

УДК 550.34.06

DOI: 10.46698/VNC.2024.61.35.003

Оригинальная статья

Сейсмичность азово-черноморского сегмента зоны сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты

Ю.М. Вольфман^{ID}, М.Н. Бондарь^{ID}, Е.Я. Колесникова^{ID}

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: 01.11.2024, доработана: 02.12.2024, принята к публикации: 07.12.2024

Резюме: Землетрясения в пределах Равнинного Крыма и северных акваторий Черного и Азовского морей регистрировались инструментальными методами с конца прошлого века. Количество и интенсивность этих землетрясений были гораздо ниже, чем в пределах основной Южнорезной зоны Крымско-Черноморского региона. Поэтому сейсмичность этого района не учитывалась при оценке сейсмической опасности территории Крыма. По мере развития Крымской сети сейсмического мониторинга стало возможным регистрировать слабые землетрясения и значительно пополнить каталог событий Равнинного Крыма и прилегающих акваторий. Кроме этого, 10 лет тому назад в Крыму были проведены фундаментальные исследования по изучению глубинного строения региона вдоль профиля глубинного сейсмического зондирования DOBRE-5. В результате этих работ уточнено пространственное положение границы Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты. Получение новой сейсмологической и геолого-геофизической информации обусловило **актуальность исследований**, направленных на выявление связи местной сейсмичности с особенностями глубинного строения и основной тектонической структурой региона – границей Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты. **Целью исследований** являлось определение структурной позиции местных землетрясений и выявление связи регионального сейсмогенеза с особенностями строения и активизации зоны сочленения разновозрастных платформ. **Методы исследования** базировались на положениях сопоставительного анализа сейсмичности и пространственно-кинематических особенностей основных разрывных геоструктур региона. **Фактологической основой** исследований послужили данные сейсмических наблюдений из архива Института сейсмологии и геодинамики «Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского» о землетрясениях Северного Крыма и смежных акваторий Черного и Азовского морей. **В результате исследований** установлено, что очаги землетрясений, локализованные в пределах данной территории, приурочены к основной геоструктуре региона – зоне сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты. Значительное количество и позиция этих землетрясений обусловили возможность выделения проявлений местной сейсмичности в виде обособленной – Северокрымской сейсмогенной зоны.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмогенная зона, граница платформ, Восточно-Европейская платформа, Скифская плита.

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

Для цитирования: Вольфман Ю.М., Бондарь М.Н., Колесникова Е.Я. Сейсмичность азово-черноморского сегмента зоны сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты. *Геология и геофизика Юга России*. 2024. 14(4): 16-27. DOI: 10.46698/VNC.2024.61.35.003

DOI: 10.46698/VNC.2024.61.35.003

Original paper

Seismicity of the Azov-Black Sea segment of the junction zone of the East European platform and the Scythian plate

Yu.M. Volfman^{ID}, M.N. Bondar^{ID}, E.Ya. Kolesnikova^{ID}

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

Received: 01.11.2024, revised: 02.12.2024, accepted: 07.12.2024

Abstract: Earthquakes within the Plain Crimea and the northern waters of the Black and Azov Seas have been recorded by instrumental methods since the end of the last century. The number and intensity of these earthquakes were much lower than within the main South Coast zone of the Crimean-Black Sea region. Therefore, the seismicity of this area was not taken into account when assessing the seismic hazard of the Crimean territory. With the development of the Crimean seismic monitoring network, it became possible to record weak earthquakes and significantly expand the catalog of events in the Plain Crimea and adjacent waters. In addition, 10 years ago, fundamental research was conducted in Crimea to study the deep structure of the region along the DOBRE-5 deep seismic sounding profile. As a result of these studies, the spatial position of the boundary of the East European Platform and the Scythian Plate was clarified. Obtaining new seismological and geological-geophysical information determined the **relevance of research** aimed at identifying the relationship of local seismicity with the features of the deep structure and the main tectonic structure of the region - the boundary of the East European platform and the Scythian plate. **The aim of the research** was to determine the structural position of local earthquakes and identify the relationship of regional seismogenesis with the structural features and activation of the junction zone of platforms of different ages. **The research methods** were based on the provisions of a comparative analysis of seismicity and spatial-kinematic features of the main rupture geostructures of the region. **The factual basis of the research** was seismic observation data from the archive of the Institute of Seismology and Geodynamics of the "V.I. Vernadsky Crimean Federal University" on earthquakes in Northern Crimea and adjacent areas of the Black and Azov Seas. As a **result of the research** it was established that earthquake sources localized within the given territory are confined to one of the main geostructures of the region – to the junction zone of the East European platform and the Scythian plate. A significant number and position of these earthquakes determined the possibility of identifying manifestations of local seismicity in the form of a separate – North Crimean seismogenic zone.

Keywords: earthquake, seismogenic zone, platform boundary, East European platform, Scythian plate.

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

For citation: Volfman Yu.M., Bondar M.N., Kolesnikova E.Ya. Seismicity of the Azov-Black Sea segment of the junction zone of the East European platform and the Scythian plate. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2024. 14(4): 16-27. DOI: 10.46698/VNC.2024.61.35.003

Введение

Землетрясения Равнинного Крыма и северных акваторий Черного и Азовского морей, локализованные в тылу зоны сочленения Восточно-Европейской платфор-

мы (ВЕР) и Скифской плиты (СП), регистрировались Крымской сетью инструментальных наблюдений с 1980-х годов [Свидлова, 1989]. Но эти события, будучи слабыми в энергетическом отношении (энергетический класс $K_p=6-8$), как бы «терялись» на фоне интенсивной сейсмичности основной Южнобережной зоны Крыма. К тому же конфигурация крымской сети изначально (после катастрофического Ялтинского землетрясения 11.09.1927 г.) формировалась для регистрации событий, происходящих, главным образом, к югу от Крымского полуострова – в пределах его континентального склона.

