

УДК 550.343(571.642)

DOI: 10.24930/2500-302X-2025-25-3-656-663

Особенности развития сейсмического процесса перед катастрофическим землетрясением в районе Восточно-Анатолийского разлома (6 февраля 2023 г., MW = 7.8)

А. С. Закупин

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, e-mail: dikii79@mail.ru

Поступила в редакцию 07.10.2024 г., принята к печати 08.12.2024 г.

Объект исследования. В работе представлены результаты исследования сейсмического процесса в районе Восточно-Анатолийского разлома (ВАРЗ), где в феврале 2023 г. произошли два катастрофических землетрясения (дуплет). **Цель.** Выявление особенностей сейсмического процесса, которые могли бы указывать на связь (или ее отсутствие) между двумя землетрясениями из дуплета, а также свидетельствующие о наличии каких-либо прогностических признаков перед сейсмическими событиями (средне- или краткосрочными). **Методы.** Анализ графиков сейсмической активности, построенных методом суммирования периодов между землетрясениями на основе локального сейсмического каталога. **Результаты.** Построены графики активности для шести областей с центром в эпицентре первого землетрясения. Выделены характерные периоды с постоянной скоростью сейсмического процесса и точки перехода. Обнаружены локальные активизации в 2012 и 2022 гг., которые приурочены к эпицентрам дуплета и являются доминирующими для ВАРЗ в целом (на протяжении как минимум 300 км). Все активизации были приурочены к одной и той же зоне немного восточнее эпицентра февральского землетрясения. Показано, что эти активизации не соответствуют стандартной схеме работы сейсмического очага, т. е. не имеют однозначно определяемого главного события и характерного афтершокового процесса. **Выводы.** Локальная активизация 2012 г., судя по распределению эпицентров землетрясений, вероятно, является начальным этапом развития процесса, который получил продолжение в 2022 г. Скачкообразный процесс активности в 2022 г. закончился за 40 дней до дуплета землетрясения и может быть рассмотрен в качестве краткосрочного прогностического признака. Главными характеристиками такой краткосрочной аномалии в сейсмической активности выступают сокращение длительности каждой последующей активизации и уменьшение времени между ними.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическая активность, метод накопления сейсмических событий

Источник финансирования

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания Института морской геологии и геофизики ДВО РАН

Features of the seismic process prior to a catastrophic earthquake in the area of the East Anatolian fault (February 6, 2023, MW = 7.8)

Aleksander S. Zakupin

Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, 1B Nauka st., Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia, e-mail: dikii79@mail.ru

Received 07.10.2024, accepted 08.12.2024

Research subject. The seismic process in the area of the East Anatolian Fault (EAF), where two catastrophic earthquakes (doublet) occurred in February 2023. **Aim.** Identification of specific features of the seismic process, which might indicate a connection (or a lack thereof) between the two earthquakes from the doublet, as well as the presence of any predictive signs before seismic events (medium- or short-term). **Materials and methods.** An analysis of seismic activity graphs constructed by summing periods between earthquakes based on a local seismic catalog. **Results.** Activity graphs were plotted for six regions at the epicenter of the first earthquake. Characteristic periods with a constant velocity of the seismic process and transition points were established. Local activations were detected in 2012 and 2022, which are confined to the epicenters of the doublet and are dominant for the EAF as a whole (for at least 300 km). All activations were timed

Для цитирования: Закупин А.С. (2025) Особенности развития сейсмического процесса перед катастрофическим землетрясением в районе Восточно-Анатолийского разлома (6 февраля 2023 г., MW = 7.8). *Литосфера*, 25(3), 656–663. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-3-656-663>. EDN: CYTVCA

For citation: Zakupin A.S. (2025) Features of the seismic process prior to a catastrophic earthquake in the area of the East Anatolian fault (February 6, 2023, MW = 7.8). *Lithosphere (Russia)*, 25(3), 656–663. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-3-656-663>. EDN: CYTVCA

to the same area slightly east of the epicenter of the February earthquake. It is shown that these activations do not correspond to the standard scheme of operation of a seismic center, i.e., they do not have an unambiguously determined main event and a characteristic aftershock process. *Conclusions.* According to the distribution of earthquake epicenters, the local activation of 2012 was probably the initial stage in the development of the process, which was continued in 2022. The abrupt process of activity in 2022 ended 40 days prior to the earthquake doublet, and can be considered as a short-term predictive sign. The main characteristics of such a short-term anomaly in seismic activity are a reduction in the duration of each subsequent activation and a decrease in the time between them.

