

УДК 550.34

DOI: 10.46698/VNC.2026.94.11.001

Оригинальная статья

## Особенности сейсмического режима западного и восточного сегментов Крымско-Черноморского региона

Ю.М. Вольфман<sup>ORCID</sup>, Е.Я. Колесникова<sup>ORCID</sup>, М.Н. Бондарь<sup>ORCID</sup>

Институт сейсмологии и геодинамики, Крымский федеральный университет  
им. В.И. Вернадского, Россия, 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4,  
e-mail: seism.volf@gmail.com

Статья поступила: 09.12.2025, доработана: 27.02.2026, принята к публикации: 04.03.2026

**Резюме:** Актуальность работы обусловлена необходимостью оценки параметров сейсмического режима в западном и восточном сегментах Крымско-Черноморского региона, которые различаются строением и суперпозицией по отношению к основным сейсмически активным структурам Средиземноморского пояса. **Цель исследований:** изучение пространственно-временных особенностей и периодов повторяемости землетрясений, сравнительный анализ сейсмического режима в пределах западного и восточного сегментов региона, идентификация максимумов сейсмической активности. **Фактологической основой** послужили данные каталога землетрясений Института сейсмологии и геодинамики КФУ им. В.И. Вернадского за 1950–2024 годы. **Методы исследования:** сравнительный анализ параметров, характеризующих пространственные особенности сейсмичности региона; анализ графиков повторяемости землетрясений, выявление общих закономерностей и отличительных особенностей сейсмических режимов в пределах исследуемых сегментов; анализ периодичности всплесков сейсмической активности и сопоставление их параметров. **Результаты исследований.** В процессе анализа графиков повторяемости землетрясений для западного и восточного сегментов региона установлены фрагменты с высокой степенью сходимости значений параметров (в интервале классов  $K=8-12$ ). Данный режим является «фоновым», характеризующим основной тренд развития сейсмического процесса всего региона. Существенные различия графиков повторяемости в интервалах низких ( $K=3-8$ ) и высоких ( $K>12$ ) энергетических классов отражают значительные отклонения сейсмического режима от его фонового тренда. Эти различия обусловлены особенностями строения региона и влиянием геодинамических процессов в пределах территории Турции и сопредельных районов Кавказа. Также установлено, что периоды повышенной активности, определяемые по пиковым значениям выделившейся сейсмической энергии, в западном и восточном сегментах региона проявляются асинхронно с периодичностью 12–13 лет. При этом пиковые значения в пределах одного сегмента приходятся на середину периодов относительного затишья в смежном сегменте и наоборот.

**Ключевые слова:** землетрясения, сейсмический режим, выделившаяся энергия, графики повторяемости, пиковые значения.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках научной темы FZEG-2024-0016 Министерства науки и высшего образования РФ.

**Для цитирования:** Вольфман Ю.М., Колесникова Е.Я., Бондарь М.Н. Особенности сейсмического режима западного и восточного сегментов Крымско-Черноморского региона. *Геология и геофизика Юга России*. 2026. 16(1): 20–32. DOI: 10.46698/VNC.2026.94.11.001

DOI: 10.46698/VNC.2026.94.11.001

Original papers

## Features of the seismic regime in the western and eastern segments of the Crimean-Black Sea region

Yu.M. Volfman<sup>ORCID</sup>, E.Ya. Kolesnikova<sup>ORCID</sup>, M.N. Bondar<sup>ORCID</sup>

Institute of Seismology and Geodynamics, V.I. Vernadsky Crimean Federal University,  
4 Vernadskogo Pr., Simferopol 295007,  
Russian Federation, e-mail: seism.volf@gmail.com

Received: 09.12.2025, revised: 27.02.2026, accepted: 04.03.2026

**Abstract:** The relevance of this work is due to the need to assess the parameters of the seismic regime in the western and eastern segments of the Crimean-Black Sea region, which differ in structure and superposition relative to the main seismically active structures of the Mediterranean belt. **The aim** of the research is to study the spatial and temporal features and recurrence periods of earthquakes, to conduct a comparative analysis of the seismic regime within the western and eastern segments of the region, and to identify the peaks of seismic activity. **The data are based** on the earthquake catalog of the Institute of Seismology and Geodynamics at V.I. Vernadsky CFU for the years 1950–2024. **Research methods:** comparative analysis of parameters characterizing the spatial features of the region's seismicity; analysis of earthquake recurrence graphs, identification of general patterns and distinctive features of seismic regimes within the studied segments; analysis of the periodicity of seismic activity bursts and comparison of their parameters. **Results.** In the process of analyzing the earthquake recurrence graphs for the western and eastern segments of the region, fragments with a high degree of convergence of parameter values (in the interval of  $K=8-12$  classes) were established. This mode is a “background” mode that characterizes the main trend of the seismic process development in the entire region. Significant differences in the recurrence graphs for low ( $K=3-8$ ) and high ( $K>12$ ) energy class intervals reflect significant deviations from the background trend of the seismic regime. These differences are influenced by the specific geological structure of the region and the impact of geodynamic processes within Turkey and the adjacent regions of the Caucasus. It has also been established that periods of increased activity, determined by the peak values of released seismic energy, occur asynchronously in the western and eastern segments of the region with a periodicity of 12–13 years. Moreover, the peak values within one segment occur in the middle of periods of relative quiescence in the adjacent segment, and vice versa.

**Keywords:** earthquakes, seismic regime, released energy, recurrence graphs, peak values.

**Acknowledgments:** The work was carried out within the framework of the scientific theme FZEG-2024-0016 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

**For citation:** Volfman Yu.M., Kolesnikova E.Ya., Bondar M.N. Features of the seismic regime in the western and eastern segments of the Crimean-Black Sea region. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2026. 16(1): 20–32. DOI: 10.46698/VNC.2026.94.11.001

### Введение

Основные сейсмогенные структуры Крымско-Черноморского региона протягиваются вдоль побережья Крыма и Кавказа [Мониторинг ..., 2014; Общее ..., 2016; Пустовитенко и др., 1989] и приурочены к континентальному склону Черного моря (рис. 1). Именно в пределах одной из них – Южнобережной, произошло самое сильное из современных сейсмических событий в регионе – катастрофическое Ялтинское землетрясение 11.09.1927 г. с  $M_w=6,9$ . Масштаб вызванных им разрушений обусло-

вил организацию в Крыму в 1927–1928 гг. первой в стране стационарной системы сейсмического мониторинга [Мониторинг ..., 2014]. За весь период инструментальных наблюдений (без малого 100 лет) крымскими сейсмостанциями было зарегистрировано более 4-х с половиной тысяч местных землетрясений.