Вследствие этого сейсмичность Равнинного Крыма и прилегающих акваторий в работах по сейсмотектонике и оценке сейсмической опасности Крымско-Черноморского региона практически не рассматривалась. При исследованиях по общему сейсмическому районированию (ОСР) территории СССР и Крыма совокупность землетрясений этого района не учитывалась в качестве сейсмогенной зоны [Пустовитенко и др., 1999; 2006; 2014a]. По этой же причине позднее, при актуализации карт ОСР территории Российской Федерации – в процессе построения линеаментно-доменно-фокальной (ЛДФ) модели зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) – эта зона не выделялась ни как сейсмолинеамент, ни даже в качестве домена с $M \leq 5,5$ [Уломов и др., 2016; Свод правил..., 2018].

В конце 80-х–начале 90-х годов прошлого века сейсмичность акваторий Азовского и Черного морей (вокруг Керченского полуострова) стала объектом пристального внимания в связи с необходимостью доизучения инженерно-геологических условий и уточнения сейсмической опасности района и площадки размещения Крымской АЭС [Геология ..., 1992]. К этому времени были получены данные о высоком уровне палеосейсмичности региона, проанализированы результаты геолого-геофизических и геодинамических исследований, направленных на изучение тектонической активности основных геоструктур, способных генерировать землетрясения. Прямым подтверждением этой активности явились возникновение острова в Азовском море вследствие извержения грязевого вулкана 26.08-09.09.1988 г. и рой сопутствующих этому извержению землетрясений [Геология ..., 1992]. При этом, учитывая местоположение Крымской АЭС, основное внимание уделялось структурам Керченского полуострова и его непосредственного окружения.

В последнее 20-летие развитие Крымской сети сейсмических наблюдений позволило расширить области представительной регистрации землетрясений разных энергетических уровней и существенно пополнить каталог событий Равнинного Крыма и прилегающих акваторий Черного и Азовского морей. В этот же период были проведены фундаментальные исследования по изучению глубинного строения региона вдоль профиля глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) DOBRE-5, уточнившие пространственное положение границы ВЕР и СП до глубин 50–70 км [Starostenko et al., 2015; Volfman, Kolesnikova, 2020].

Получение новой сейсмологической и геолого-геофизической информации обусловило актуальность исследований, направленных на выявление связи местной сейсмичности с особенностями глубинного строения и основной тектонической структурой региона – границей между ВЕР и СП. Тем более, что в работах по сейсмотектонике последних лет детально освещалась сейсмическая активность глубинных разломов в пределах смежного с Крымом (и во многом сходного с ним в тектоническом отношении) Кавказского региона и его структурного обрамления [Tibaldi

et al., 2020; Vinsent et al., 2020; Mammadli, 2022 и др.]. Соответственно, целью исследований являлось структурирование сейсмичности, локализованной вдоль этой границы, и выявление связи регионального сейсмогенеза с особенностями строения и активизации зоны сочленения разновозрастных платформ. Методы исследования базировались на положениях сопоставительного анализа сейсмичности и пространственно-кинематических особенностей основных разрывных геоструктур региона. Фактологической основой исследований послужили данные из архива Института сейсмологии и геодинамики Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского о землетрясениях Северного Крыма и смежных участков акваторий Черного и Азовского морей, зарегистрированных, главным образом, станциями Крымской сети сейсмических наблюдений.

Тектоника и сейсмичность района исследований

Исследуемая территория расположена на периферии (на северном фланге) Средиземноморско-Гималайского сейсмоактивного пояса и представляет собой область перехода от древней континентальной консолидированной коры ВЕП к коре субокеанического типа Черноморской впадины. Она включает (с севера на юг) разновозрастные структуры (рис. 1):

- Причерноморский склон дорифейской ВЕП;
- эпиварисскую СП, частично перекрытую наложенными альпийскими Каркинитско-Северокрымским и Индоло-Кубанским прогибами;
- альпийско-киммерийское Горно-Крымское сооружение;
- Черноморскую котловину с редуцированной корой субокеанического типа.

Основной сейсмогенной структурой региона является Южнобережная зона, приуроченная к области континентального склона, отделяющего сооружения Крыма и Кавказа от глубоководной части Черноморской впадины (рис. 1).

В пределах Равнинного Крыма и северных акваторий Черного и Азовского морей за 1972–2024 гг. было зарегистрировано 136 землетрясений с энергетическими классами $K_p=4.7-12.7$. Область их локализации имеет вполне выраженный линейный характер, образуя зону, протягивающуюся с запада-юго-запада на восток-северо-восток (рис. 1).

Неравномерность распределения очагов вдоль этой зоны обусловлена, в основном, двумя причинами.