Keywords: earthquake, seismic activity, method of accumulation of seismic events

Funding information

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

ВВЕДЕНИЕ

Сейсмичность Восточно-Анатолийского разлома (ВАРЗ), который проходит по территории Турции и Сирии, представляет значительный интерес для сейсмологов. Но особенно много говорили о ней в последние несколько лет, причина этого заключается в масштабах последствий одного из сильнейших землетрясений в текущем столетии. Несмотря на относительно небольшую магнитуду, последствия были катастрофическими. 6 февраля 2023 г. фактически произошел дуплет почти равных по силе землетрясений ($M_w = 7.8$ и 7.6 , USGS, United States Geological Survey). Колебания затронули юго-восточную Турцию (в Кахраманмараш/Пазарчике) и северную Сирию, вызвав масштабные разрушения и более 50 000 погибших (Zilio, Amruero, 2023). Первое землетрясение ($M_w = 7.8$) произошло вдоль Восточно-Анатолийского разлома в координатах 37.225° с. ш., 37.021° в. д., а второе ($M_w = 7.6$) – на Чардакском разломе на 38.024° с. ш., 37.203° в. д., который связан с сегментом Еркенок ВАРЗ. Оба главных толчка зафиксированы на небольшой глубине (10.0–14.5 км). В случае первого землетрясения разрыв протянулся примерно на 300 км с поверхностными смещениями разрыва до 5 м. Второе событие привело к более короткому разрыву около 160 км, но оно сопровождалось большими смещениями (до 7–8 м). Интересные оценки получены по результатам совместной кинематической инверсии HR-GNSS и данных о силь-

ных движениях с учетом множественных разломов и трехмерной геометрии разрыва (Melgar et al., 2023). Так, максимальная скорость разрыва для первого события оценивается в 3.2 км/с. Для второго определяется сверхсдвиговой разрыв со скоростью 4.8 км/с в западном направлении и субсдвиговой разрыв со скоростью 2.8 км/с в восточном направлении. При этом максимальная подвижка для обоих событий достигала ~8 и ~6 м соответственно.

Относительно данных событий возникают вопросы о взаимных позициях землетрясений в дуплете (точнее, о возможной связи или ее отсутствии), наличии каких-либо признаков подготовки (среднесрочного плана). Последнее особенно интересно, ведь с 2008 г. активность ВАРЗ значительно возросла на фоне нескольких неактивных десятилетий ранее. Кроме того, в недавней работе (Закупин, Сычева, 2024) интересные результаты были получены с помощью совместного анализа данных методом среднесрочного прогноза землетрясений LURR и методом реконструкции напряжений СТД. Так, наряду с аномалиями перед землетрясениями в 2021–2022 гг., которые и составили основной результат, было замечено много аномалий, которые не удалось увязать с каким-либо землетрясением, причем большинство из них зафиксированы в 2012–2015 гг. При этом в этот же период в районе будущего дуплета, с западной стороны ВАРЗ по методу СТД были выделены практически все виды НДС (что является редким случаем). Также вызывает интерес распреде-

ление аномалий предвестников в две волны в 2021 и 2022 гг. при их пространственной группировке около обоих эпицентров (Закупин, Сычева, 2024). В связи с этим важно детально изучить структуру сейсмичности в районе эпицентров этих землетрясений с позиции сейсмической активности, что и сделано в данной работе.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

Для исследования был использован каталог землетрясений, полученный с Боун Коери – регионального центра мониторинга землетрясений и цунами (Earthquake Catalog...). Каталог содержит данные о 375 950 сейсмических событиях (20 сентября 1900 – 31 июля 2023 г.). Энергетическая характеристика землетрясений в каталоге представлена следующими магнитудами: магнитуда продолжительности землетрясения M_D (104 379 событий), локальная M_L (262 453), моментная M_W (12 794), по поверхностным волнам M_S (15 196), объемным волнам m_b (1866 событий). В каталоге также дана магнитуда x_m как наибольшее значение магнитуды в заданных пределах. Можно считать, что более 70% землетрясений в этой колонке представлено локальной магнитудой M_L . В данной работе используется значение x_m магнитуды, что дает возможность использовать максимум землетрясений из каталога. Одним из наиболее распространенных способов выделения расчетных выборок из каталога землетрясений является круговая область (в градусной сетке они представляют собой эллипсы). За период с 2000 по 2023 г. для эпицентральной зоны первого землетрясения (37.225° с. ш., 37.021° в. д.) были подготовлены выборки землетрясений в круговых областях при радиусе от 0.3 до 1.5° (с постепенным захватом большей части эпицентральной области второго землетрясения).

