся в 2011 году. Возникновение этой сложной очаговой зоны на южном сегменте Восточно-Анатолийского разлома вписывается в картину смещения сейсмических очагов с севера на юг по этому разлому в XX в. и, вероятно, связано с оживлением более древних сейсмических очагов.

Выразительная особенность сейсмического режима Турции заключается в отчётливо выделяющихся по группированию сильных землетрясений сейсмических активизациях. За XVII–XX вв. и начало XXI в. прослежено 14 СА различной продолжительности (от 4 до 24 лет) и разным количеством событий (от 4 до 22). Последняя СА в Турции началась в 2011 г. и, вполне вероятно, не закончилась Кахраманмарашскими землетрясениями 2023 года.

Каждая СА характеризуется своеобразным сценарием развития сейсмического процесса, в который, как правило, вовлечены все сейсмоактивные области страны, но с отчётливым доминированием определённой сейсмоактивной области при пониженной активности других, что и придаёт своеобразие процессу. Так, в первые СА XVII–XVIII вв. были вовлечены преимущественно западные районы Турции с концентрацией событий в Приэгейском регио-

не. Две наиболее опасные внутриконтинентальные сейсмогенерирующие зоны – Северо-Анатолийский и Восточно-Анатолийский разломы – в XVII в. породили всего по одному землетрясению с  $M \geq 6.5$  – соответственно Северо-Анатолийское 17 августа 1668 г. ( $M=7.8-8.0$ ) и Генекское 22 ноября 1685 г. ( $M=6.7$ ). В XVIII в. сохранялась тенденция доминирования приэгейских территорий, но более активно начал проявляться Северо-Анатолийский разлом, несколько сильных событий связано с его трассой в районе Мраморного моря (1719, 1754, 1766, 1794 гг.). Землетрясение 1784 г. с  $M=7.6$  произошло также в его восточной части, в Эрзинкване. С Восточно-Анатолийским разломом в этом столетии связаны два землетрясения с  $M \geq 7.0$  – в 1789 и 1795 гг.

В XIX в. при преимущественной активности приэгейских районов усилилась роль и обоих разломов. При этом повышенная активность Северо-Анатолийского разлома связана с его южной ветвью по южному обрамлению Мраморного моря (район современной Бурсы – события 1850, 1855, 1860, 1863, 1878, 1894 гг.). Сейсмическое оживление наблюдалось и в зоне влияния Восточно-Анатолийского разлома – здесь оказались сконцентрированы во времени и пространстве центральной части разлома землетрясения 1866, 1874, 1875 и 1893 гг., а их предвещал сильный толчок 1872 г. в зоне очага катастрофического землетрясения в Алеппо 1822 года.

В XX в. необычайной концентрацией сильных землетрясений во времени отличался Северо-Анатолийский разлом, где за столетие произошло 16 событий с  $M \geq 6.7$ , в том числе с  $M \geq 7$  – 12 событий. При этом в 1939–1944 гг. сейсмические очаги преимущественно с магнитудами  $M \geq 7$  последовательно смещались к западу от Эрзинканского землетрясения 1939 г., с одной стороны, нарушая все представления о повторяемости землетрясений, а с другой, – порождая иллюзию наглядного прогностического явления. Однако и после смещения главной арены проявления сильной сейсмичности по линии миграции очагов после 1944 г., в различных частях Северо-Анатолийского разлома происходили сильные землетрясения (1951, 1953, 1957, 1964, 1967, 1970, 1992, 1999 гг.).

Несмотря на то, что в ряде работ турецких авторов указывается на сейсмическую пассивность Восточно-Анатолийского разлома в XX в., и даже такой авторитетный специалист в области турецкой сейсмологии, как Н.Н. Амбрасейз, расценивал XX в. как время сейсмического затишья для этой структуры [Ambraseys, 2001b], в XX в. здесь произошло пять землетрясений

с  $M \geq 6.5$ . (При включении землетрясений Варто 1966 г. и Лисе 1975 г. в зону влияния Восточно-Анатолийского разлома целесообразно воспользоваться выделенной Н.Н. Амбрасейзом сейсмотектонической переходной зоной между Анатолийской и Аравийской плитами [Ambraseys, 2001b]).

Начало сейсмическому оживлению Восточно-Анатолийского разлома положило землетрясение 4 декабря 1905 г. с магнитудой 6.8 в Малатье [Ambraseys, 1989]. Следующими в этой зоне были 9–10-балльные землетрясения Карлиова 17 августа 1949 г. [Hubert-Ferrari et al., 2009] и Варто 19 августа 1966 г. [Gürboğa, 2015] с магнитудами 6.8. С 1949 г. обозначается тенденция к миграции очагов к югу по Восточно-Анатолийскому разлому. Так, после землетрясения Карлиова 1949 г. в южном направлении смещаются очаги землетрясений Варто 1966 г., Бингель 1971 г. [Seymen, Aydın, 1972], Лисе 1975 г. [Moazami-Goudarzi, Akasheh, 1977], Элазиг 24 января 2020 г. [Moazami-Goudarzi, Akasheh, 1977].