Во-первых, наблюдается увеличение их количества и энергетического уровня в узлах пересечения основных геоструктур региона:

- Змеиноостровском, где южная граница ВЕП меняет свое направление с юго-западного–северо-восточного на юго-восточное–северо-западное; здесь повышенный уровень сейсмичности обусловлен группами землетрясений 1992 г. (20 событий с $K_p=7.5-11.3$) и 2008 г. (6 событий с $K_p=8.7-12.7$), включая самое сильное для этого района землетрясение (07.05.2008 г., $K_p=12.7$), воздействие которого ощущалось в западной части Крымского полуострова с интенсивностью до 3-х баллов [Пустовитенко и др., 2014б];

- Каламитском, в пределах которого происходит причленение западного сегмента Южнобережной сейсмогенной зоны Крыма к границе разновозрастных платформ (рис. 1).

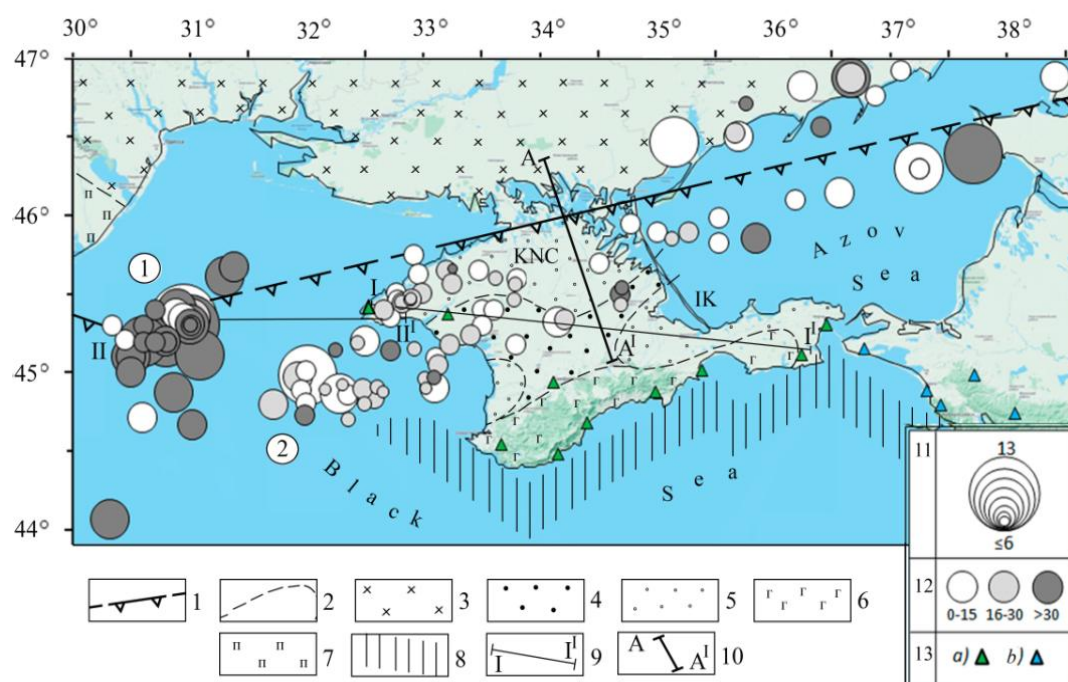


Рис. 1. Схема эпицентров землетрясений в зоне сочленения ВЕП и СП.
 Условные обозначения: 1 – граница ВЕП и СП (по [Starostenko et al., 2015]);
 2 – границы основных структур; 3 – Причерноморский склон ВЕП;
 4 – Центрально-Крымское поднятие СП;
 5 – наложенные альпийские прогибы: Каркинитско-Северокрымский (KNC),
 Индоло-Кубанский (IK); 6 – Горно-Крымское сооружение; 7 – палеозойско-мезозойские
 комплексы Преддобруджского прогиба; 8 – Южнобережная сейсмогенная зона;
 9 – профиль ГСЗ DOBRE-5; 10 – профиль А–А';
 11 – энергетические классы землетрясений; 12 – глубины очагов; 13 – сейсмические
 станции: а) Крымской сети, б) Кавказской сети РАН. Цифры в кружках – узлы
 пересечения сейсмогенных геоструктур: Змеиноостровский (1), Каламитский (2) /

Fig. 1. Diagram of earthquake epicenters in the junction zone of the East European Platform (EEP) and the Scythian Plate (SP). Legend: 1 – boundary of the EEP and the SP (according to [Starostenko et al., 2015]); 2 – boundaries of the main structures; 3 – Black Sea slope of the EEP; 4 – Central-Crimean uplift of the SP; 5 – superimposed Alpine troughs: Karkinit-North-Crimean (KNC), Indolo-Kuban (IK); 6 – Crimean Mountains; 7 – Paleozoic-Mesozoic complexes of the Fore-Dobrudja trough; 8 – South-Coast seismogenic zone; 9 – profile of the DOBRE-5 DSS; 10 – profile A-A'; 11 – energy classes of earthquakes; 12 – focal depths; 13 – seismic stations: a) Crimean network, b) Caucasian network of the Russian Academy of Sciences. The numbers in circles are the intersection nodes of seismogenic geostructures: Zmeinoostrovsky (1), Kalamitsky (2)

Во-вторых, сгущение очагов на юго-западном фланге зоны обусловлено открытием в последнее время пунктов сейсмических наблюдений в западном Крыму и, соответственно, расширением представительной области регистрации землетрясений относительно малых энергетических уровней. Эта закономерность получила отражение и во временном распределении количества землетрясений и их суммарной выделенной энергии (рис. 2).