Сейсмическую активность будем рассматривать в самой простой форме, т. е. в виде не производной по времени, а суммирования периодов. По сути, на график наносятся точки, отражающие положение очередного землетрясения из каталога на временной шкале. Это представление также можно называть накоплением сейсмических событий. Для реализации этой задачи использовался программный комплекс SeisDynamicsView, который разработал А.И. Малышев (ИГГ УрО РАН) и предоставил ИМГиГ ДВО РАН для проведения исследований. Сам комплекс предназначен для моделирования саморазвивающихся процессов в сейсмических последовательностях, однако в этой работе применялась лишь его часть для выделения характерных периодов при сейсмической активизации. Выбор данного пакета обусловлен в том числе удобной функцией масштабирования, что позволяло быстро просматривать разные участки графиков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Графики накопления сейсмических событий построены для шести вариантов выборок, которые графически представляют собой круговые области с центром в эпицентре первого февральского землетрясения и различаются значением радиуса круга (см. рис. 2а). Мы выбрали выборки с радиусами от 30 до 150 км (от 0.3 до 1.5°), при этом понимаем, что на разных значениях в расчеты вовлекается все больше разломных структур. Здесь мы ставим задачу отделить локальные эффекты отдельных разломов и выявить те, что несут информацию от интересующего нас участка ВАРЗ. Результаты представлены на рис. 1. За исключением первого графика, на остальных определены необходимые нам общие характерные особенности, определяющие ход кривых активности. На примере выборки $R = 1^\circ$ обозначим интересующие нас участки с помощью линейной аппроксимации (красные прямые). С 2000 по 2008 г. наблюдается низкая скорость накопления, а с 2008 г. она возрастает. В 2012–2013 гг. произошла сильная сейсмическая активизация, но она никак не повлияла на угол наклона, который сохранялся до августа 2022 г. (на ряде графиков небольшой подскок без изменения угла фиксируется в конце 2017 г.). С этого момента (августа 2022 г.) угол наклона графика увеличился, но уже значительно больше, чем в 2008 г.

В первую очередь рассмотрим скачок активности в 2012 г. Эта активизация наблюдалась с сентября 2012 г. по май 2013 г. За это время произошло 64 землетрясения с магнитудами $M > 3$. Среди них максимальным было землетрясение с $M = 5.1$, а с $M > 4$ – целых 11, причем без четкой структуры следования. Поясним данный момент. 19 сентября 2012 г. зафиксировано землетрясение с $M = 5.1$, 16 октября с разницей в 9 ч $M = 4.6$ и $M = 4.5$, здесь нет ничего необычного (ожидаемые афтершоки спустя месяц). А появление 13 ноября события с $M = 4.9$, сопоставимого по магнитуде с сентябрьским толчком, уже не укладывается в рамки афтершокового процесса. Не кажется возможным и то, чтобы землетрясение с $M = 5.1$ вызвало такое количество афтершоков с $M \geq 3$ в течение 9 мес. Последние два землетрясения с $M = 4.3$ были зафиксированы 25 апреля и 1 мая 2013 г. Ситуация 2012 г. скорее похожа по характеру на продолжительный рой с многочисленными землетрясениями с близкими магнитудами, однако процесс был слишком растянутым, чтобы так его обозначить. С мая по сентябрь 2013 г. землетрясений с $M > 3$ не было уже ни одного, хотя ранее они шли по десятку в месяц. Стоит отметить, что процессы, подобные происходившим в 2012–2013 гг., совсем не подходят под описание классического сейсмического процесса с главным событием и афтершоками.