Сейсмическая активность Крымско-Черноморского региона обусловлена его геотектонической суперпозицией и сложным строением. Эти же факторы предопределили особенности проявления сейсмических режимов в пределах его западного и восточного сегментов. Располагаясь на периферии Средиземноморского складчатого пояса, исследуемый регион включает (с севера на юг): юго-западный склон дорифейской Восточно-Европейской платформы, эпиварисскую Скифскую плиту с системой наложенных альпийских прогибов, горные сооружения Крыма и Кавказа, а также Черноморскую котловину, наиболее глубоководные части которой – Западно- и Восточно-Черноморская впадины, характеризуются корой субокеанического типа (рис. 1). Более того, и Горный Крым, ограничивающий с севера основную Южнобережную сейсмогенную зону, по мнению некоторых исследователей, неоднороден в тектоническом отношении. Его юго-западная часть идентифицируется как эпиплатформенный ороген, который образовался вследствие активизации южного края Скифской плиты на альпийском этапе, тогда как восточный фланг Горного Крыма вместе с южной частью Керченского полуострова входят в состав области альпийской складчатости, являясь северо-западным периклинальным замыканием сооружений Большого Кавказа [Пчелинцев, 1966], обрамляемым поясом грязевых вулканов. Граница между ними весьма условна, но практически совпадает с зоной разграничения Крымско-Черноморского региона на западный и восточный сегменты (рис. 1, 2).

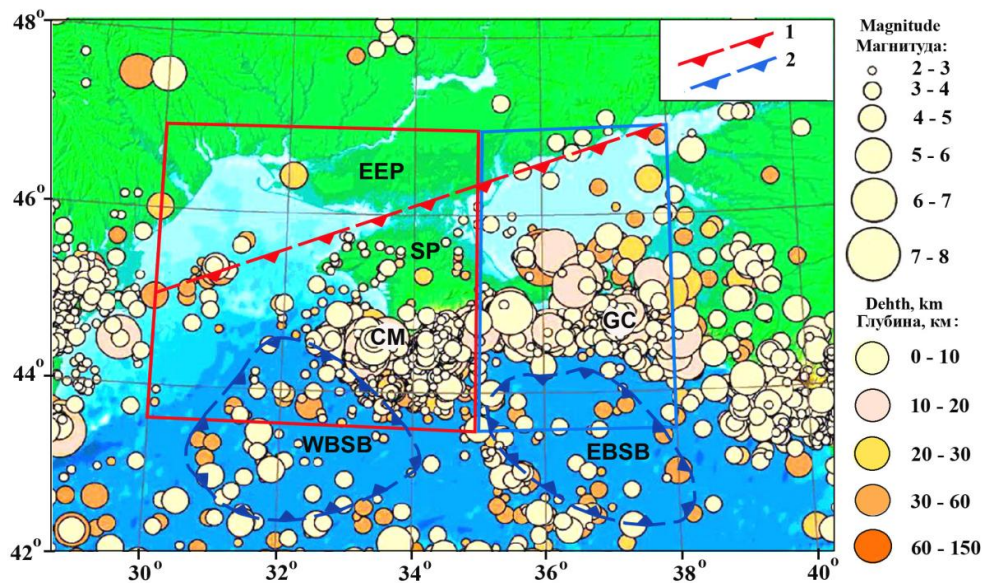


Рис. 1. Схема сейсмичности Крымско-Черноморского региона (по [Мониторинг ..., 2014], фрагмент) с элементами тектонического районирования. Условные обозначения: 1 – зона сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты; 2 – границы глубоководных впадин с корой субокеанического типа. Буквами обозначены: EEP – склон Восточно-Европейской платформы, SP – Скифская плита, CM – Горный Крым, GC – Большой Кавказ, WBSB и EBSB – Западно- и Восточно-Черноморская впадины. Красный и синий прямоугольники – границы западного и восточного сегментов региона /

Fig. 1. Seismicity map of the Crimean-Black Sea region (according to [Monitoring ..., 2014], fragment) with elements of tectonic zoning. Symbols: 1 – zone of junction of the East European platform and the Scythian plate; 2 – boundaries of deep-water depressions with sub-oceanic type of crust. The letters stand for: EEP – the slope of the East European Platform, SP – the Scythian Plate, CM – the Mountainous Crimea, GC – the Greater Caucasus, WBSB and EBSB – the West and East Black Sea depressions. The red and blue rectangles represent the boundaries of the western and eastern segments of the region

Вследствие периферийного положения Крымско-Черноморского региона в системе Средиземноморского пояса, уровень сейсмичности и вероятность возникновения сильных землетрясений в его пределах ниже, чем на территории Малой Азии (в основном, в Турции) и сопредельных районов Кавказа, где сосредоточены основные сейсмогенные зоны центрального Средиземноморья [Глумов и др., 2004; Рогожин и др., 2015; Рогожин, 2012; Свалова, Заалишвили, 2024]. Последние унаследовали положение зон палеосубдукции, которые смещались в южном направлении в процессе геодинамической эволюции Средиземноморского пояса по мере причленения к Евразии литосферных плит (Африки, Аравии) и субплит (террейнов) северных окраин Палео- и Неотетиса [Короновский, Демина, 1999; Никишин, Ершов, 2004; Сенин и др., 2022; Nikishin et al., 2011; Zonenshain, Le Pichon, 1986; Okay, Nikishin, 2015; Saintot et al., 1999; Stephenson, Schellart, 2010].

Так, положение позднепалеозойской зоны субдукции трассируется сейсмичностью Большого Кавказа–Копетдага, мезозойской – Северо-Анатолийской и Эльбурс-Малокавказской сейсмогенными системами, кайнозойской – зонами Восточно-Анатолийского разлома и Загроса [Nikishin et al., 2011; Рогожин, 2012 и др.]. Эти структуры формируют сейсмический климат центрального Средиземноморья, оказывая влияние и на сейсмичность Крымско-Черноморского региона. Располагаясь на значительном удалении от Крыма, все они (за исключением системы Большого Кавказа–Копетдага) отделены от него впадиной Черного моря, которая, выступая в роли своеобразного демпфера, гасит часть тектонических напряжений, генерируемых процессами геодинамического взаимодействия литосферных плит в пределах Малой Азии и сопредельных районов. При этом в самой Черноморской впадине также высвобождается значительное количество сейсмической энергии [Пустовитенко, Кульчицкий, 1991] в виде землетрясений относительно высоких энергетических классов (например, события 09.06.1997 г. с  $K=11,7$ ; 09.10.1997 г. с  $K=10,7$ ; 30.09.1998 г. с  $K=10,6$  и др.).