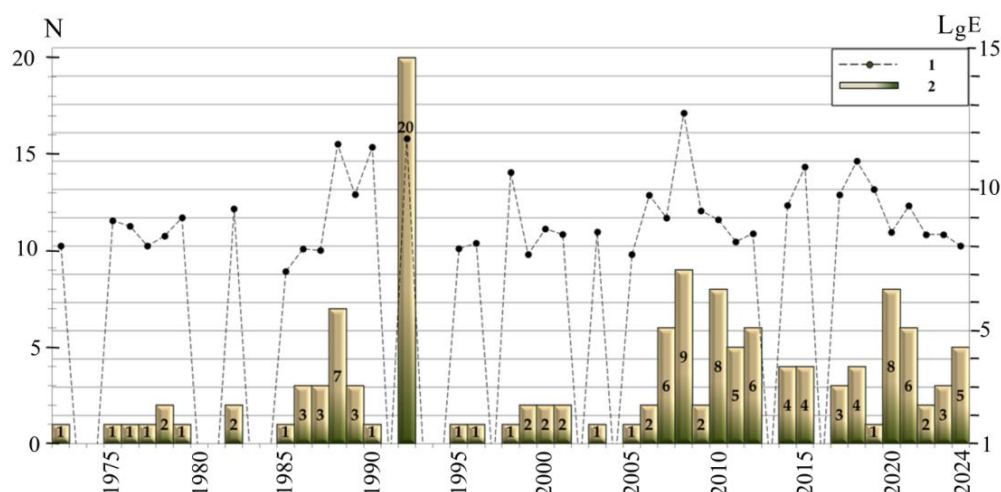


Рис. 2. Распределение (по годам) суммарной выделенной энергии ΣE (1) и количества землетрясений N (2) в области сочленения ВЕП и СП /

Fig. 2. Distribution (by years) of the total released energy ΣE (1) and the number of earthquakes N (2) in the junction area of the EEP and SP

Значительная часть землетрясений является коровыми, возникшими в верхней части коры на глубинах $H \leq 10$ км (39 очагов) и в ее основании, на глубинах $H = 26-30$ км (33 очага) (рис. 3). Не исключено, что некоторая часть приповерхностных событий спровоцирована техногенными причинами – кратковременными перераспределениями напряжений в верхних горизонтах земной коры вследствие периодических изменений режима работы местного подземного газохранилища.

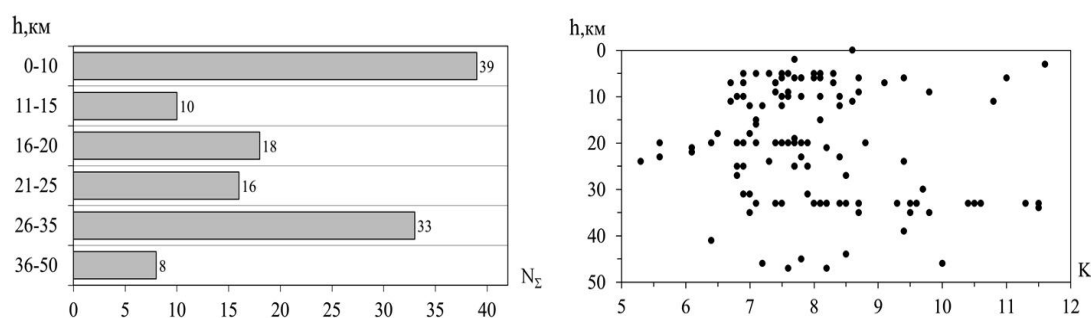


Рис. 3. Диаграмма распределения количества N_s землетрясений (а) и их энергетических классов K (б) по глубинам за период с 1972 г. по 2024 г. /

Fig. 3. Diagram of the distribution of the number N_s of earthquakes (a) and their energy classes K (b) by depths for the period from 1972 to 2024

Таким образом, анализируемая выборка данных о землетрясениях Равнинного Крыма и северных акваторий Черного и Азовского морей представляется весьма репрезентативной, достаточной для выполнения сопоставительного сейсмотектонического анализа местной сейсмичности и основных геоструктур региона.

Результаты исследований и их обсуждение

Пространственное положение очагов землетрясений относительно зоны сочленения ВЕП и СП в полной мере отражает схема эпицентров (рис. 1) и профиль I-I' (ориентированный перпендикулярно к этой зоне), на который вынесены про-

екции очагов и основные границы разновозрастных структур (рис. 4). Из анализа исключены события Змеиноостровской группы, поскольку, как показали результаты построения фокальных механизмов [Пустовитенко, 2002 и др.], возникновение некоторых из них было обусловлено активизацией не только крымского сегмента зоны сочленения платформ, но и ее западного фланга, имеющего северо-западное простирание и разграничивающего ВЕП и сооружения Северной Добруджи.

В работе [Стогний, Стогний, 2023] отмечалось, что региональные напряжения сжатия в зоне межплитного разлома при коллизионном процессе приурочены, в основном, к консолидированной коре. Следует добавить, что характер распределения очагов землетрясений на приведенном разрезе указывает на приуроченность их к северному флангу СП, в то время как примыкающий к плите южный борт ВЕП является практически асейсмичным. Данное обстоятельство вполне объяснимо с геологической точки зрения: прочность гранитно-метаморфических комплексов фундамента древней платформы намного превышает прочностные свойства пород гетерогенного варисско-киммерийского основания и осадочного чехла СП. Поэтому в процессе тектонического взаимодействия смежных участков разновозрастных платформ при достижении критического напряженного состояния геологической среды разрывные деформации с нарушением сплошности (в том числе, землетрясения), возникают преимущественно во фронтальной части СП, сложенной литолого-стратиграфическими комплексами с более низким прочностным порогом.