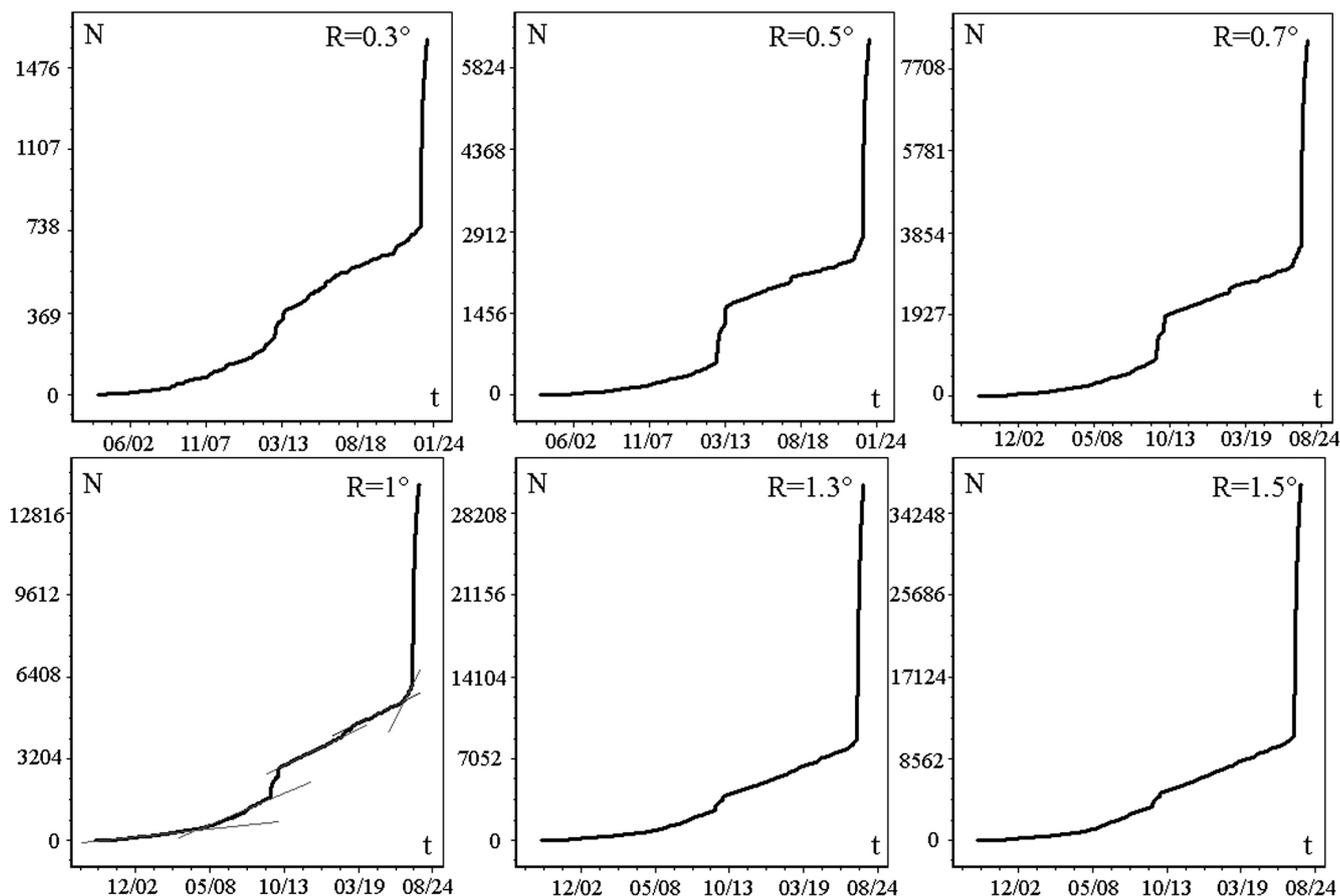


Рис. 1. Графики накопления сейсмических событий для шести выборок с 2000 по 2023 г. Показаны участки с постоянной скоростью накопления периодов. Остальные пояснения см. в тексте.

Fig. 1. Graphs of accumulation of seismic events for six samples from 2000 to 2023. Plots with a constant rate of accumulation of periods are shown. For further explanations, see the text.

Далее на масштабированных графиках рассмотрим заключительный этап развития сейсмического процесса, который связан с увеличением активности в августе 2022 г. (рис. 2). На всех графиках, кроме первого ($R = 0.3^\circ$), характер изменения активности на этом участке является скачкообразным и до землетрясения 2023 г. насчитывает три всплеска. Это логично, ведь 30 км – ближайшее расстояние до ВАРЗ, т. е. на первом графике фактически отражена сейсмическая ситуация вблизи разлома Нарли (оперяющий разлом ВАРЗ). Уже на больших расстояниях мы увидели отражение ситуации на ВАРЗ, причем она осталась доминирующей даже после захвата сейсмических событий на разломе Чардак (более 100 км).

Выявленные нами скачки частично совпадают по времени с аномалиями LURR из работы (Закупин, Сычева, 2024). В этой публикации они отмечались с марта по октябрь 2021 г. и с мая по

ноябрь 2022 г., причем большая часть появилась до августа 2022 г., когда начали фиксироваться скачки активности (см. рис. 2). Скачки активности имели место в следующие периоды: 11 июля – 3 августа 2022 г., 11–29 октября 2022 г., 22–27 декабря 2022 г. Сейсмический процесс развивался необычным образом, этапами с нарастающей энергетической характеристикой. Покажем это на примере первого скачка. 11, 13, 15 и 26 июля произошли землетрясения с $M = 2.9, 3.5, 3.7$ и 4.3 , за которыми наблюдались небольшие афтершоковые процессы. Таким образом, внутри первого скачка можем констатировать целых четыре мини-скачка с постоянным повышением магнитуды головного землетрясения (здесь неуместно употреблять главное событие), которые ввиду практически непрерывного процесса на графике и малых периодов, конечно, неразличимы. Подобные истории выявились и в двух других случаях, только