Последняя из выделенных СА, начавшаяся в 2011 г., характеризуется закономерным чередованием сильных землетрясений на западном приэгейском побережье Турции и в восточных районах страны, включая Восточно-Анатолийский разлом и складчато-надвиговый пояс Восточной Анатолии.

Хотя большинство турецких сейсмологов связывает повышенную сейсмическую опасность с сейсмическими брешами, из уроков исторической сильной сейсмичности можно сделать и другие прогностические выводы. Вероятно, важным в прогностическом аспекте является тот факт, что сильные землетрясения по простиранию Северо-Анатолийского и Восточно-Анатолийского разломов во многих случаях происходят в одних и тех же очаговых зонах, подтверждая концепцию сейсмических очагов как унаследованных геологических структур [Рогожин, 2012]. Так, в пределах Северо-Анатолийского разлома координаты эпицентров Эрзинканских землетрясений 1939 и 1992 гг. весьма близки к координатам также называемого Эрзинканским землетрясения 23 июля 1784 г. ( $M=7.6$ ). Очевидно, активизированный очаг Северо-Анатолийского землетрясения 1668 г. ( $M=7.8-8.0$ ) породил также неслабый толчок 26 ноября 1943 г. — землетрясение Тосья-Ладик ( $M=7.5$ ). В очаговой зоне землетрясения Болу 3 июля 1668 г. ( $M=6.2$ ) возникло новое, более сильное, землетрясение 1 февраля 1944 г. ( $M=7.5$ ). Эпицентры землетрясений 1719, 1754, 1967 гг., двух событий 1999 и 2022 гг. в Измите-Дюзке сконцентрированы

на площади, ограниченной по широте координатами 40.60–41.21°N и по долготе 29.58–31.21°E. При этом практически совпадают координаты сильнейших землетрясений в Измите 1719, 1894 и 1999 гг., а также землетрясений в Дюзке 12 ноября 1992 г. и 23 ноября 2022 г., эпицентры которых располагались всего в 100 км восточнее Измитского эпицентра 1999 года. Близости очаговых зон и проявлению толчков 1894 и 1999 гг. в Измите посвящена специальная работа Н.Н. Амбрасейза [Ambraseys, 2001a].

Для Восточно-Анатолийского разлома также характерно возникновение повторных толчков в зарегистрированных ранее очагах. Так, весьма близки координаты эпицентров землетрясения Бингель в 1866 и 1971 гг. Повторялись толчки в Элазигской зоне (1789, 1874, 1875, 2020 гг.). Землетрясение 3 апреля 1872 г. порождено, по-видимому, тем же очагом, что и катастрофа в Алеппо 1822 года. Мало отличаются между собой координаты землетрясений в Малатье 1893 и 1905 гг.: 38.1°N — 38.4°E и 38.153°N — 38.645°E. А первое февральское Кахраманмарашское землетрясение 2023 г. имеет близкие координаты с Марашским землетрясением 1513 года. В связи с последним следует заметить, что ставшие весьма популярными работы [Nabant et al., 2002; Duman, Emre, 2013], в которых как сейсмическая брешь выделялся участок между эпицентрами землетрясений 1513 и 1822 гг., чему подтверждением как будто служили трагические события 2023 г., в действительности оцениваются не совсем корректно. Прежде всего, между этими событиями произошло ещё и Кахраманмарашское землетрясение 1795 г., что уже существенно сокращает период существования сейсмической брешы. Но важнее другое — близкое по координатам расположение эпицентров может свидетельствовать о возникновении последнего землетрясения не в сейсмической брешы, а в уже существовавшем сейсмическом очаге 1513 г., обновлявшемся в 1795 году.

Расчёты кумулятивного сейсмического момента для района Восточно-Анатолийского разлома указывают на малую вероятность возникновения землетрясений с  $M_w$  порядка 7.8 в ближайшие годы в этой области.

Полученные новые данные о долговременном сейсмическом режиме хотя и проясняют некоторые аспекты сейсмогенеза в Турции, к сожалению, не дают ответа на злободневный вопрос о времени и месте будущего сильного землетрясения. Сейчас в СМИ обсуждается вопрос о возможном в скором будущем землетрясении в Стамбуле. Приведённый материал показывает

обоснованность ожидания в обозримом будущем сильного землетрясения в стране хотя бы потому, что сейчас в Турции наблюдается сейсмическая активизация, и её продолжительность пока не вышла за пределы наблюдающихся в прошлом СА. В то же время показано, что сценарии каждой из выделенных активизаций были своеобразными, а намечающиеся тенденции нарушались последующим развитием событий. Так, в большой прогностической соблазн вводила миграция очагов землетрясений по Северо-Анатолийскому разлому в 1939–1944 гг., однако позднее возникновение новых землетрясений уже не подчинялось предыдущим закономерностям. Тем не менее, если бы выявленная миграция в южном направлении по Восточно-Анатолийскому разлому была принята во внимание, Кахраманмарашская катастрофа, возможно, не была бы столь неожиданной, а может быть, и не столь драматичной. Для нынешней СА характерно чередование событий на западе, в Приэгейском регионе, и на востоке, в Битлисско-Загросской зоне и на Восточно-Анатолийском разломе. Если эта тенденция сохранится, следует ожидать будущее землетрясение в Приэгейском регионе. Однако, учитывая исторические данные, следующее сильное землетрясение возможно в любой из важнейших сейсмоактивных зон, в том числе и в активизированных уже проявившихся очагах. Стамбул в этом отношении находится в равном положении с другими сейсмоопасными районами.