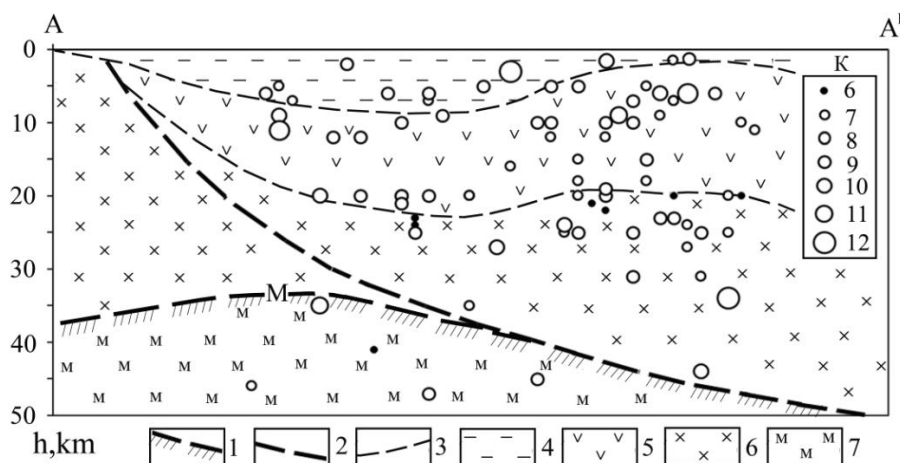


Рис. 4. Схематический разрез земной коры и верхней мантии и проекции на профиль A-A' очагов землетрясений. Условные обозначения: 1 – поверхность Мохо; 2 – граница ВЕП и СП; 3 – предполагаемые границы раздела в земной коре СП; 4 – осадочный чехол; 5 – гетерогенное варисско-киммерийское основание СП; 6 – консолидированная (верхняя, нижняя и средняя) кора кратона; 7 – верхняя мантия. На врезке – энергетические классы землетрясений /

Fig. 4. Schematic section of the earth's crust and upper mantle and projections of earthquake foci onto profile A-A'. Legend: 1 – Moho surface; 2 – boundary of the EEP and SP; 3 – supposed boundaries of the section in the earth's crust of the SP; 4 – sedimentary cover; 5 – heterogeneous Variscan-Cimmerian basement of the SP; 6 – consolidated (upper, lower and middle) crust of the craton; 7 – upper mantle. Inset – energy classes earthquakes

Данный эффект усиливает то обстоятельство, что шовная зона сочленения разновозрастных платформ имеет весьма пологий наклон (17–20° в юго-восточном направлении [Starostenko et al., 2015; Volfman, Kolesnikova, 2020]), вследствие чего СП, практически на протяжении всего разреза налегающая на погружающийся южный фланг ВЕП, имеет одну свободную (дневную) поверхность. Это существен-

ным образом облегчает возникновение в верхней части земной коры пластических и разрывных деформаций в случаях, когда давление, вызванное горизонтальными сжимающими напряжениями, превышает величину литостатического давления, обусловленного весом налегающих породных комплексов. Этим же объясняется и преобладание землетрясений в интервале глубин от земной поверхности до 10 км.

Также обоснован неравномерный характер интенсивности сейсмических событий в пределах разных сегментов разреза исследуемой зоны. Результаты анализа распределения значений логарифма суммарной выделенной энергии (ΣE , Дж) в очагах землетрясений, проецируемых на профиль А-А' (рис. 4), позволяют не только соотнести энергетический потенциал территории с положением зоны сочленения ВЕП и СП, но и выделить сегменты разреза, предположительно трассирующие крупные разрывные структуры внутри варисско-киммерийского основания СП.

Установлено, что в зоне, непосредственно прилегающей к шву сочленения разновозрастных платформ, практически отсутствуют сколько-нибудь значительные проявления сейсмичности (рис. 5). Причиной этому являются многочисленные акты тектонической активизации этой структуры, которые происходили на протяжении длительной истории ее геологического развития.

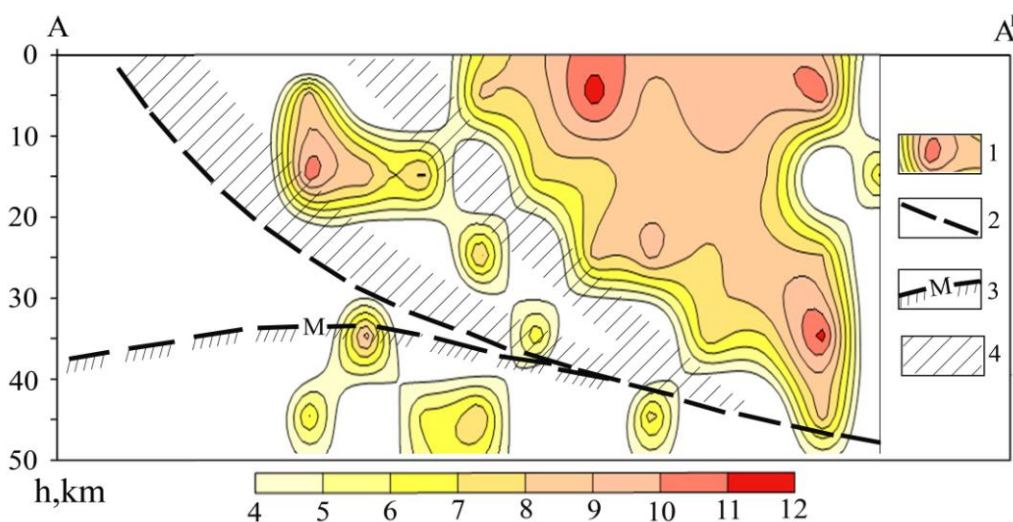


Рис. 5. Распределение вдоль профиля А-А' значений логарифма суммарной выделенной энергии (шкала значений – под рисунком). Условные обозначения: 1 – линии равных значений логарифма суммарной выделенной энергии; 2 – граница ВЕП и СП; 3 – поверхность Мохо; 4 – участки интенсивной деструкции пород в зонах динамического влияния основных разрывных структур региона /