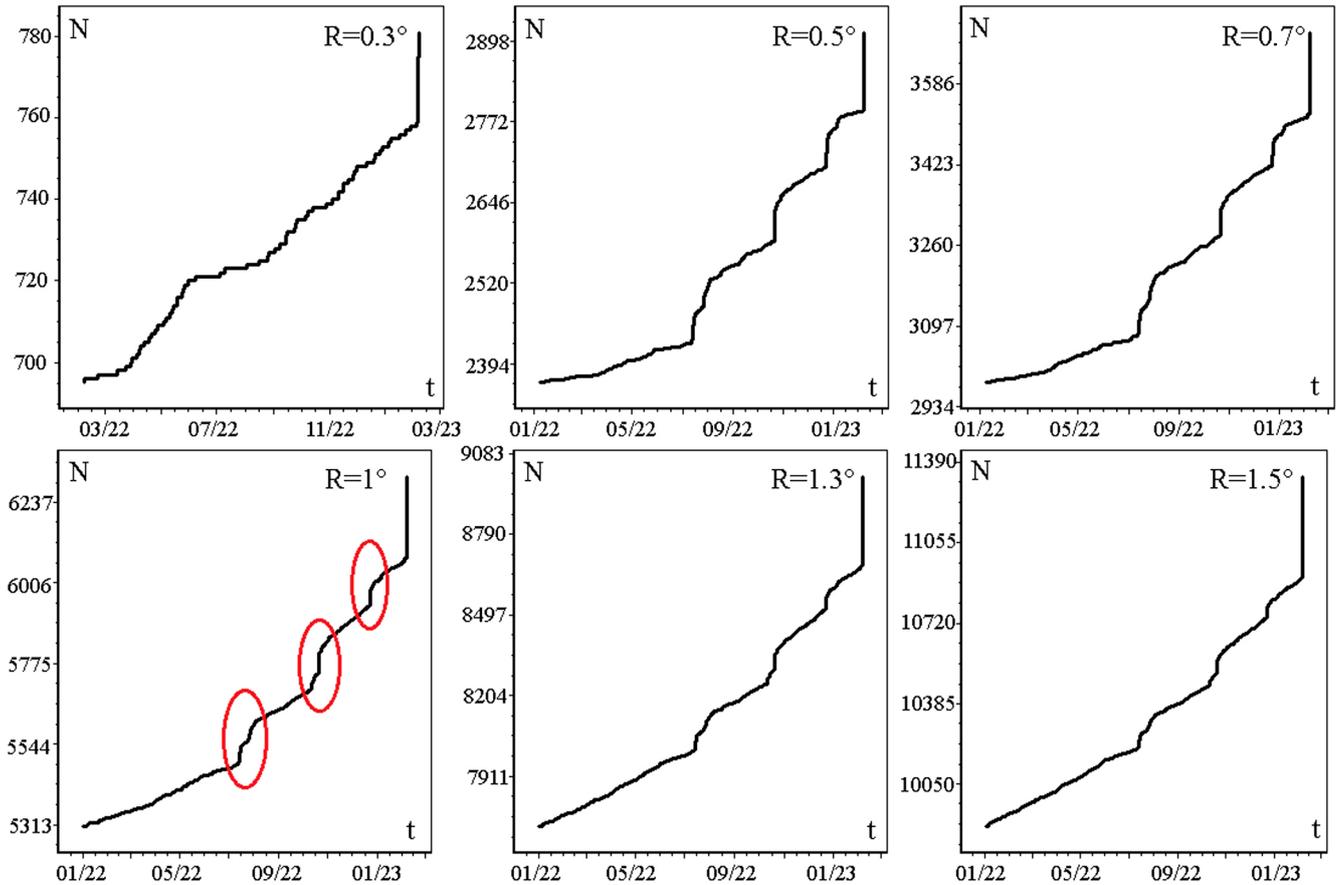


Рис. 2. Графики накопления сейсмических событий для шести выборок с 2022 по 2023 г. Показаны участки активизации с августа 2022 г.

Fig. 2. Graphs of accumulation of seismic events for six samples from 2022 to 2023. The sites of activation since August 2022 are shown.

с меньшим количеством серий с выходом на максимальную магнитуду после трех мини-скачков. В табл. 1 приведены основные характеристики всех трех сейсмических активизаций. Видно, что продолжительность активизаций снижается. Во время второй активизации возросло число слабых и самых сильных ($M > 4$) землетрясений, несмотря на снижение длительности активизации. Тре-

тья, самая короткая, активизация состояла в основном из слабых землетрясений ($M < 2$).

Характер всех активизаций (2012–2013, 2022 гг.) не соответствует стандартной схеме “разгрузки” очага, когда происходит сильное землетрясение и за ним следует длительный афтершоковый процесс, подчиняющийся закону Омори (Omori, 1894). Это наводит на мысль, что процессы, скрытые за

Таблица 1. Характеристики скачков сейсмической активности 2022 г.

Table 1. Characteristics of seismic activity spikes in 2022

№ скачка	Дата	Длительность, сут	Количество землетрясений			
			Всего	$M > 2$	$M > 3$	$M > 4$
1	11 июля–3 августа	23	128	52	13	1
2	11–29 октября	19	138	36	6	3
3	22–27 декабря	6	69	16	3	0