Результаты анализа пространственно-временного распределения очагов землетрясений и выделившейся сейсмической энергии в пределах западного и восточного сегментов Крымско-Черноморского региона отражают различный характер проявления сейсмического режима. Особую тревогу вызывает высокий уровень сейсмической активности в восточной части региона, где сосредоточено большое количество транспортных, энергопоставляющих и иных коммуникаций, связывающих Крым с материковой частью России.

Таким образом, актуальность работы обусловлена необходимостью исследования особенностей сейсмического режима в пределах различных сегментов Крымско-Черноморского региона, различающихся строением и положением по отношению к основным сейсмогенерирующим структурам Средиземноморского пояса. Целью работы является сравнительный анализ сейсмического режима в пределах западного (в координатах  $\varphi=43,5\div 47^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=30\div 35^\circ\text{E}$ ) и восточного (с координатами  $\varphi=43,5\div 47^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=35\div 38^\circ\text{E}$ ) сегментов Крымско-Черноморского региона (рис. 1). Под сейсмическим режимом при этом понимаются пространственно-временные особенности распределения совокупностей землетрясений разных энергетических классов [Общее ..., 2016], а также периодичность проявления всплесков повышенной активности на фоне относительного сейсмического затишья.

## Исходные данные и методы исследования

**Фактологической основой** исследований послужили данные сводного каталога землетрясений Института сейсмологии и геодинамики Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. В состав анализируемой выборки вошли все

события (3551 землетрясение), произошедшие в Крымско-Черноморском регионе с 1950 по 2024 годы – в период, который характеризуется относительно высокой представительностью энергетических классов регистрируемых событий [Мониторинг ..., 2014]. Для внесения землетрясений в каталоги по их пространственному расположению весь регион был условно разделен на несколько районов [Пустовитенко и др., 1989], что послужило основой и для определения границ исследуемых – западного и восточного – сегментов. К западному сегменту отнесены сейсмические события, произошедшие в районах №№1–3, 6 и 8; к восточному – в районах 4, 5, 7 (рис. 2). Таким образом, в географическом отношении западный сегмент охватывает юго-западную и центральную части Горного Крыма, Равнинный Крым, а также – центральную и западную акватории Черного моря. В состав восточного сегмента вошли прилегающие к Кавказу территории Керченского и Таманского полуостровов, акватории Азовского и восточной части Черного моря. Землетрясения района №9 (глубоководной части Черного моря, к югу от широты  $\varphi=43,5^{\circ}\text{N}$ ) в обработку не включались.

**Методическую основу** исследований составили приемы сравнительного пространственно-временного анализа параметров сейсмической активности в пределах западного и восточного сегментов региона. Мерой интенсивности каждого из землетрясений являлись значения их энергетических классов  $K_{п}$  [Пустовитенко, Кульчицкий, 1974], соответствующие величине логарифма выделившейся в очаге сейсмической энергии (в *Джоулях*). Пространственный анализ сейсмической активности осуществлялся по количеству (или плотности на единицу площади с размером ячейки  $2 \times 2^{\circ}$ ) сейсмических событий ( $\Sigma N$ ), а также (поскольку землетрясения характеризуются энергетическими классами в широком диапазоне с  $K=3-15$ ) – по величине суммарной выделившейся энергии в очагах ( $\Sigma E$ , *Дж*) или по значению ее логарифма ( $\text{Lg}\Sigma E$ ). Эти же параметры послужили основой сравнительного анализа сейсмической активности во времени и, наряду с графиками повторяемости землетрясений разной интенсивности, позволили охарактеризовать как общие закономерности сейсмического процесса в регионе, так и различия его проявления в пределах западного и восточного сегментов.

## Результаты исследований и их обсуждение

**Особенности пространственно-временного распределения очагов землетрясений и выделившейся в них сейсмической энергии.** Результаты анализа особенностей распределения указанных параметров показали весьма существенные различия сейсмического режима в пределах западного и восточного сегментов Крымско-Черноморского региона (рис. 2).

Так, за последние 75 лет (с 1950 по 2024 годы) в западном сегменте произошло 2723 землетрясения (75 % от общего количества), при этом их вклад в общий энергетический баланс составил всего  $22 \cdot 10^{12}$  *Дж* (менее 2 % от суммарной энергии всего региона). В то же время, в восточной части было зафиксировано 828 землетрясений (23 % от общего количества), в которых выделилось около  $1048 \cdot 10^{12}$  *Дж* сейсмической энергии, что составляет 98 % от суммарной энергии землетрясений всего региона. Отчасти данное соотношение количества землетрясений обусловлено разными уровнями представительности событий низких энергетических классов в пределах исследуемых сегментов, о чем подробнее будет сказано ниже. Тем не менее, можно полагать вполне реальным наличие обратной зависимости между количеством сейсмических событий и их интенсивностью: в западном сегменте землетрясения происходят гораздо чаще и в большом количестве, в то время как в восточном сегменте относительно небольшое количество событий индуцировало почти всю сейсмическую энергию региона. Данные различия иллюстрируют схемы распределения величин

логарифма суммарной выделившейся сейсмической энергии ( $Lg\Sigma E$ ) и количества землетрясений ( $\Sigma N$ ) в регионе за период с 1950 по 2024 годы (рис. 2).

Подобное соотношение подтверждается и данными наблюдений за январь–октябрь 1925 года: из 131-го зарегистрированного в регионе землетрясения только четыре (то есть менее 3 % от общего количества, в том числе – событие 12.01.2025 г. с  $K=11,5$ ) произошло в восточном сегменте (в Керченско-Таманском районе). Однако их вклад в годовой энергетический баланс региона составил почти 94 % ( $317 \cdot 10^9$  Дж), подтверждая вывод о том, что в восточном сегменте землетрясения происходят реже, чем в западном, однако в основной своей массе они являются более интенсивными.