Fig. 5. Distribution along profile A-A' of the values of the logarithm of the total released energy (the scale of values - is under the figure). Legend: 1 – lines of equal values of the logarithm of the total released energy; 2 – boundary of the EEP and SP; 3 – Moho surface; 4 – areas of intensive destruction of rocks in the zones of dynamic influence of the main fault structures of the region

В работе [Volfman, Kolesnikova, 2020] было показано, что циклический характер изменения кинематических обстановок продольного сжатия и растяжения земной коры в регионе обусловил периодически и многократно повторяющуюся активизацию зоны сочленения как по сбросовому, так и по надвиговому типу. Эти процессы привели к интенсивной деструкции пород непосредственно в зоне динамического влияния этой структуры, вследствие чего их реакция на воздействие тектонических напряжений проявилась не в виде хрупких деформаций (в том числе, землетрясе-

ний), а в виде деформаций пластического характера без существенного нарушения сплошности геологической среды.

При этом в разрезе (внутри земной коры в пределах СП) вполне явственно проявилась еще одна зона с пониженным сейсмическим потенциалом, расположенная выше и южнее шва сочленения ВЕП и СП (рис. 5). Есть основания полагать, что в структурном отношении эта зона разграничивает основные сегменты СП, а именно – Каркинитско–Северокрымский прогиб и Центрально-Крымское поднятие, различающиеся составом, строением и мощностью слагающих их литолого-стратиграфических комплексов. Как и в первом случае, циклический характер изменения кинематических обстановок в регионе [Volfman, Kolesnikova, 2020] также обусловил инверсионный (противоположный) характер тектонической активизации этой зоны по взбросо-надвиговому и, в меньшей мере, по сбросовому типу. Реалистичность подобного геодинамического сценария обосновывается наличием полого падающих надвиговых и сбросовых структур, установленных по данным глубокого бурения и по результатам геофизических исследований в отложениях Северо-Азовского бассейна и в основании Каркинитско-Северокрымского прогиба [Афанасенков и др., 2007; Гинтов и др., 2014; Рогожников, 1997; Sydorenko et al., 2017; Khriachtchevskaya et al., 2010 и др.]. Соответственно, эти процессы привели к интенсивной деструкции пород непосредственно в зоне динамического влияния самой структуры, обусловив возможность реализации тектонических напряжений вдоль нее, главным образом, в виде пластических деформаций.

Выводы

Таким образом, результаты изучения сейсмичности Равнинного Крыма и северных акваторий Черного и Азовского морей позволяют обосновать следующие выводы:

1. Особенности пространственного распределения очагов землетрясений, локализованных в пределах исследуемой территории, указывают на их приуроченность к одной из основных геоструктур региона – к зоне сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты. Значительное количество, особенности локализации и сеймотектоническая позиция этих землетрясений позволили объединить все проявления местной сейсмичности в одну обособленную – Северокрымскую сейсмогенную зону.

2. Энергетический потенциал Северокрымской зоны существенно ниже, чем у основных сейсмогенных зон (Южнобережной, Туапсинско-Анапской) Крымско-Черноморского региона. Тем не менее, учет ее возможного влияния на уровень сейсмической опасности площадок размещения стратегических и потенциально опасных объектов в пределах данного района представляется необходимым и целесообразным.

3. Неравномерная интенсивность землетрясений в разных сегментах разреза земной коры, получившая отражение в распределении значений логарифма суммарной выделенной энергии, позволяет выделить линейную область низких значений этого параметра, предположительно трассирующую крупную разрывную структуру внутри варисско-киммерийского основания Скифской плиты, вдоль которой происходило надвигание Центрально-Крымского поднятия на зону Каркинитско-Северокрымского прогиба.