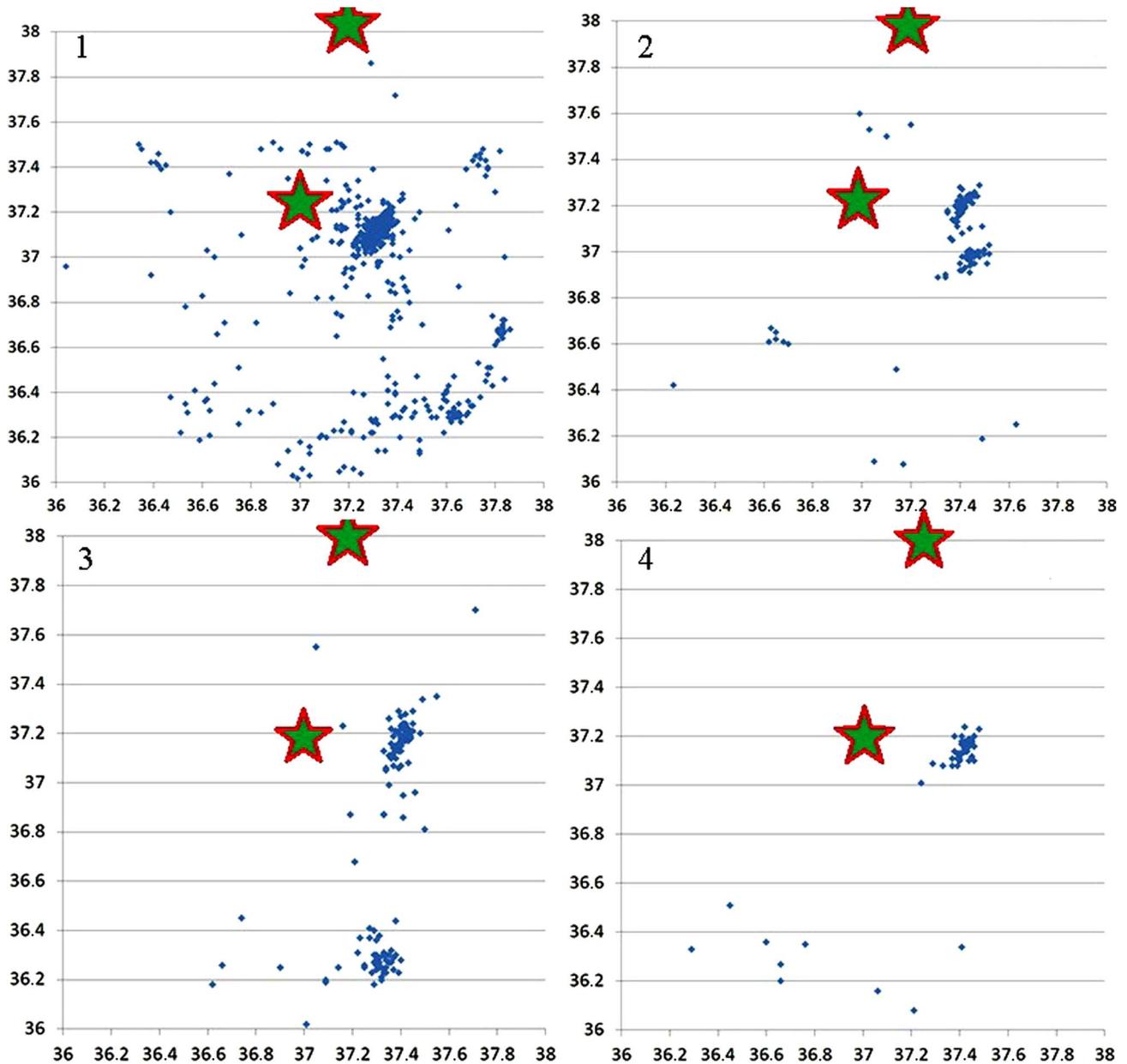


Рис. 3. Распределение сейсмических событий в пространстве для четырех активизаций.

1 – сентябрь 2012 – май 2013 г.; 2 – 11 июля – 3 августа 2022 г.; 3 – 1–29 октября 2022 г.; 4 – 22–27 декабря 2022 г.

Fig. 3. Distribution of seismic events in space for four activations.

1 – September 2012 – May 2013; 2 – July 11 – August 3, 2022; 3 – October 1–29, 2022; 4 – December 22–27, 2022.

этими скачками, могут отражать иные механизмы, отличные от разрушения отдельных структур. Например, в качестве гипотезы – это могли бы быть подвижки по разлому и демонстрация в целом модели stick-slip (Beeler et al., 2001; Соболев, Пономарев, 2003). Для полноты покажем землетрясения из таблицы на карте (рис. 3). Для понимания динамики процесса также приведем тектоническую пози-

цию, направления и скорости смещений по разломам для землетрясений дуплета (рис. 4).