### Литература

- Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г.* База данных активных разломов Евразии // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 711–736. – DOI: 10.5800/GT-2017-8-4-0314. – EDN: ZWRGNL
- Лутиков А.И., Донцова Г.Ю.* Сейсмологический мониторинг потенциальных очаговых зон Большого Кавказа // Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения. Материалы XII Международной конференции. 18–23 сентября 2006 г. в 2 т. Т. I. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2006. – С. 302–305.
- Никонов А.А.* Сейсмическая катастрофа в Турции // Природа. – 1999. – № 11. – С. 3–9.
- Рогожин Е.А.* Очерки региональной сейсмотектоники. – М.: ИФЗ РАН, 2012. – 340 с. – EDN: QKLHLT
- Трифонов В.Г.* Неотектоника подвижных поясов. – М.: ГЕОС, 2017. – 180 с.
- Трифонов В.Г.* Цикличность позднеголоценовой сейсмичности в Альпийско-Гималайском поясе // Геотектоника. – 2013. – № 6. – С. 3–17.
- Трифонов В.Г., Додонов А.Е., Бачманов Д.М., Иванова Т.П., Караханян А.С. и др.* Неотектоника, современная геодинамика и сейсмическая опасность Сирии. – М.: ГЕОС, 2012. – 216 с.
- Уломов В.И., Медведева Н.С.* (ред.). Специализированный каталог землетрясений для задач общего сейсмического районирования территории Российской Федерации [Электронный ресурс]. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 512 с. – URL: <http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-CK3.pdf>
- Ambraseys N.* The earthquake of 10 July 1894 in the Gulf of Izmit (Turkey) and its relation to the earthquake of 17 August 1999 // *Journal of Seismology*. – 2001a. – V. 5, N 1. – P. 117–128. – DOI: 10.1023/A:1009871605267
- Ambraseys N.N.* Reassessment of earthquakes, 1900–1999, in the Eastern Mediterranean and the Middle East // *Geophysical Journal International*. – 2001b. – V. 145, N 2. – P. 471–485. – DOI: 10.1046/j.0956-540x.2001.01396.x
- Ambraseys N.N.* Temporary seismic quiescence: SE Turkey // *Geophysical Journal International*. – 1989. – V. 96, N 2. – P. 311–331. – DOI: 10.1111/j.1365-246X.1989.tb04453.x
- Ambraseys N.N., Jackson J.A.* Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region // *Geophysical Journal International*. – 2002. – V. 133, N 2. – P. 390–406. – DOI: 10.1046/j.1365-246X.1998.00508.x
- Ambraseys N.N., Jackson J.A.* Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500 // *Geophysical Journal International*. – 2000. – V. 141, N 3. – P. F1–F6. – DOI: 10.1046/j.1365-246x.2000.00137.x
- Barbot S., Luo H., Wang T., Hamiel Y., Piatibratova O., Javed M.T., Braitenberg C., Gurbuz G.* Slip distribution of the February 6, 2023 Mw 7.8 and Mw 7.6, Kahramanmaraş, Turkey earthquake sequence in the East Anatolian Fault Zone // *Seismica*. – 2023. – V. 2, N 3. – DOI: 10.26443/seismica.v2i3.502
- Bohnhoff M., Martínez-Garzón P., Bulut F., Stierle E., Ben-Zion Y.* Maximum earthquake magnitudes along different sections of the North Anatolian fault zone // *Tectonophysics*. – 2016. – V. 674, N 2. – P. 147–165. – DOI: 10.1016/j.tecto.2016.02.028
- Bayrak Y., Cinar H., Bayrak E.* The North Anatolian fault zone: an evaluation of earthquake hazard parameters // *New Frontiers in Tectonic Research - At the Midst of Plate Convergence* / Ed. Dr. U. Schattner. – Rijeka, Croatia: InTech Europe, 2011. – P. 269–288. – DOI: 10.5772/17597
- Cetin H., Guneyli H., Mayer L.* Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar segment of the East Anatolian fault zone, Turkey // *Tectonophysics*. – 2003.