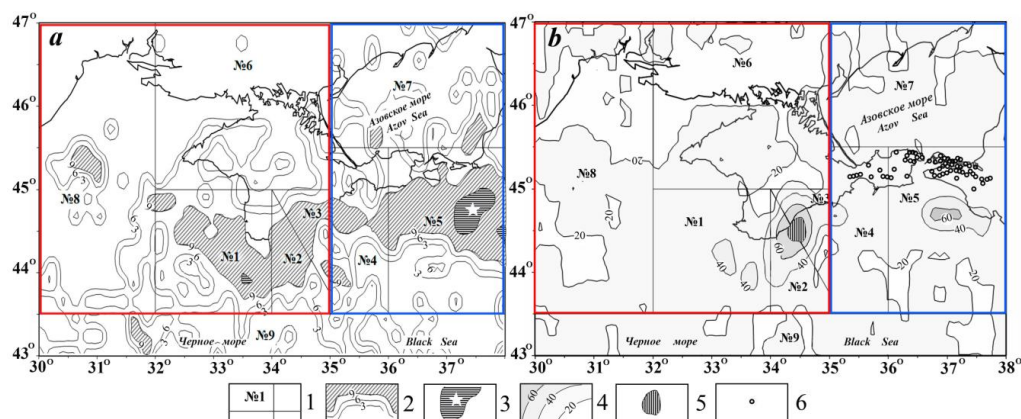


Рис. 2. Распределение величин логарифма суммарной выделившейся сейсмической энергии (а) и количества землетрясений (б) Крымско-Черноморского региона в период с 1950 по 2024 годы (размер ячейки  $2 \times 2^\circ$ ). Условные обозначения: 1 – границы и номера сейсмических районов; 2-3 – изолинии равных значений (2) и область максимальных ( $Lg\Sigma E \geq 12,0$ ) значений (3) логарифма суммарной сейсмической энергии, звездочка – землетрясение 12.07.1966 г. с  $K=15,0$ ; 4-5 – изолинии равных значений (4) и область локализации (5) максимального (более 200) количества очагов землетрясений; 6 – грязевые вулканы. Красный и синий прямоугольники – границы западного и восточного сегментов региона /

Fig. 2. Distribution of the logarithm of the total seismic energy released (a) and the number of earthquakes (b) in the Crimean-Black Sea region from 1950 to 2024 ( $2 \times 2^\circ$  cell size). Symbols: 1 – boundaries and numbers of seismic regions; 2-3 – isolines of equal values (2) and the area of maximum ( $Lg\Sigma E \geq 12,0$ ) values (3) of the logarithm of the total seismic energy, asterisk – earthquake of July 12, 1966 with  $K=15,0$ ; 4-5 – isolines of equal values (4) and the area of localization (5) of the maximum (more than 200) number of earthquake sources; 6 – mud volcanoes. The red and blue rectangles represent the boundaries of the western and eastern segments of the region /

Сравнение графиков повторяемости землетрясений западного и восточного сегментов позволило выявить как общие особенности сейсмического режима в их пределах, так и существенные различия его проявления, что отражают результаты фрагментации графиков по интервалам энергетических классов (рис. 3 а, б).

Центральная часть графиков в интервале классов  $K=8-12$  (I фрагмент) указывает на высокий уровень сходства сейсмического режима в обоих сегментах региона (рис. 3 а, б). Левыми ограничениями этого фрагмента служат уровни представительности, значения которых приблизительно одинаковы (для западной части региона –  $K \geq 7$ , для восточной –  $K \geq 8$ ), правыми – максимальные значения  $K$ , удовлетворяющие линейному их распределению. В указанном интервале графики практически тождественны, поскольку соответствующие каждому классу значения  $\Sigma N$  и  $\Sigma E$  имеют весьма близкие значения. Это же подтверждают и незначительные отклонения указанных параметров от их средних значений по всему региону: в обоих случаях величина отклонений составляет менее 20 % (рис. 3 с, д).

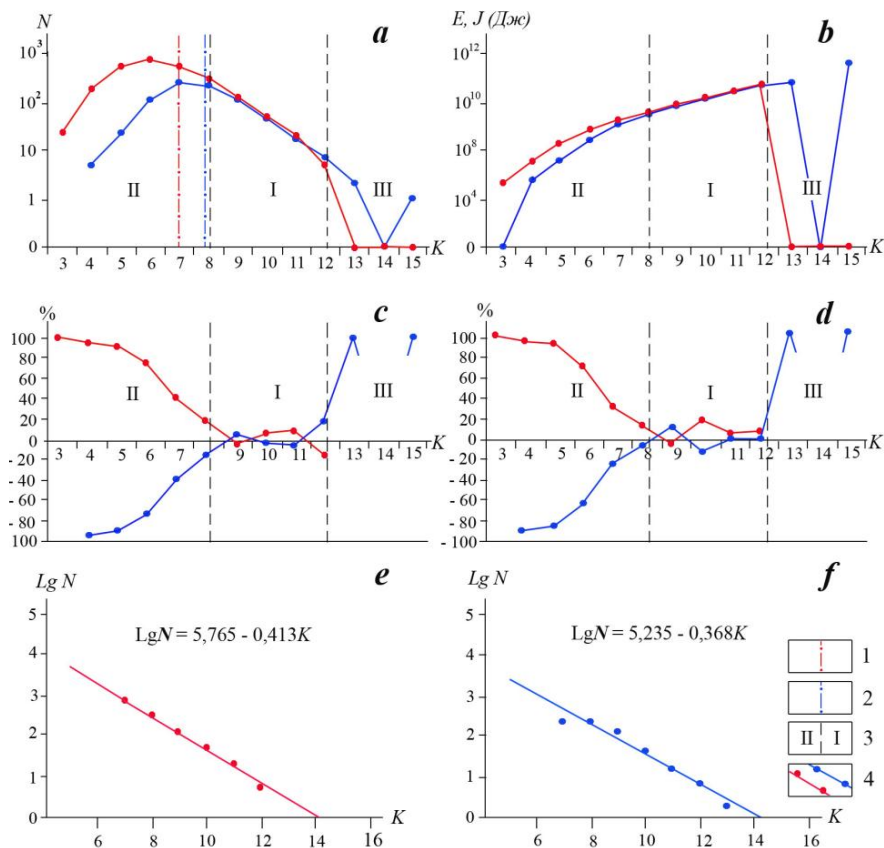


Рис. 3. Сопоставление параметров сейсмичности западного (красные графики) и восточного (синие графики) сегментов региона: **a, b** – распределения по классам количества землетрясений и выделившейся энергии; **c, d** – отклонения этих параметров от средних значений по региону; **e, f** – графики повторяемости (фоновые тренды) для западного и восточного сегментов.