Литература

1. Афанасенков А.П., Никишин А.М., Обухов А.Н. Геологическое строение и углеводородный потенциал Восточно-Черноморского региона. М.: Научный мир, – 2007. 172 с.
2. Геология и геодинамика района Крымской АЭС. / Отв. редакторы Н.М. Гавриленко, А.В. Чекунов / АН Украины. Ин-т геофизики им. С.И. Субботина; Госгеолком Украины. – Киев: Наукова думка, – 1992. 188 с.
3. Гинтов О.Б., Егорова Т.П., Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Муровская А.В. Геодинамические особенности зоны сочленения Евразийской плиты и Альпийско-Гималайского пояса в пределах Украины и прилегающих территорий. // Геофизический журнал. – 2014. – Т. 36. №4. – С. 26–63.
4. Пустовитенко Б.Г., Лущик А.В., Боборыкина О.В., Кульчицкий В.Е., Можжерина А.В., Насонкин В.А., Панков Ф.Н., Поречнова Е.И., Пустовитенко А.А., Тихоненков Э.П., Швырло Н.И. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-ГИДРОФИЗИКА», – 2014а. 264 с.
5. Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.А., Скляр А.М., Князева В.С. Змеиное землетрясение 7 мая 2008 г. с $K_n=12.7$, $M_c=5.1$, $M_w=4.8$, $I_0^p=5-6$. // Землетрясения Северной Евразии. – 2014б. – Вып. 17. – С. 313–325.
6. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Борисенко Л.С., Поречнова Е.И. Общее сейсмическое районирование территории Крыма (ОСР-98). // Геофизический журнал. – 1999. – Т. 21. №6. – С. 3–15.
7. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности. // Геофизический журнал. – 2006. – Т. 28. №3. – С. 54–77.
8. Пустовитенко Б.Г. Механизм очагов ощутимых землетрясений Крымско-Черноморского региона последних 20 лет. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2000 год. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-ГИДРОФИЗИКА», 2002. – С. 59–64.
9. Рогожников В.Д. Дислокации Сарыбашского гребня в равнинном Крыму // Геодинамика Крымско-Черноморского региона. // Материалы конференции «Геодинамика Крымско-Черноморского региона», 22-28 сентября 1996 г. Симферополь: НАН Украины, – 1997. С. 77–80.
10. Свидлова В.А. Каталог и подробные данные о землетрясениях Крымско-Черноморского региона за 1986 г. // Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР. 1986 г. – Киев: Наукова думка, – 1989. С. 4–38.
11. Свод правил СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*». – М.: Стандартинформ. – 2018. – 117 с.
12. Стогний Г.А., Стогний В.В. Южная граница Скифской плиты в системе блоковой делимости консолидированной коры Центрального и Восточного сегментов Большого Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. №3. – С. 6–18. DOI: 10.46698/VNC.2023.96.83.001.
13. Уломов В.И., Богданов М.И., Трифонов В.Г., Гусев А.А., Гусев Г.С., Акатова К.Н., Аптикаев Ф.Ф., Данилова Т.И., Кожурин А.И., Медведева Н.С., Никонов А.А., Перетокин С.А., Пустовитенко Б.Г., Стром А.Л. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Пояснительная записка к комплекту карт ОСР-2016 и список населенных пунктов, расположенных в сейсмоактивных зонах. // Инженерные изыскания. – 2016. – №7. – С. 49–121.
14. Khriachtchevskaia O., Stovba S., Stephenson R. Cretaceous-Neogene tectonic evolution of the northern margin of the Black Sea from seismic reflection data and tectonic subsidence analysis. // Geological Society London Special Publications. – 2010. – Vol. 340. Issue 1. – pp. 137–157.
15. Mammadli T.Ya. Determination of seismogenic zones for analysis of seismotectonic activity of deep faults: seismic hazard assessment for the territory of Azerbaijan. // Geotectonics. – 2022. – Vol. 56. No 2. – pp. 191–199.

16. Starostenko V., Janik T., Yegorova T., Farfuliak L., Czuba W., Sroda P., Thybo H., Artemieva I., Sosson M., Volfman Y. et al. Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian platform: the DOBRE-5 profile across the north western Black Sea and Crimean peninsula. // *Geophysical Journal International*. – 2015. – Vol. 201. Issue 1. – pp. 406–428. DOI: 10.1093/gji/ggv018.
17. Sydorenko G., Stephenson R., Yegorova T., Starostenko V., Tolkunov A., Janik T., Majdanski M., Voitsitskiy Z., Rusakov O., Omelchenko V. Geological structure of the northern part of the Eastern Black Sea from regional seismic reflection data including the DOBRE-2 CDP profile. // *Geological Society, London, Special Publications*. – 2017. – Vol. 428. Issue 1. – pp. 307–321.
18. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A., Mumladze T., Bonali F.L., Russo E., Kadirov F., Yetirmishli G., Kazimova S. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2020. – Vol. 188. – pp. 1–18.
19. Vinsent S.J., Somin M.L., Carter A., Vezzolini G., Fox M., Vautravers B. Testing models of Cenozoic Exhumation in the Western Greater Caucasus. // *Tectonics*. – 2020. – Vol. 39. Issue 2. DOI: 10.1029/2018TC005451.
20. Volfman Yu.M., Kolesnikova E.Ya. Discontinuous Fault Structures in the Junction Zone of the East European Platform and the Crimean Segment of the Scythian Plate along the DOBRE-5 DSS Profile. // *Geotectonics*. – 2020. – Vol. 54. No 6. – pp. 754–770. DOI: 10.1134/S001685212006014X.