- V. 374, N 3-4. – P. 163–197. – DOI: 10.1016/j.tecto.2003.08.003
- Çoban K.H., Sayil N. Different probabilistic models for earthquake occurrences along the North and East Anatolian fault zones // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2020. – V. 13, N 18. – P. 1–16. – DOI: 10.1007/s12517-020-05945-z
- D’Addezio G., Palyvos N., Pantosti D., Zabcı C. Paleoseismological Evidence of Recent Earthquakes on the 1967 Mudurnu Valley Earthquake Segment of the North Anatolian Fault Zone // *Bulletin of the Seismological Society of America*. – 2007. – V. 97, N 5. – P. 1646–1678. – DOI: 10.1785/0120060049
- Duman T.Y., Emre Ö. The East Anatolian fault: Geometry, segmentation and jog characteristics // *Geological Society London Special Publications*. – 2013. – V. 372, N 1. – P. 495–529. – DOI: 10.1144/SP372.14
- Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F. Active fault map of Turkey with an explanatory text. 1:1,250,000 Scale. – Ankara: General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), 2013.
- Esat K., Seyitoğlu G. Surface rupture map of the 2023.02.06 Kahramanmaraş earthquakes based on highresolution satellite and aerial imagery / Report of Tectonics Research Group. – Ankara University: Dept. of Geological Engineering, 2023. – DOI: 10.13140/RG.2.2.36259.32808
- Global CMT Catalog Search* // Global CMT Web Page [Site]. – URL: <http://www.globalcmt.org>. – Lamont-Doherty Earth Observatory (LDEO) of Columbia University, Columbia, SC, USA, 2023.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgatonı G., Valensise G. Catalogue of strong earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean area (760 B.C.-1500) [Web products]. – INGV-SGA, 2007. – URL: <http://hdl.handle.net/2122/3411>. Archived from the original on 3 November 2021.
- Gürboğa Ş. Source fault of 19 August 1966 Varto earthquake and its’ mechanism: New field data, Eastern Turkey // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2015. – V. 111, N 4. – P. 792–803. – DOI: 10.1016/j.jseaes.2015.07.015
- Güvercin S.E., Karabulut H., Konca A.Ö., Doğan U., Ergintav S. Active seismotectonics of the East Anatolian Fault // *Geophysical Journal International*. – 2022. – V. 230, N 1. – P. 50–69. – DOI: 10.1093/gji/ggac045/6522179
- Hartleb R.D., Dolan J.F., Kozaçı O., Akyuz H.S., Seitz G.G. A 2500-yr-long paleoseismologic record of large, infrequent earthquakes on the North Anatolian fault at Çukurçimen, Turkey // *Geological Society of America Bulletin*. – 2006. – V. 118, N 7. – P. 823–840. – DOI: 10.1130/B25838.1
- Hubert-Ferrari A. New constraints on the Karlıova Triple Junction between Arabia, Eurasia and Anatolia // *Geophysical Research Abstracts*. – 2007. – V. 9. – 06822.
- Hubert-Ferrari A., King G., van der Woerd J., Villa I., Altunel E., Armijo R. Long-term evolution of the North Anatolian fault: New constraints from its eastern termination // *Geological Society London Special Publications*. – 2009. – V. 311, N 1. – P. 133–154. – DOI: 10.1144/SP311.5
- Hubert-Ferrari A., Lamair L., Hage S., Schmidt S., Çagatay M.N., Avşar U. A 3800 yr paleoseismic record (Lake Hazar sediments, eastern Turkey): Implications for the East Anatolian fault seismic cycle // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2020. – V. 538. – 116152. – DOI: 10.1016/j.epsl.2020.116152
- Ioganson L.I. Seismic activations in Italy, Greece, and Turkey during the 17th–19th centuries // *Seismic Instruments*. – 2022. – V. 58. – P. 694–709. – DOI: 10.3103/S0747923922060056
- ISC-GEM Earthquake Catalogue (1904–2018)* // International Seismological Centre [Site]. – United Kingdom, Thatcham: Internat. Seismol. Centre, 2022. – DOI: 10.31905/d808b825
- Karabulut H., Güvercin S.E., Hollingsworth J., Konca A.Ö. Long silence on the East Anatolian fault zone (Southern Turkey) ends with devastating double earthquakes (6 February 2023) over a seismic gap: Implications for the seismic potential in the Eastern Mediterranean region // *Journal of the Geological Society*. – 2023. Published 5 May 2023. – DOI: 10.1144/jgs2023-021
- Köküm M., Özçelik F. An example study on re-evaluation of historical earthquakes: 1789 Palu (Elazığ) earthquake, Eastern Anatolia, Turkey // *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*. – 2020. – N 16. – P. 157–170. – DOI: 10.19111/bulletinofmre.603929
- Lutikov A.I., Rogozhin E.A., Kuchai M.S., Dontsova G.Y. Strong earthquakes in 2009–2016 in Central Italy: Tectonic position, seismic history, and aftershock processes // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2018. – V. 54, N 2. – P. 233–251. – DOI: 10.1134/S106935131802012X. – EDN: XXPRAT
- Moazami-Goudarzi K., Akasheh B. The earthquake of September 6, 1975, in Lice (Eastern Turkey) // *Tectonophysics*. – 1977. – V. 40, N 3-4. – P. 361–368.
- Nalbant S.S., McCloskey J., Steacy S., Barka A.A. Stress accumulation and increased seismic risk in Eastern Turkey // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2002. – V. 195, N 3-4. – P. 291–298. – DOI: 10.1016/S0012-821X(01)00592-1
- National Earthquake Information Center. Earthquake Hazards* // U.S. Geological Survey [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>. – 2023.
- Özacar A.A., Uzel B., Bozkurt B., Sançar T., Sopacı E., Okay H.B., Kaymakçı N., Rojay B., Gülerce Z., Kınal C., Koksall D., Gregory L. Chapter 3. Active