Как видно из распределения сейсмических событий, активизация 2012–2013 гг. фокусируется в той же области, что и три другие, предшествовавшие землетрясению через 10 лет. Направление для всех трех совпадает с направлением ВАРЗ, однако все они также немного смещены восточ-

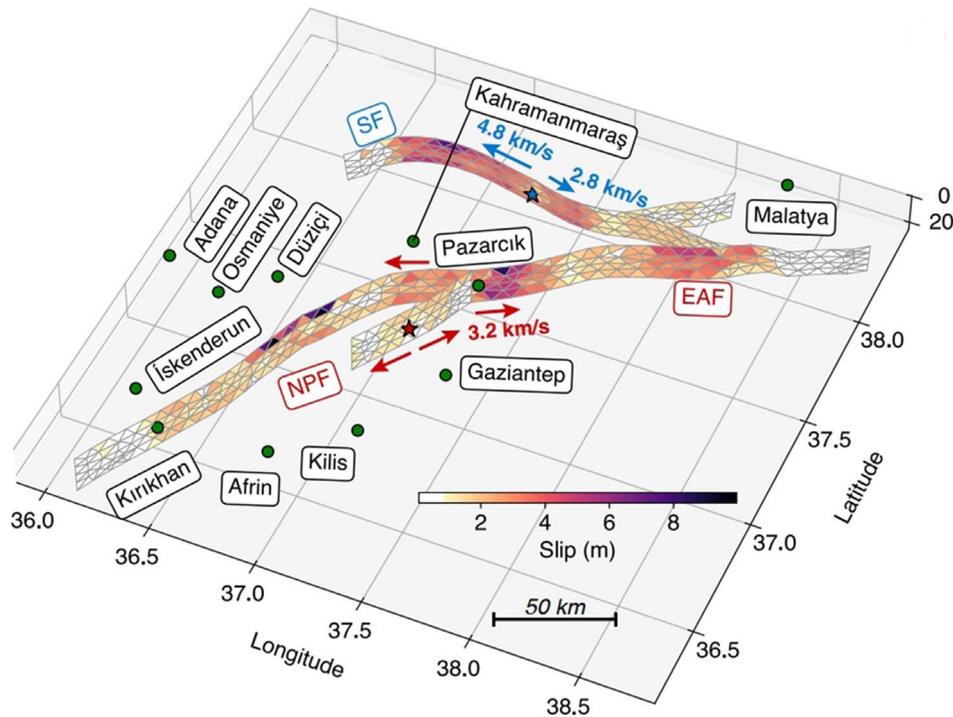


Рис. 4. Перспективный вид предполагаемой геометрии инверсии для обоих событий (Melgar et al., 2023).

$M_w = 7.8$ разрывается на ВАРЗ и Нурдагы-Пазарджикском разломе, $M_w = 7.6$ – на разломе Сюрдю. Показаны окончательные наиболее подходящие распределения скольжения. Зелеными кружками отмечены населенные пункты в регионе.

Fig. 4. Perspective view of the estimated inversion geometry for both events from (Melgar et al., 2023).

The $M_w = 7.8$ ruptures on the EAF and Nurdağı-Pazarcık fault, the $M_w = 7.6$ on the Sürgü fault. Shown are the final best fitting slip distributions. Labeled in green circles are population centers in the region.

нее относительно будущего эпицентра. Также во время второй активизации отмечается всплеск активности на 1° южнее эпицентра. Области, близкие ко второму эпицентру, не проявили себя, что в принципе видно и по графикам с большими радиусами, когда в расчетную область попадают оба эпицентра и при этом не происходит каких-либо кардинальных изменений. Все это говорит о том, что если в районе второго эпицентра условия и были созданы, то без реализации первого события там вряд ли бы что-то произошло. Результаты реконструкции напряжений по методу СТД в этот период с западной стороны ВАРЗ, полученные в работе (Закупин, Сычева, 2024), дополняют неклассическую схему активности в очаговой зоне восточнее эпицентра будущего разрушительного землетрясения (характеризуется механизмом косового сдвига).

В целом в сейсмическом процессе за 23 года можно выделить следующие ключевые события. Первое – это изменение угла наклона графика накопления сейсмических событий в 2008 г. Второе – “роевая” активность 2012–2013 гг. с восточного фланга ВАРЗ, которая сопровождалась многооб-