Условные обозначения: 1-2 – уровни представительности, соответственно, для западного и восточного сегментов; 3 – границы фрагментов распределения параметров с разными режимами; 4 – графики повторяемости (характеризующие фоновые тренды) западного (красный) и восточного (синий) сегментов /

Fig. 3. Comparison of seismicity parameters for the western (red graphs) and eastern (blue graphs) segments of the region: **a, b** – distributions of the number of earthquakes and seismic energy; **c, d** – deviations of these parameters from the regional averages; **e, f** – repeatability schedule (background trends) for the western ( $K=7-12$ ) and eastern ( $K=8-13$ ) segments. Symbols: 1-2 – levels of representativeness for the western and eastern segments, respectively; 3 – boundaries of parameter distribution fragments with different modes; 4 – repeatability graphs (characterizing background trends) for the western (red) and eastern (blue) segments

Согласно закону Гуттенберга-Рихтера (применительно к энергетическим классам –  $LgN=a-bK$ ), распределение в западном сегменте региона аппроксимирует формула  $LgN=5,765-0,413K$ , в восточном –  $LgN=5,235-0,368K$  (рис. 3 *e, f*). В этих уравнениях численные значения коэффициентов имеют близкие значения: их отклонения от среднего не превышают 9–11 %. Из этого следует, что угол наклона обоих графиков примерно одинаков, а сейсмический режим – как по количеству землетрясений, так и в их энергетическом наполнении – можно полагать сходным в пределах исследуемых сегментов Крымско-Черноморского региона.

Совпадающие интервалы обоих графиков с  $K=8-12$  характеризуют краткосрочные параметры сейсмического режима, поскольку исследуемый период составляет всего 75 лет, и являются *фоновыми* (если это понятие применимо не только к совокупностям статических величин, но и к трендам динамических процессов). Учитывая близость значений коэффициентов в уравнениях для западного и восточного сег-

ментов, общий фоновый тренд сейсмического режима всего региона можно описать формулой  $LgN=6,187-0,433K$ .

Левые ветви графиков в интервале  $K=3-8$  (*II фрагмент*), нисходящие относительно линии общего тренда, указывают на существенное различие сейсмических режимов в западном и восточном сегментах. Как отмечалось, это различие отчасти обусловлено разными уровнями представительности, на что указывает и отсутствие в пределах восточного сегмента зарегистрированных землетрясений с  $K=3$  за рассматриваемый период. Однако это обстоятельство лишь частично объясняет огромную разницу (более, чем в 4 раза) в количестве регистрируемых событий с  $K \leq 8$ : 2528 землетрясений – на западе и 627 – на востоке. Соответственно, и выделение энергии происходило в пропорции  $0,103 \cdot 10^{12}$  Дж к  $0,077 \cdot 10^{12}$  Дж, т.е. отличалось почти в полтора раза. Однако приведенные данные свидетельствуют также и о том, что среднее (удельное, из расчета на одно сейсмическое событие) количество выделившейся энергии в восточной части региона было почти в три раза выше, чем в западной (соответственно,  $123 \cdot 10^6$  и  $41 \cdot 10^6$  Дж).

Отличительной особенностью правой части графиков повторяемости в интервале с  $K > 12$  (*III фрагмент*) является отсутствие землетрясений высоких энергетических классов в западном сегменте Крымско-Черноморского региона в период с 1950 по 2024 годы. В то же время, в пределах восточного сегмента за это время произошло 3 значимых события: одно из них (12.07.1966 г.) – с  $K=15,0$ ; два (03.09.1978 и 09.11.2002 г.) – с  $K=13,2$  и  $K=13,0$ . Именно эти землетрясения внесли основной вклад в региональный энергетический баланс, так как количество выделившейся в них сейсмической энергии составило 98 % от суммарной энергии восточного сегмента или 96 % от общего количества энергии региона. При этом, если последние из этих событий по своим параметрам еще удовлетворяют фоновому тренду (рис. 3 *f*), то параметры землетрясения 12.07.1966 г. с  $K=15,0$  «выпадают» из него, резко отклоняясь вверх от его линии.

Это подтверждают расчеты максимально возможного (в рамках фонового тренда) энергетического класса землетрясений ( $K_{max}$ ) как для каждого изучаемого сегмента, так и для региона в целом. Приняв в вышеприведенных уравнениях (поскольку логарифм нуля считается неопределенным) значение  $LgN$  условно минимальным (например,  $LgN=0,001$ ), получим предельные значения  $K_{max}$ , удовлетворяющие фоновому распределению. Для западного сегмента эта величина составляет  $K_{max}=13,956$ , для восточного –  $K_{max}=14,223$ , для всего региона –  $K_{max}=14,286$ . Следовательно, землетрясения с  $K > 14$  уже не отвечают параметрам фонового тренда: их следует расценивать как аномальные проявления сейсмической активности в регионе.

К таковым в восточном сегменте относится землетрясение 12.07.1966 года с  $K=15,0$ . Однако максимально значимым (за весь период проведения инструментальных наблюдений – с 1927 г. по настоящее время), безусловно, являлся катастрофический взрыв сейсмической активности в западном сегменте региона, произошедший в июне и сентябре 1927 года. Он реализовался в виде разрушительного Ялтинского землетрясения 11.09.1927 г. с  $K=18,2$  ( $M_w=6,9$ ), которому предшествовал форшок 26.06.1927 г. с  $K=16,7$  ( $M_w=6,3$ ) [Мониторинг ..., 2014; Пустовитенко и др., 1989]. Затем в течение короткого времени (11–24 сентября) последовала серия афтершоков, девять из которых имели  $K \geq 14$ . Общее количество выделившейся при этом энергии составило  $1816253 \cdot 10^{12}$  Дж ( $Lg\Sigma E=18,259$ ), что более чем на три порядка превышает уровень события 12.07.1966 г. ( $1000 \cdot 10^{12}$  Дж,  $Lg\Sigma E=15,000$ ). Иных существенных (относительно фонового тренда) всплесков сейсмической активности, кроме 1927 и 1966 гг., за период инструментальных наблюдений в регионе зарегистрировано не было.

Учитывая колоссальную разницу (в несколько порядков) количества энергии, выделившейся в очагах землетрясений 1927 и 1966 годов, как относительно фонового тренда, так и между самими этими пароксизмальными событиями, допустимо предположить наличие в регионе *многоуровневой* сейсмической активности и, соответственно, цикличности ее проявления. Соотношение разных уровней этой цикличности можно отразить следующим образом: *низкий уровень* (краткопериодная цикличность в рамках фонового тренда с  $K < 14$ ) → *средний уровень* (среднепериодная, в результате которой возникают землетрясения с  $K = 15 \pm 1$ ; пример – всплеск активности в 1966 г.) → *высокий уровень* (длиннопериодная, которая проявляется в виде событий с  $K \geq 17$ , аналогичных Ялтинскому землетрясению 1927 г.). Определить точные временные рамки реализации всех этих уровней не представляется возможным, поскольку интервалы между экстремальными проявлениями сейсмической активности значительно превышают период проведения инструментальных сейсмических наблюдений.