- tectonic setting and seismic source // Reconnaissance Report on February 6, 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık ( $M_w=7.7$ ) and Elbistan ( $M_w=7.6$ ) earthquakes. – Ankara: Middle East Technical University, Civil Engineering Department, 2023. – P. 52–74. – DOI: 10.13140/RG.2.2.15569.61283/1
- Palutoğlu M., Sasmas A.* 29 November 1795 Kahramanmaraş earthquake, Southern Turkey // Bulletin of the Mineral Research and Exploration. – 2017. – N 155. – P. 10. – DOI: 10.19111/bulletinofmre.314211
- Pousse-Beltran L., Nissen E., Bergman E.A., Cambaz M.D., Gaudreau É., Karasözen E., Tan F.* The 2020  $M_w$  6.8 Elazığ (Turkey) earthquake reveals rupture behavior of the East Anatolian fault // Geophysical Research Letters. – 2020. – V. 47, Is. 13. – e2020GL088136. – DOI: 10.1029/2020GL088136
- Reitman N.G., Briggs R.W., Barnhart W.D., Thompson J.A., DuRoss C.B., Hatem A.E., Gold R.D., Mejstrik J.D., Akçiz S.* Preliminary fault rupture mapping of the 2023  $M7.8$  and  $M7.5$  Türkiye earthquakes. – USGS, 28.02.2023. – DOI: 10.5066/P98517U2
- Şengör A.M.C., Tüysüz O., İmren C., Sakıç M., Eyidoğan H., Görür N., Le Pichon X., Rangin C.* The North Anatolian fault: A new look // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2005. – V. 33, Is. 1. – P. 37–112. – DOI: 10.1146/annurev.earth.32.101802.120415
- Seyitoğlu G., Aktuğ B., Esat K., Kaypak B.* Neotectonics of Turkey (Türkiye) and surrounding regions: A new perspective with block modelling // Geologica Acta. – 2022. – V. 20, N 4. – P. 1–21. – DOI: 10.1344/GeologicaActa2022.20.4
- Seymen İ., Aydın A.* The Bingöl earthquake fault and its relation to the North Anatolian fault zone // Bulletin of the Mineral Research and Exploration. – 1972. – V. 79. – P. 1–12.
- Stein R.S., Barka A.A., Dieterich J.H.* Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering // Geophysical Journal International. – 1997. – V. 128, N 3. – P. 594–604. – DOI: 10.1111/J.1365-246X.1997.TB05321.X
- Stucchi M., Rovida A., Gomez A.A., Alexandre P., Camelbeeck T., Demircioglu M.B. et al.* The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000–1899 // Journal of Seismology. – 2012. – V. 17, N 2. – DOI: 10.1007/s10950-012-9335-2
- Stucchi M., Sesetyan K., Gomez C.A., Sbeinati M.R.* Exploiting the legacy of N.N. Ambraseys: Known and unknown earthquakes in the Anatolian area // Mediterranean Geoscience Reviews. – 2022. – V. 4, N 29. – P. 555–568. – DOI: 10.1007/s42990-022-00087-8
- Toksoz M.N., Shakal A.F., Michael A.J.* Space-time migration of earthquakes along the North Anatolian fault zone and seismic gaps // Pure and Applied Geophysics. – 1979. – V. 117. – P. 1258–1270. – DOI: 10.1007/BF00876218
- Utkusu M., Uzuncha F., Durmuş H., Nalbant S., Sert S.* The 2023 Pazarcık ( $M_w=7.8$ ) and Elbistan ( $M_w=7.6$ ), Kahramanmaraş earthquakes in the Southeast Türkiye. – Sakarya: Sakarya University, Disaster Management Application and Research Center, 22.02.2023. – 16 p.
- Westaway R.* Kinematic consistency between the Dead Sea Fault Zone and the Neogene and Quaternary left-lateral faulting in SE Turkey // Tectonophysics. – 2004. – V. 391, N 1. – P. 203–237. – DOI: 10.1016/j.tecto.2004.07.014

### Сведения об авторах

**Иогансон Лидия Ивановна**, канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), г. Москва, Россия. E-mail: ioganson@bk.ru

**Овсяченко Александр Николаевич**, канд. геол.-мин. наук, зав. лаб. ИФЗ РАН, г. Москва, Россия. E-mail: ovs@ifz.ru

**Донцова Галина Юрьевна**, науч. сотр. ИФЗ РАН, г. Москва, Россия; науч. сотр. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), г. Обнинск, Россия. E-mail: donzova@ifz.ru

## Seismic activations in Turkey in the 17th – early 21st centuries and Kahramanmarash earthquakes on February 6, 2023

© 2023 L.I. Ioganson<sup>1</sup>, A.N. Ovsyuchenko<sup>1</sup>, G.Yu. Dontzova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>IPE RAS, Moscow, Russia; <sup>2</sup>GS RAS, Ozninsk, Russia

Received September 29, 2023

**Abstract** The long-term seismic regime of Turkey for the 17th - early 21st centuries are analyzed. It is shown that the fundamental feature of the seismic regime is periodic seismic activations (SA) of strong earthquakes. During the analyzed period, 14 seismic activations of various durations (from 4 to 24 years) and a different number of events (from 4 to 22) were traced. The last SA in Turkey began in 2011, and most likely did not end with the Kahramanmarash earthquake in 2023. SA, as a rule, involves the main seismically active regions of the country (the Aegean coast, the North and East Anatolian faults), but with a clear dominance a certain seismically active area with reduced activity of others. An analysis of historical seismicity shows that strong earthquakes along the North and East Anatolian faults in many cases occur in the same source zones, confirming the concept of seismic sources as inherited geological structures, which may serve as an important prognostic symptom. The Kahramanmaraş earthquakes on February 6, 2023 occurred in the framework of the seismic activation that began in 2011. The position of the Kahramanmarash seismic source on the southern segment of the East Anatolian fault is in good agreement with displacement of seismic sources from north to south along this fault in the 20th century.

