

УДК 551.24:550.34(479)

**ВЕРХНЕМАНТИЙНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО
ПРОГИБА КРЫМСКО-КАВКАЗСКОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЯСА:
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

Стогний Г. А.¹, Стогний В. В.²

*^{1,2}Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Владикавказ,
Российская Федерация.*

E-mail: ²stogny_vv@mail.ru

В пределах Крымско-Кавказского сейсмического пояса верхнемантийные землетрясения с $M \leq 4$ и глубинами гипоцентров 70–150 км формируют Керченско-Таманский, Терско-Сунженский и Дербентский районы. Наиболее глубокофокусные (150–180 км) землетрясения зарегистрированы в Терско-Сунженском районе Терско-Каспийского прогиба. Проведен анализ положения эпицентров верхнемантийных землетрясений Терско-Сунженского района Терско-Каспийского прогиба в структуре магнитного и гравитационного полей и по отношению к тектоническим блокам консолидированной коры Скифской плиты. Формирование очагов глубокофокусных землетрясений предполагается в условиях мелкомасштабной конвекции мантии при локальном нарушении механического и термического равновесия и активизации флюидного потока.

Ключевые слова: Крымско-Кавказский сейсмический пояс, Терско-Сунженский район, глубокофокусные землетрясения, аномальное магнитное поле, консолидированная кора, верхняя мантия, конвекция.

ВВЕДЕНИЕ

В пределах Крымско-Кавказского сейсмического пояса верхнемантийные землетрясения с $M \leq 4$ и глубинами гипоцентров 70–150 км формируют ряд районов. К хорошо изученным районам проявления верхнемантийных землетрясений следует отнести Керченско-Таманский, Терско-Сунженский и Дербентский, отличительной чертой тектонического положения которых является концентрация эпицентров землетрясений в прогибах земной коры. Так, Керченско-Таманский район верхнемантийных землетрясений расположен в пределах одноимённого прогиба, Терско-Сунженский район — в Терско-Каспийском прогибе, Дербентский район в юго-западном сегменте Среднего Каспия (рис.1).

В рамках плитной тектоники к сейсмогенерирующим структурам верхнемантийных землетрясений Крымско-Кавказского пояса обычно относят зоны субдукции либо псевдосубдукции. Так, по [1] гипоцентры слабых ($M < 4$) землетрясений с глубиной 50–90 км Керченско-Таманского района образуют сейсмофокальную зону, погружающуюся в северном направлении примерно под углом 30° , в связи с этим предполагается субдукция Восточно-Черноморской плиты под Большой Кавказ. Модель формирования верхнемантийных землетрясений Терско-Сунженского района в условиях субдукции Закавказской плиты под Большой Кавказ рассмотрена в работах [2, 3].

С учётом распределения гипоцентров верхнемантийных землетрясений Дербентского района была предложена модель субдукции Южно-Каспийской плиты под Апшеронский порог [3]. В работе [4] показано, что эпицентры

землетрясений Керченско-Таманского района сосредоточены в основном на площади 30×50 км в пределах Фанагорийского блока консолидированной коры Восточно-Черноморской плиты, а локальный характер проявления очагов верхнемантийных землетрясений данного района в большей степени отвечает сейсмогеодинамической модели реологической неоднородности верхней мантии при ведущей роли глубинных флюидов.



Рис.1. Схема расположения районов верхнемантийных землетрясений Крымско-Кавказского сейсмического пояса. Буквами обозначены предгорные прогибы: ИКП – Индоло-Кубанский, ТКП — Терско-Каспийский. 1–3 — районы верхнемантийных землетрясений: 1 — Керченско-Таманский, 2 — Терско-Сунженский, 3 — Дербентский.

Возникновение очагов верхнемантийных землетрясений Терско-Сунженского района А.А. Годзиковская и Г.А. Рейснер [5] связывают со специфическим типом земной коры и её современным состоянием (переходом одного типа земной коры в другой). В [6] область верхнемантийных землетрясений с глубиной более 100 км Терско-Сунженского района отождествляется с «горячей точкой» — периодическим подъемом расплавленного вещества.

Цель работы — рассмотреть модель формирования очагов верхнемантийных землетрясений Терско-Сунженского района Терско-Каспийского прогиба с учётом анализа положения их эпицентров в структуре магнитного и гравитационного полей и по отношению к тектоническим блокам консолидированной коры Скифской плиты.

ВЕРХНЕМАНТИЙНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА
КРЫМСКО-КАВКАЗСКОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЯСА:
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Наиболее глубокофокусные (до 180 км) землетрясения зарегистрированы в Терско-Сунженском сейсмическом районе Терско-Каспийского прогиба. Верхнемантийные землетрясения с $M=1.5-3.5$ Терско-Сунженского района формируют несколько узлов, различающихся интервалом глубин очага. По глубине очага в работе [7] выделено 5 кластеров верхнемантийных землетрясений с координатами их центроида: 1–124 сейсмических событий с глубиной центроида 79 км; 2–52 событий с глубиной центроида 111 км; 3–10 событий с глубиной центроида 85 км; 4–9 событий с глубиной центроида 146 км; 5–6 событий с глубиной центроида 96 км. С целью анализа положения эпицентров верхнемантийных землетрясений в структуре потенциальных полей охарактеризованные центроиды вынесены на схеме аномального магнитного поля Терско-Каспийского прогиба (рис. 2).



1 — граница Большого Кавказа; 2 — выходы кристаллических пород Центрального сегмента Большого Кавказа; 3 — северная граница Терско-Каспийского прогиба (ТКП); 4 — контур эпицентральной части гравитационного минимума Терско-Каспийского прогиба по [8]; 5, 6 — положительные аномалии магнитного поля по [9]: 5 — 0–100 нТл, 6 — 100–300 и более, нТл; 7 — Чегемский игнимбритовый вулканический центр; 8 — номер и глубина центроида за период 2014–2023 гг. по данным [7].