References

1. Afanasenkov A.P., Nikishin A.M., Obuhov A.N. Geological structure and hydrocarbon potential of the East Black Sea region. Moscow. Nauchnyi Mir. 2007. 172 p. (In Russ.)
2. Geology and geodynamics of the Crimean NPP region. Eds. N.M. Gavrilenko, A.V. Chekunov. Kiev. Naukova Dumka. 1992. 188 p. (In Russ.)
3. Gintov O.B., Egorova T.P., Tsvetkova T.A., Bugaenko I.V., Murovskaya A.V. Geodynamic peculiarities of the Eurasian plate junction zone and the Alpine-Himalayan belt within Ukraine and adjacent territories. Alpine-Himalayan belt within Ukraine and adjacent territories. *Geophysical Journal*. 2014. Vol. 36. No. 4. pp. 26–63. (In Russ.)
4. Pustovitenko B.G., Lushchik A.V., Boborykina O.V., Kulchitsky V.E., Mozherina A.V., Nasonkin V.A., Pankov F.N., Porechnova E.I., Pustovitenko A.A., Tikhonenkov E.P., Shvyrlu N.I. Monitoring of seismic processes in the Crimean-Black Sea region. Sevastopol. SPC “ECOSI-HYDROPHYSICS”. 2014a. 264 p. (In Russ.)
5. Pustovitenko B.G., Pustovitenko A.A., Sklyar A.M., Knyazeva V.S. Snake earthquake on 7 May 2008 with $K_p=12.7$, $M_c=5.1$, $M_w=4.8$, $I_0^p=5-6$. *Earthquakes of Northern Eurasia*. 2014b. Issue 17. pp. 313–325. (In Russ.)
6. Pustovitenko B.G., Kulchitsky V.E., Borisenko L.S., Porechnova E.I. General seismic zoning of the territory of Crimea (GSZ-98). *Geophysical Journal*. 1999. Vol. 21. No. 6. pp. 3–15. (In Russ.)
7. Pustovitenko B.G., Kulchitsky V.E., Pustovitenko A.A. New maps of general seismic zoning of the territory of Ukraine. Features of long-term seismic hazard model. *Geophysical Journal*. 2006. Vol. 28. No. 3. pp. 54–77. (In Russ.)
8. Pustovitenko B.G. Focal mechanism of felt earthquakes in the Crimean-Black Sea region for the last 20 years. *Seismological Bulletin of Ukraine for 2000*. Sevastopol. SPC “ECOSI-HYDROPHYSICS”. 2002. pp. 59–64. (In Russ.)
9. Rogozhnikov V.D. Dislocations of the Sarybash ridge in the plain Crimea. Geodynamics of the Crimean-Black Sea region. In: *Proceedings of the Conference “Geodynamics of the Crimean-Black Sea Region”*, September 22-28. 1996. Simferopol. National Academy of Sciences of Ukraine. 1997. pp. 77–80. (In Russ.)
10. Svidlova V.A. Catalog and detailed data on earthquakes of the Crimean-Black Sea region for 1986. *Seismological Bulletin of the Western territorial zone of the USSR ESSN*. 1989. Kiev. Naukova Dumka. 1989. pp. 4–38. (In Russ.)

11. Code of Regulations SP 14.13330.2018 “Construction in seismic areas. Updated edition of SNiP II-7-81*”. Moscow. Standardinform. 2018. 117 p. (In Russ.)
12. Stogny G.A., Stogny V.V. The Scythian plate southern boundary in the system of block divisibility consolidated crust of the Greater Caucasus Central and Eastern segments. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 3. pp. 6-18. DOI: 10.46698/VNC.2023.96.83.001. (In Russ.)
13. Ulomov V.I., Bogdanov M.I., Trifonov V.G., Gusev A.A., Gusev G.S., Akatova K.N., Aptikaev F.F., Danilova T.I., Kozhurin A.I., Medvedeva N.S., Nikonov A.A., Peretokin S.A., Pustovitenco B.G., Strom A.L. General seismic zoning of the territory of the Russian Federation. Explanatory note to the set of GSZ-2016 maps and the list of settlements located in seismic active zones. *Engineering Surveys*. 2016. No. 7. pp. 49–121. (In Russ.)
14. Khriachtchevskaya O., Stovba S., Stephenson R. Cretaceous-Neogene tectonic evolution of the northern margin of the Black Sea from seismic reflection data and tectonic subsidence analysis. *Geological Society London Special Publications*. 2010. Vol. 340. Issue 1. pp. 137–157.
15. Mammadli T.Ya. Determination of seismogenic zones for analysis of seismotectonic activity of deep faults: seismic hazard assessment for the territory of Azerbaijan. *Geotectonics*. 2022. Vol. 56. No. 2. pp. 191–199.
16. Starostenko V., Janik T., Yegorova T., Farfaliak L., Czuba W., Sroda P., Thybo H., Artemieva I., Sosson M., Volfman Y. et al. Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian platform: the DOBRE-5 profile across the north western Black Sea and Crimean peninsula. *Geophysical Journal International*. 2015. Vol. 201. Issue 1. pp. 406–428. DOI: 10.1093/gji/ggv018.
17. Sydorenko G., Stephenson R., Yegorova T., Starostenko V., Tolkunov A., Janik T., Majdanski M., Voitsitskiy Z., Rusakov O., Omelchenko V. Geological structure of the northern part of the Eastern Black Sea from regional seismic reflection data including the DOBRE-2 CDP profile. *Geological Society, London, Special Publications*. 2017. Vol. 428. Issue 1. pp. 307–321.
18. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A., Mumladze T., Bonali F.L., Russo E., Kadirov F., Yetirmishli G., Kazimova S. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2020. Vol. 188. pp. 1–18.
19. Vinsent S.J., Somin M.L., Carter A., Vezzolini G., Fox M., Vautravers B. Testing models of Cenozoic Exhumation in the Western Greater Caucasus. *Tectonics*. 2020. Vol. 39. Issue 2. DOI: 10.1029/2018TC005451.
20. Volfman Yu.M., Kolesnikova E.Ya. Discontinuous Fault Structures in the Junction Zone of the East European Platform and the Crimean Segment of the Scythian Plate along the DOBRE-5 DSS Profile. *Geotectonics*. 2020. Vol. 54. No. 6. pp. 754–770. DOI: 10.1134/S001685212006014X.