**Keywords** Earthquake, seismic regime, seismic activation, earthquake catalog, magnitude, intensity, Kahramanmarash earthquake, Turkey.

**For citation** Ioganson, L.I., Ovsyuchenko, A.N., & Dontzova, G.Yu. (2023). [Seismic activations in Turkey in the 17th - early 21st centuries and Kahramanmarash earthquakes on February 6, 2023]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 5(4), 20-40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2023.4.02>. EDN: IMNEAF

### Reference

- Bachmanov, D.M., Kozurin, A.I., & Trifonov, V.G. (2017). [Data on the active faults of Eurasia]. *Geodinamika i tektonofizika* [Geodynamics and Tectonophysics], 8(4), 711-736. (In Russ.). DOI: [10.5800/GT-2017-8-4-0314](https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-4-0314). EDN: ZWRGNL
- Lutikov, A.I., & Dontzova, G.Yu. (2006). [Seismological monitoring of potential source zones of the Greater Caucasus]. In: *Aktivnye geologicheskie i geofizicheskie protsessy v litosfere. Metody, sredstva i rezul'taty izucheniia. Materialy XII Mezhdunarodnoi konferentsii 18-23 sentiabria 2006 g. v 2 t. T. I.* [Active geological and geophysical processes in the lithosphere. Methods, means and results of the study. Materials of the XII International conference, September 18-23, 2006. In 2 volumes. Vol. 1.] (pp. 302-305). Voronezh, Russia: Voronezh State University Publ. (In Russ.).
- Nikonov, A.A. (1999). [The seismic catastrophe in Turkey]. *Priroda* [Nature], 11, 3-9. (In Russ.).
- Rogozin, E.A. (2012). *Ocherki regional'noi seismotektoniki* [Sketches on the regional seismotectonics]. Moscow, Russia: IPE RAS Publ., 340 p. (In Russ.). EDN: QKLHLT
- Trifonov, V.G. (2017). *Neotektonika podvizhnykh poiasov* [Neotectonics of the mobile belts]. Moscow, Russia: GEOS Publ., 180 p. (In Russ.).
- Trifonov, V.G. (2013). [Cyclicality of Late Holocene seismicity in the Alpine-Himalayan belt]. *Geotektonika* [Geotectonics], 6, 3-17. (In Russ.).
- Trifonov, V.G., Dodonov, A.E., Bachmanov, D.M. et al. (2012). *Neotektonika, sovremennaiia geodinamika i seismicheskaiia opasnost' Sirii* [Neotectonics, recent geodynamics and seismic hazard in Syria]. Moscow, Russia: GEOS Publ., 219 p. (In Russ.).
- Ulomov, V.I., & Medvedeva, N.S. (Eds.). (2014). *Spetsializirovannyi katalog zemletriaseniia dlia zadach obshchego seismicheskogo raionirovaniia territorii Rossiiskoi Federatsii* [Specialized catalog of earthquakes for tasks of general seismic zoning of the territory of the Russian Federation]. Moscow, Russia: IPE RAS Publ., 512 p. (In Russ.). Available at: <http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-CK3.pdf>
- Ambraseys, N. (2001a). The earthquake of 10 July 1894 in the Gulf of Izmit (Turkey) and its relation to the earthquake of 17 August 1999. *Journal of Seismology*, 5(1), 117-128. DOI: [10.1023/A:1009871605267](https://doi.org/10.1023/A:1009871605267)