Следует иметь в виду, что каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона содержит сведения еще о 15-ти сильных исторических (доинструментального периода) событиях с  $K \geq 14$ , семь из которых произошло в западном сегменте региона, восемь – в его восточной части. Данные по некоторым из этих землетрясений (по Пантикапейскому 63 г. до н.э., по Херсонесскому 480 г. н.э. и др.) приведены в научной литературе [Бунэ, Медведева, 1990; Новый ..., 1977; Фирсов, 1976], хотя достоверность этих данных иногда подвергается сомнению историками, анализировавшими нарративные источники, где упоминались эти события [Хапаев, 2016]. Результатами археосейсмических исследований на территории Крыма (и особенно – на Керченском полуострове) установлены многочисленные случаи деформаций и разрушений древних построек, которые авторы соотносят с воздействием катастрофических исторических землетрясений [Клюкин, 1995; Овсяченко и др., 2017 и др.]. Эти данные свидетельствуют о наличии сильных исторических землетрясений в регионе, однако, в силу ряда неопределенностей, они не могут быть использованы для оценки временных параметров средне- и длиннопериодной цикличности сейсмического процесса.

***Хронологическая последовательность и параметры пиковых значений сейсмической активности западного и восточного сегментов.*** Установлены различия в хронологической последовательности проявления всплесков (по сравнению с периодами относительного затишья) сейсмической активности в западном и восточном сегментах Крымско-Черноморского региона за время с 1950 по 2024 годы [Вольфман и др., 2025].

В пределах восточного сегмента на фоне длительных периодов средней и пониженной сейсмичности контрастно выделяются пять пиковых значений, отражающих всплески сейсмической активности разной интенсивности (рис. 4). Они приходятся на годы (в скобках –  $\Sigma E \cdot 10^{12}$  в Дж): 1966 (1000,0), 1978 (16,1), 1990 (6,6), 2002 (10,0) и 2012 (1,3). В некоторых случаях затухание активности происходит не сразу, а в последующие 1–2 года (например, в 1990–1992 гг.), при этом сопутствующие всплески по своим параметрам значительно уступают основным максимумам.

Временной интервал между всплесками активности здесь составляет, как правило, 12 лет, а между 2002 и 2012 годами – 10 лет. Если учесть относительно повышенное количество выделившейся энергии в 1952 году ( $\Sigma E = 1,0 \cdot 10^{12}$  Дж), то длительность интервалов между всеми максимумами характеризуется последовательностью: 14–12–12–12–10 лет. Следует отметить, что в эту периодичность вписывается и землетрясение 12.07.1966 года с  $K = 15,0$ , энергия которого на 2–3 порядка выше, чем у остальных максимумов. Таким образом, время подготовки всплесков сейсми-

ческой активности в пределах восточного сегмента Крымско-Черноморского региона составляет около  $12 \pm 2$  лет. Вместе с тем, из этого временного ряда «выпадает» максимум 1972 года ( $\Sigma E = 2,5 \cdot 10^{12}$  Дж), когда было отмечено повышенное количество выделившейся энергии и в пределах западного сегмента ( $\Sigma E = 1,0 \cdot 10^{12}$  Дж). Это единственный случай за исследуемый период, когда относительное усиление сейсмической активности произошло практически одновременно в обоих сегментах региона.

В пределах западного сегмента региона всплески сейсмической активности менее интенсивны, чем в его восточной части. Даже при соотношениях масштабов 1:2 осей ординат ( $\Sigma E \cdot 10^{12}$ , Дж) на рисунке 4, они слабоконтрастны (за исключением 1957, 2008 и 2023 годов), но вполне идентифицируемы. Шесть наиболее выраженных из них приходятся на годы (в скобках –  $\Sigma E \cdot 10^{12}$  в Дж): 1957 (5,3), 1972 (1,0), 1986 (0,9), 1998 (1,1), 2008 (5,0) и 2023 (3,3). Таким образом, временной ряд перерывов между этими максимумами представлен интервалами 15–14–12–10–15 лет. То есть, период подготовки максимальных проявлений сейсмической активности в западном сегменте приблизительно равен таковому в восточной части региона, составляя  $13 \pm 3$  лет [Вольфман и др., 2025]. При этом пиковые значения в пределах одного сегмента приходятся на середину периодов относительного затишья в смежном сегменте и наоборот.

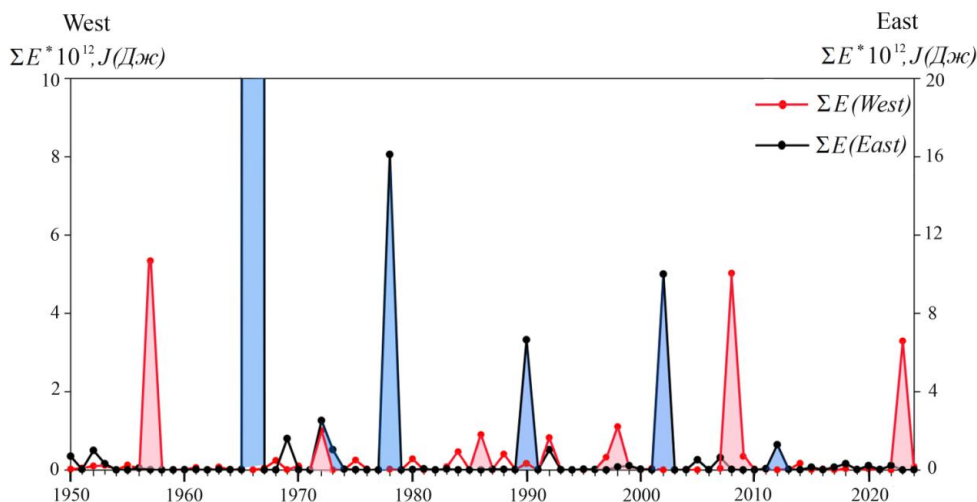


Рис. 4. Всплески сейсмической активности (суммарная энергия  $\Sigma E \cdot 10^{12}$ , Дж) в западном (красные, шкала West) и восточном (синие, шкала East) сегментах региона в период с 1950 по 2024 годы /  
Fig. 4. Seismic activity bursts (total energy  $\Sigma E \cdot 10^{12}$ , J) in the western (red, West scale) and eastern (blue, East scale) segments of the region between 1950 and 2024

Экстраполируя приведенные ряды проявлений сейсмической активности (рис. 4) на будущее, можно предположить, что следующие сколько-нибудь значительные по интенсивности землетрясения могут реализоваться в 2025–2026 году – в пределах восточного сегмента, и несколько позднее, в 2035–2036 годах – в западном сегменте Крымско-Черноморского региона [Вольфман и др., 2025]. Данное предположение не является прогнозом в строгом смысле, но указывает на вероятность подобного сценария при условии сохранения вышеуказанных тенденций сейсмического процесса в регионе.