разием механизмов деформации с западного фланга ВАРЗ (Закупин, Сычева, 2024). Все это может свидетельствовать о том, что небольшой участок, находящийся между двух жестких блоков и выделяемый с востока ВАРЗ, а с северо-запада Чардакским разломом, находится в неустойчивом состоянии. В 2012–2013 гг. фактически были созданы условия для возникновения неустойчивой подвижки по ВАРЗ, которая и произошла через 10 лет, сопровождаясь скачкообразным процессом активности сейсмичности. Это также, скорее всего, и послужило основой для дуплета. Отметим, что данная интерпретация не является единственно возможной. Третье – сохранение скорости сейсмического процесса после 2013 г. Последние и, вероятно, ключевые события – резкое изменение угла наклона кривой активности и появление с августа 2022 г. скачкообразного характера сейсмичности (три всплеска). С учетом ряда особенностей (нехарактерного распределения магнитуд, длительности и промежутков времени между ними) скачки можно было бы рассматривать на уровне краткосрочного предвестника сильного землетрясения (за 40 дней до основного толчка).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены результаты исследования сейсмического процесса в районе Восточно-Анатолийского разлома, где в феврале 2023 г. произошли два катастрофических землетрясения (дуплет). Методом накопления сейсмических событий построены графики активности для шести областей с центром в эпицентре первого землетрясения. Выделены характерные периоды с постоянной скоростью сейсмического процесса и точки перехода. Обнаружены локальные активизации в 2012 и 2022 гг., которые приурочены к эпицентрам дуплета и являются доминирующими для ВАРЗ в целом (на протяжении как минимум 300 км). Все активизации были приурочены к одной и той же зоне немного восточнее эпицентра февральского землетрясения. Показано, что эти активизации не соответствуют стандартной схеме работы сейсмического очага, т. е. не имеют однозначно определяемого главного события и характерного афтершокового процесса. Скачкообразный процесс активности в 2022 г. закончился за 40 дней до дуплета землетрясения и может быть рассмотрен в качестве краткосрочного прогностического признака. Главными характеристиками такой краткосрочной аномалии в сейсмической активности выступают сокращение длительности каждой последующей активизации и уменьшение времени между ними.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Закупин А.С., Сычева Н.А. (2024) Ретроспективный среднесрочный прогноз катастрофического землетрясения в Турции в 2023 г. (06.02.2023, $M_w = 7.7$) методом LURR. *Геодинамика и тектонофизика*, **15**(3), 762. <https://doi.org/10.5800/GT-2024-15-3-0762>
- Соболев Г.А., Пономарев А.В. (2003) Физика землетрясений и предвестники. (Отв. ред. В.Н. Страхов). М.: Наука, 270 с.
- Beeler N., Lockner D., Hickman S. (2001) A Simple Stick-Slip and Creep-Slip Model for Repeating Earthquakes and its Implication for Microearthquakes at Parkfield. *Bull. Seismological Soc. Amer.*, **91**(6), 1797-1804. <https://doi.org/10.1785/0120000096>
- Earthquake catalog [Электронный ресурс]. Bogazici University. Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. Regional Earthquake-Tsunami monitoring center. URL: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/moment-tensor-solutions>

- Melgar D., Taymaz T., Ganas A., Crowell B., Öcalan T., Kahraman M., Tsironi V., Yolsal-Çevikbilen S., Valkaniotis S., Irmak T.S., Eken T., Erman C., Özkan B., Dogan A.H., Altuntaş C. (2023) Sub- and super-shear ruptures during the 2023 M_w 7.8 and M_w 7.6 earthquake doublet in SE Türkiye. *Seismica*, **2**(3). <https://doi.org/10.26443/seismica.v2i3.387>
- Omori F. (1894) On the aftershocks of earthquakes. *J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo*, **7**, 111-200.
- Yin X.C., Chen X.Zh., Song Zh.P., Yin C. (1995) A new approach to earthquake prediction: The Load/Unload Response Ratio (LURR) theory. *Pure App. Geophys.*, **145**(3-4), 701-715.
- Zilio D.L., Ampuero J.P. (2023) Earthquake doublet in Turkey and Syria. *Comm. Earth & Environ.*, **4**(1), 71. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00747-z>

REFERENCES

- Beeler N., Lockner D., Hickman S. (2001) A Simple Stick-Slip and Creep-Slip Model for Repeating Earthquakes and its Implication for Microearthquakes at Parkfield. *Bull. Seismological Soc. Amer.*, **91**(6), 1797-1804. <https://doi.org/10.1785/0120000096>
- Earthquake catalog [Электронный ресурс]. Bogazici University. Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. Regional Earthquake-Tsunami monitoring center. URL: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/moment-tensor-solutions>
- Melgar D., Taymaz T., Ganas A., Crowell B., Öcalan T., Kahraman M., Tsironi V., Yolsal-Çevikbilen S., Valkaniotis S., Irmak T.S., Eken T., Erman C., Özkan B., Dogan A.H., Altuntaş C. (2023) Sub- and super-shear ruptures during the 2023 M_w 7.8 and M_w 7.6 earthquake doublet in SE Türkiye. *Seismica*, **2**(3). <https://doi.org/10.26443/seismica.v2i3.387>
- Omori F. (1894) On the aftershocks of earthquakes. *J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo*, **7**, 111-200.
- Sobolev G.A., Ponomarev A.V. (2003) Earthquake physics and precursors. Ed. by V.N. Strakhov. Moscow, Nauka, 270 p. (In Russ.)
- Yin X.C., Chen X.Zh., Song Zh.P., Yin C. (1995) A new approach to earthquake prediction: The Load/Unload Response Ratio (LURR) theory. *Pure App. Geophys.*, **145**(3-4), 701-715.
- Zakupin A.S., Sycheva N.A. (2024) Retrospective medium-term forecast of a catastrophic earthquake in Turkey in 2023 (02/06/2023, $m_w = 7.7$) using the LURR method. *Geodynamics & Tectonophysics*, **15**(3), 762. <https://doi.org/10.5800/GT-2024-15-3-0762>
- Zilio D.L., Ampuero J.P. (2023) Earthquake doublet in Turkey and Syria. *Comm. Earth & Environ.*, **4**(1), 71. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00747-z>