- Ambraseys, N.N. (2001b). Reassessment of earthquakes, 1900-1999, in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Geophysical Journal International*, 145(2), 471-485. DOI: 10.1046/j.0956-540x.2001.01396.x
- Ambraseys, N.N. (1989). Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophysical Journal International*, 96(2), 311-331. DOI: 10.1111/j.1365-246X.1989.tb04453.x
- Ambraseys, N.N., & Jackson, J.A. (2002). Faulting associated with historical and recent earthquakes in the eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 133(2), 390-406. DOI: 10.1046/j.1365-246X.1998.00508.x
- Ambraseys, N.N., & Jackson, J.A. (2000). Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500. *Geophysical Journal International*, 141(3), F1-F6. DOI: 10.1046/j.1365-246x.2000.00137.x
- Barbot, S., Luo, H., Wang, T., Hamiel, Y., Piatibratova, O., Javed, M.T., Braitenberg, C., & Gurbuz, G. (2023). Slip distribution of the February 6, 2023 Mw 7.8 and Mw 7.6, Kahramanmaraş, Turkey earthquake sequence in the East Anatolian fault zone. *Seismica*, 2(3). DOI: 10.26443/seismica.v2i3.502
- Bohnhoff, M., Martínez-Garzón, P., Bulut, F., Stierle, E., & Ben-Zion, Y. (2016). Maximum earthquake magnitudes along different sections of the North Anatolian fault zone. *Tectonophysics*, 674, 147-165. DOI: 10.1016/j.tecto.2016.02.028
- Bayrak, Y., Cinar, H., & Bayrak, E. (2011). The North Anatolian Fault Zone: an Evaluation of Earthquake Hazard Parameters. In: U. Schattner (Ed.). *New Frontiers in Tectonic Research - At the Midst of Plate Convergence* (pp. 269-288). Rijeka, Croatia: InTech Europe. DOI: 10.5772/17597
- Cetin, H., Guneyli, H., & Mayer, L. (2003). Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar segment of the East Anatolian fault zone, Turkey. *Tectonophysics*, 374(3-4), 163-197. DOI: 10.1016/j.tecto.2003.08.003
- Çoban, K.H., & Sayil, N. (2020). Different probabilistic models for earthquake occurrences along the North and East Anatolian fault zones. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(18), 1-16. DOI: 10.1007/s12517-020-05945-z
- D'Addezio, G., Palyvos, N., Pantosti, D., & Zabcı, C. (2007). Paleoseismological Evidence of Recent Earthquakes on the 1967 Mudurnu Valley Earthquake Segment of the North Anatolian Fault Zone. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(5), 1646-1678. DOI: 10.1785/0120060049
- Duman, T.Y., & Emre, Ö. (2013). The East Anatolian fault: Geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society London Special Publications*, 372(1), 495-529. DOI: 10.1144/SP372.14
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., & Şaroğlu, F. (2013). *Active fault map of Turkey with an explanatory text. 1:1,250,000 Scale*. Ankara, Turkey: General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA).
- Esat, K., & Seyitoğlu, G. (2023). Surface rupture map of the 2023.02.06 Kahramanmaraş Earthquakes based on high-resolution satellite and aerial imagery. *Report of Tectonics Research Group*. Ankara University, Turkey: Dept. of Geological Engineering. DOI: 10.13140/RG.2.2.36259.32808
- Global CMT Web Page. (2023). Global CMT Catalog Search. Retrieved from <http://www.globalcmt.org>
- Guidoboni, E., Ferrari, G., Mariotti, D., Comastri, A., Tarabusi, G., Sgaton, G., & Valensise, G. (2007). Catalogue of strong earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean area (760 B.C.-1500) [Web products]. *INGV-SGA*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2122/3411>
- Gürboğa, Ş. (2015). Source fault of 19 August 1966 Varto earthquake and its' mechanism: New field data, Eastern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 111(4), 792-803. DOI: 10.1016/j.jseaes.2015.07.015
- Güvercin, S.E., Karabulut, H., Konca, A., Doğan, U., & Ergintav, S. (2022). Active seismotectonics of the East Anatolian Fault. *Geophysical Journal International*, 230(1), 50-69. DOI: 10.1093/gji/ggac045/6522179
- Hartleb, R.D., Dolan, J.F., Kozacı, O., Akyuz, H.S., & Seitz, G.G. (2006). A 2500-yr-long paleoseismologic record of large, infrequent earthquakes on the North Anatolian fault at Çukurçimen, Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 118(7), 823-840. DOI: 10.1130/B25838.1
- Hubert-Ferrari, A. (2007). New constraints on the Karlova Triple Junction between Arabia, Eurasia and Anatolia. *Geophysical Research Abstracts*, 9, 06822.
- Hubert-Ferrari, A., King, G., van der Woerd, J., Villa, I., Altunel, E., & Armijo, R. (2009). Long-term evolution of the North Anatolian fault: New constraints from its eastern termination. *Geological Society London Special Publications*, 311(1), 133-154. DOI: 10.1144/SP311.5
- Hubert-Ferrari, A., Lamair, L., Hage, S., Schmidt, S., Çagatay, M.N., & Avşar, U. (2020). A 3800 yr paleoseismic record (Lake Hazar sediments, eastern Turkey): Implications for the East Anatolian fault seismic cycle. *Earth and Planetary Science Letters*, 538, 116152. DOI: 10.1016/j.epsl.2020.116152
- International Seismological Centre (2022). ISC-GEM Earthquake Catalogue (1904–2018). DOI: 10.31905/d808b825
- Ioganson, L.I. (2022). Seismic activations in Italy, Greece, and Turkey during the 17th-19th centuries. *Seismic Instruments*, 58, 694-709. DOI: 10.3103/S0747923922060056
- Karabulut, H., Güvercin, S.E., Hollingsworth, J., & Konca, A.Ö. (2023). Long silence on the East Anatolian fault zone (Southern Turkey) ends with devastating double earthquakes (6 February 2023) over a seismic gap: Implications for the seismic potential in the Eastern Mediterranean region. *Journal of the Geological Society*. DOI: 10.1144/jgs2023-021