## Выводы

Результаты исследования сейсмического режима Крымско-Черноморского региона показывают, что на протяжении 1950–2024 гг. здесь имели место всплески сейсмической активности с периодичностью около 12–13 лет. В западном и восточном

сегментах они происходили асинхронно: повышение сейсмичности в пределах одного сегмента приходилось приблизительно на середину периодов относительного затишья в смежном сегменте (и наоборот).

Следует добавить, что после поступления данной статьи в редакцию (во время ее доработки) в восточном сегменте Крымско-Черноморского региона произошло два относительно сильных землетрясения: 2 февраля 2026 г. в Азовском море ( $K=12,3$ ,  $M=4,5$ ) и 9 февраля 2026 г. – в районе г. Анапа ( $K=12,2$ ,  $M=4,4$ ). Суммарное количество сейсмической энергии, выделившейся в очагах этих землетрясений и 2-х афтершоков, последовавших через несколько часов после основных событий, составило  $\Sigma E=3,581 \cdot 10^{12}$  Дж ( $\text{Lg}\Sigma E=12,554$ ). При этом с момента последнего значимого землетрясения в этом районе (10 декабря 2012 г.;  $K=12,1$ ) прошло 13 лет и 2 месяца. Таким образом, подтверждается ранее высказанное предположение о том, что в восточном сегменте Крымско-Черноморского региона относительный всплеск сейсмической активности может произойти в течение 2025–2026 года.

### Литература

1. Бунэ В.И., Медведева Н.С. Оценка магнитуды землетрясения 63 г. до н.э. в Керченском проливе. // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1990. – № 3. – С. 61–63.
2. Вольфман Ю.М., Колесникова Е.Я., Бондарь М.Н. О различиях сейсмического режима западного и восточного сегментов Крымско-Черноморского региона. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XV / Науч. ред. Н.Б. Кузнецов, И.А. Керимов, В.А. Широкова, В.Б. Заалишвили. М.: ИИЕТ РАН. – 2025. – С. 255–259.
3. Глузов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. – 342 с.
4. Клюкин А.А. Сейсмодислокации Керченского полуострова. // Сейсмологический бюллетень Украины за 1992 г. – 1995. – С. 112–117.
5. Короновский Н.В., Демина Л.И. Коллизионный этап развития Кавказского сектора Альпийского складчатого пояса: геодинамика и магматизм. // Геотектоника. – 1999. – № 2. – С. 17–35.
6. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. / Б.Г. Пустовитенко, А.В. Лушик, О.В. Боборыкина и др. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2014. – 264 с.
7. Никишин А.М., Ершов А.В. Латеральное разнообразие современных субдукционных систем на примере пояса Тетиса. // Вестник Московского ун-та. Серия 4. – 2004. – № 5. – С. 16–21.
8. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР (с древнейших времен до 1975 г.). М.: Наука, 1977. – С. 55–68.
9. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Пояснительная записка к комплексу карт ОСР-2016 и список населенных пунктов, расположенных в сейсмоактивных зонах. / Гл. ред. В.И. Уломов, М.И. Богданов; сост.: В.И. Уломов, М.И. Богданов, В.Г. Трифионов и др. // Инженерные изыскания. – 2016. – № 7. – С. 49–121.
10. Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Мараханов А.Н., Рогожин Е.А. Новые сведения об очагах сильных землетрясений в районе Керченского полуострова по палеосейсмологическим данным. // Доклады академии наук. – 2017. – Т. 472. № 1. – С. 89–92. DOI: 10.7868/S0869565217010212.
11. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е. Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона. // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. 2. М.: Наука, 1974. – С. 113–125.
12. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е. Сейсмичность Черноморской впадины. // Геофизический журнал. – 1991. – Т. 13. № 1. – С. 14–19.
13. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Горячун А.В. Землетрясения Крымско-Черноморского региона. Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.
14. Пчелинцев В.Ф. Киммериды Крыма. М.-Л.: Наука, 1966. – 126 с.

15. Рогожин Е.А. Очерки региональной сейсмотектоники. / Отв. ред. А.О. Глико. – М.: ИФЗ РАН, 2012. – 340 с.
16. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Овсяченко А.Н. Активные разломы и глубинное строение зоны Керченского пролива. // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – № 1. – С. 65–68.
17. Свалова В.Б., Заалишвили В.Б. Глубинная геодинамика и сейсмичность Кавказско-Анатолийского региона. // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 2. – С. 77–89. DOI: 10.46698/VNC.2024.97.46.006.
18. Сенин Б.В., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Леончик М.И. Структурно-геодинамические системы фундамента Черноморско-Каспийского региона и их эволюция в позднем палеозое-кайнозое. // Геотектоника. – 2022. – № 1. – С. 27–50.
19. Фирсов Л.В. Этюды радиоуглеродной хронологии Херсонеса Таврического. Новосибирск: Наука, 1976. – 222 с.
20. Хапаев В.В. Византийский Херсон на рубеже тысячелетий (вторая половина X – первая половина XI века). Симферополь: Н.Орианда, 2016. – 652 с.
21. Nikishin A., Ziegler P., Bolotov S., Fokin P. Late Paleozoic to Cenozoic Evolution of the Black Sea-Southern Eastern Europe Region: A view from the Russian Platform. // Turkish Journal of Earth Sciences. – 2011. – Vol. 20. – pp. 571–634.
22. Okay A., Nikishin A. Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region. // International Geology Review. – 2015. – Vol. 57(5-8). – pp. 1051–1076.
23. Saintot A., Angelier J., Chorowicz J. Mechanical significance of structural patterns identified by remote sensing studies: a multiscale analysis of tectonic structures in Crimea. // Tectonophysics. – 1999. – Vol. 313. – pp. 187–218.
24. Stephenson R., Schellart W.P. The Black Sea back-arc basin: insights to its origin from geodynamic models of modern analogues. In: Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Eds. M. Sosson, N. Kaymakci, R.A. Stephenson, F. Bergerat, V. Starostenko. // Geological Society, London, Special Publications. – 2010. – Vol. 340. – pp. 11–21.
25. Zonenshain L.P., Le Pichon X. Deep basins of the Black Sea and Caspian Sea as remnants of Mesozoic back-arc basins. // Tectonophysics. – 1986. – Vol. 123. – pp. 181–211.

## References

1. Bune V.I., Medvedeva N.S. Assessment of the magnitude for the earthquake of 63 BC in the Kerch Strait. *Izvestiya Academi Nauki USSR. Physics of the Earth.* 1990. No. 3. pp. 61–63. (In Russ.)
2. Volfman Yu.M., Kolesnikova E.Ya., Bondar M.N. On the differences in the seismic regime of the Western and Eastern segments of the Crimean-Black Sea region. *Modern Problems of Geology, Geophysics, and Geoecology in the North Caucasus.* Vol. XV. Eds. N.B. Kuznetsov, I.A. Kerimov, V.A. Shirokova, V.B. Zaalishvili. Moscow. IIET RAS. 2025. pp. 255–259. (In Russ.)
3. Glumov I.F., Malovitsky Ya.P., Novikov A.A., Senin B.V. Regional geology and oil and gas potential of the Caspian Sea. Moscow. Nedra-Business Center. 2004. 342 p. (In Russ.)
4. Klyukin A.A. Seismodislocations of the Kerch Peninsula. *Seismological Bulletin of Ukraine for 1992.* 1995. pp. 112–117. (In Russ.)
5. Koronovsky N.V., Demina L.I. Collisional Stage of the Caucasian Sector of the Alpine fold belt development: geodynamics and magmatism. *Geotectonics.* 1999. No. 2. pp. 17–35. (In Russ.)
6. Monitoring of Seismic Processes in the Crimean-Black Sea Region. Eds. B.G. Pustovitenko, A.V. Lushchik, O.V. Boborykina et al. Sevastopol. ECOSI Hydrophysics Research Center. 2014. 264 p. (In Russ.)
7. Nikishin A.M., Yershov A.V. Lateral diversity of modern subduction systems on the example of the Tethys belt. *Bulletin of the Moscow University. Series 4.* 2004. No. 5. pp. 16–21. (In Russ.)
8. A new catalog of strong earthquakes in the USSR (from ancient times to 1975). Moscow. Nauka. 1977. pp. 55–68. (In Russ.)
9. General seismic zoning of the territory of the Russian Federation. Explanatory note to the set of maps OSR-2016 and a list of settlements located in seismically active zones. Eds. V.I. Ulomov, M.I. Bogdanov; compilers: V.I. Ulomov, M.I. Bogdanov, V.G. Trifonov et al. *Engineering Surveys.* 2016. No. 7. pp. 49–121. (In Russ.)

10. Ovsuchenko A. N., Korzhenkov A.M., Larkov A.S., Marakhanov A.N., Rogozhin E.A. New findings on the sources of strong earthquakes in Kerch Peninsula based on paleoseismological data. *Doklady Earth Sciences*. 2017. Vol. 472. No. 1. pp. 89–92. DOI: 10.7868/S0869565217010212. (In Russ.)
11. Pustovitenko B.G., Kulchitsky V.E. On the Energy Assessment of Earthquakes in the Crimean-Black Sea Region. *Magnitude and Energy Classification of Earthquakes*. Vol. 2. Moscow. Nauka. 1974. pp. 113–125. (In Russ.)
12. Pustovitenko B.G., Kulchitsky V.E. Seismicity of the Black Sea Trench. *Geophysical Journal*. 1991. Vol. 13. No. 1. pp. 14–19. (In Russ.)
13. Pustovitenko B.G., Kulchitsky V.E., Goryachun A.V. Earthquakes in the Crimean-Black Sea region. *Kiev. Naukova Dumka*. 1989. 192 p. (In Russ.)
14. Pchelintsev V.F. *Kimmerids of the Crimea*. Moscow-Leningrad. Nauka. 1966. 126 p. (In Russ.)
15. Rogozhin E.A. *Essays on Regional Seismotectonics*. Ed. A.O. Gliko. Moscow. IPE RAS. 2012. 340 p. (In Russ.)
16. Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Ovsyuchenko A.N. Active faults and the deep structure of the Kerch strait zone. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2015. No. 1. pp. 65–68. (In Russ.)
17. Svalova V.B., Zaalishvili V.B. Deep geodynamics and seismicity of the Caucasus-Anatolia region. *Geology and Geophysics Russian South*. 2024. Vol. 14. No. 2. pp. 77–89. DOI: 10.46698/VNC.2024.97.46.006. (In Russ.)
18. Senin B.V., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Leontchik M.I. Structural and geodynamic systems of the Black Sea-Caspian region foundation and their evolution in the late Paleozoic-Cenozoic. *Geotectonics*. 2022. No. 1. pp. 27–50. (In Russ.)
19. Firsov L.V. *Etudes of the radiocarbon chronology of Tauric Chersonesos*. Novosibirsk. Nauka. 1976. 222 p. (In Russ.)
20. Khapaev V.V. Byzantine Chersonesos at the turn of the millennium (second half of the 10th – first half of the 11th century). *Simferopol. N.Orianda*. 2016. 652 p. (In Russ.)
21. Nikishin A., Ziegler P., Bolotov S., Fokin P. Late Paleozoic to Cenozoic Evolution of the Black Sea-Southern Eastern Europe Region: A View from the Russian Platform. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 2011. Vol. 20. pp. 571–634.
22. Okay A., Nikishin A. Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region. *International Geology Review*. 2015. Vol. 57(5-8). pp. 1051–1076.
23. Saintot A., Angelier J., Chorowicz J. Mechanical significance of structural patterns identified by remote sensing studies: a multiscale analysis of tectonic structures in Crimea. *Tectonophysics*. 1999. Vol. 313. pp. 187–218.
24. Stephenson R., Schellart W.P. The Black Sea back-arc basin: insights to its origin from geodynamic models of modern analogues. In: *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. Eds. M. Sosson, N. Kaymakci, R.A. Stephenson, F. Bergerat, V. Starostenko. Geological Society, London, Special Publications. 2010. Vol. 340. pp. 11–21.
25. Zonenshain L.P., Le Pichon X. Deep basins of the Black Sea and Caspian Sea as remnants of Mesozoic back-arc basins. *Tectonophysics*. 1986. Vol. 123. pp. 181–211.