- Köküm, M., & Özçelik, F. (2020). An example study on re-evaluation of historical earthquakes: 1789 Palu (Elazığ) earthquake, Eastern Anatolia, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 16, 157-170. DOI: 10.19111/bulletinofmre.603929
- Lutikov A.I., Rogozhin E.A., Kuchai M.S., & Dontsova G.Y. (2018). Strong earthquakes in 2009-2016 in Central Italy: Tectonic position, seismic history, and aftershock processes. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 54(2), 233-251. DOI: 10.1134/S106935131802012X. EDN: XXPRAT
- Moazami-Goudarzi, K., & Akasheh, B. (1977). The earthquake of September 6, 1975, in Lice (Eastern Turkey). *Tectonophysics*, 40(3-4), 361-368.
- Nalbant, S.S., McCloskey, J., Steacy, S., & Barka, A.A. (2002). Stress accumulation and increased seismic risk in Eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 195(3), 291-298. DOI: 10.1016/S0012-821X(01)00592-1
- Özacar, A.A., Uzel, B., Bozkurt, B., Sançar, T., Sopaçcı, E., Okay, H.B., Kaymakçı, N., Rojay, B., Gülerce, Z., Kıncal, C., Koksall, D., & Gregory, L. (2023). Chapter 3. Active tectonic setting and seismic source. In: *Reconnaissance Report on February 6, 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (Mw=7.7) and Elbistan (Mw=7.6) earthquakes* (pp. 52-74). Ankara, Turkey: Middle East Technical University, Civil Engineering Department Publ. DOI: 10.13140/RG.2.2.15569.61283/1
- Palutoğlu, M., & Sasmaz, A. (2017). 29 November 1795 Kahramanmaraş earthquake, Southern Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 155, 10-10. DOI: 10.19111/bulletinofmre.314211
- Pousse-Beltran, L., Nissen, E., Bergman, E.A., Cambaz, M.D., Gaudreau, É., Karasözen, E., & Tan, F. (2020). The 2020 Mw 6.8 Elazığ (Turkey) earthquake reveals rupture behavior of the East Anatolian fault. *Geophysical Research Letters*, 47(13), e2020GL088136. DOI: 10.1029/2020GL088136
- Reitman, N.G., Briggs, R.W., Barnhart, W.D., Thompson, J.A., DuRoss, C.B., Hatem, A.E., Gold, R.D., Mejstrik, J.D., & Akçiz, S. (2023). Preliminary fault rupture mapping of the 2023 M7.8 and M7.5 Türkiye earthquakes. *USGS*, 28.02.2023. DOI: 10.5066/P985I7U2
- National Earthquake Information Center: Earthquake Hazards (2023). *U.S. Geological Survey*. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., & Rangin, C. (2005). The North Anatolian fault: A new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33(1), 37-112. DOI: 10.1146/annurev.earth.32.101802.120415
- Seyitoğlu, G., Aktuğ, B., Esat, K., & Kaypak, B. (2022). Neotectonics of Turkey (Türkiye) and surrounding regions: A new perspective with block modelling. *Geologica Acta*, 20(4), 1-21. DOI: 10.1344/GeologicaActa2022.20.4
- Seymen, İ., & Aydın, A. (1972). The Bingöl earthquake fault and its relation to the North Anatolian fault zone. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 79, 1-12.
- Stein, R.S., Barka, A.A., & Dieterich, J.H. (1997). Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. *Geophysical Journal International*, 128(3), 594-604. DOI: 10.1111/J.1365-246X.1997.TB05321.X
- Stucchi M., Rovida A., Gomez A.A., Alexandre P., Camelbeeck T., Demircioglu M.B. et al. (2012). The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000-1899. *Journal of Seismology*, 17(2). DOI: 10.1007/s10950-012-9335-2
- Stucchi, M., Sesetyan, K., Gomez, C.A., & Sbeinati, M.R. (2022). Exploiting the legacy of N.N. Ambraseys: Known and unknown earthquakes in the Anatolian area. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 4, 555-568. DOI: 10.1007/s42990-022-00087-8
- Toksoz, M.N., Shakal, A.F., & Michael, A.J. (1979). Space-time migration of earthquakes along the North Anatolian fault zone and seismic gaps. *Pure and Applied Geophysics*, 117, 1258-1270. DOI: 10.1007/BF00876218
- Utkusu, M., Uzuncha, F., Durmuş, H., Nalbant, S., & Sert, S. (2023). *The 2023 Pazarcık (Mw=7.8) and Elbistan (Mw=7.6), Kahramanmaraş earthquakes in the Southeast Türkiye*. Sakarya, Turkey: Sakarya University, Disaster Management Application and Research Center Publ., 16 p.
- Westaway, R. (2004). Kinematic consistency between the Dead Sea Fault Zone and the Neogene and Quaternary left-lateral faulting in SE Turkey. *Tectonophysics*, 391(1), 203-237. DOI: 10.1016/j.tecto.2004.07.014

### Information about authors

**Ioganson Lidia Ivanovna**, PhD, Leading Researcher of the Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences (IPE RAS), Moscow, Russia. E-mail: ioganson@bk.ru; iogan@ifz.ru

**Ovsyuchenko Alexander Nikolayevich**, PhD, Head of Laboratory of the IPE RAS, Moscow, Russia. E-mail: ovs@ifz.ru

**Dontzova Galina Yurevna**, Researcher of the IPE RAS, Moscow, Russia; Researcher of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GS RAS), Obninsk, Russia. E-mail: dontzova@ifz.ru