Рис. 2. Схема аномального магнитного поля и центроидов верхнемантийных землетрясений Терско-Каспийского прогиба

Осовой зоне Терско-Каспийского прогиба в плане соответствует Нальчик-Махачкалинская положительная аномалия магнитного поля интенсивностью более

300 нТл. В [10] она объясняется наличием магнетитсодержащих интрузий в зоне крупного глубинного разлома, а в [11] предполагается связь данной зоны с Северо-Кавказским офиолитовым поясом.

Природа Нальчик-Махачкалинской положительной магнитной аномалии, по нашему мнению, обусловлена суммарным эффектом нескольких факторов: тектоническим, метаморфогенным и флюидодинамическим. Тектонические процессы способствовали метаморфизму осадочных толщ и структурно-вещественных комплексов фундамента, что приводило к увеличению магнитной восприимчивости пород [12]. Вместе с тем, Терско-Каспийский прогиб — это нефтегазоносный район Северо-Кавказской провинции, поэтому не исключена ведущая роль глубинных углеводородных флюидов в увеличении магнитной восприимчивости пород. Так, согласно работе [13], магнитная восприимчивость насыщенных нефтью осадочных пород при нагревании до 350° увеличивается в 20–170 раз. Эпицентральные части магнитного максимума и гравитационного минимума Терско-Каспийского прогиба не совпадают, что может указывать на их различные аномалиеобразующие объекты (рис. 2). Контур эпицентральной части гравитационного минимума Терско-Каспийского прогиба, по-видимому, отражает его максимальную глубину — 11–12 км.

Центроиды верхнемантийных землетрясений Терско-Сунженского сейсмического района сгруппированы в средней части Нальчик-Махачкалинской положительной магнитной аномалии, при этом субдолготная линия центроидов 2 и 4 с глубинами 111–146 км пересекает магнитный максимум. В контуре гравитационного минимума Терско-Каспийского прогиба расположены центроиды 1, 3 и 5 с глубинами 79–96 км. Центроиды 2 и 4 с глубинами 111–146 км приурочены к южному склону Скифской плиты либо северному борту прогиба, а центроиды 1 и 5 в плане соответствуют северному склону Большого Кавказа.

Положение центроидов верхнемантийных землетрясений (за период 2014–2023 гг.) и эпицентров сильных землетрясений по отношению к тектоническим структурам консолидированной коры Терско-Каспийского прогиба показано на рис. 3. Схема тектонического строения консолидированной коры разработана по анализу интерпретации гравитационного поля [14].

ВЕРХНЕМАНТИЙНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА
 КРЫМСКО-КАВКАЗСКОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЯСА:
 ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ



1 — контур мегантиклинория Большого Кавказа; 2 — выходы раннедокембрийских метаморфических пород и палеозойских гранитов Центрального сегмента; 3 — северная граница Терско-Каспийского прогиба; 4—5 — тектонические структуры консолидированной коры: 4 — Сването-Алазанский разлом, разграничивающий Скифскую и Закавказскую плиты; 5 — разломы: Ч — Черкеско-Кизлярский, В — Владикавказский, Г — Грозненский, З — Згитский, Х — Халкилойский, И — Известняковый, П — Пятигорский; 6 — эпицентры сильных ($M \geq 5.0$) землетрясений за 1900–2022 гг. по [6]; 7 — центроид верхнемантийных землетрясений и его номер по [7]. Блоки консолидированной коры: Эл — Эльбрусский, Сн — Сунженский, ВТ — Верхнетерский, Сл — Сулакский, Кб — Кубачинский

Рис. 3. Положение центроидов верхнемантийных землетрясений и эпицентров сильных землетрясений на тектонической схеме консолидированной коры Скифской плиты.

Центроиды 2, 4 и 5 верхнемантийных землетрясений в плане находятся в контурах Сунженского блока консолидированной коры, а 1 и 3 расположены по линии ограничивающего его Халкилойского разлома. Сунженский блок можно отнести к северному продолжению сейсмически активного Верхнетерского блока с Барисахским землетрясением (1992 г. $M=6.2$) Большого Кавказа. Площадь центроидов верхнемантийных землетрясений Сунженского блока не превышает 60×60 км, что сопоставимо с площадью (30×50 км) Керченско-Таманского района.

В XX веке и начале XXI века на территории Терско-Каспийского прогиба произошло более 10 сильных землетрясений, в их числе: Терское (1912 г., $M=5.7$); Веденовское (1933 г., $M=5.2$), Черногорское (1976 г., $M=6.4$); Курчалойское (2008 г., $M=5.8$). Эпицентры сильных землетрясений Терско-Каспийского прогиба

приурочены главным образом к зоне, ограниченной субширотными Владикавказским и Грозненским разломами с концентрацией их в Сунженском и Сулакском блоках. В работе [7] глубокофокусные землетрясения рассмотрены как триггеры при формировании очагов сильных коровых землетрясений, также показано, что механизмы очагов мантийных землетрясений с глубинами более 70 км в основном имеют сбросовый тип движения, а коровых — взбросовый тип.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенный анализ положения эпицентров верхнемантийных землетрясений Терско-Сунженского сейсмического района Терско-Каспийского прогиба в структуре магнитного и гравитационного полей и по отношению к тектоническим блокам консолидированной коры Скифской плиты даёт дополнительный материал к обсуждению модели их формирования.

Терско-Сунженский район верхнемантийных землетрясений расположен в пределах одноимённого района Терско-Каспийской нефтегазоносной области с крупными нефтегазовыми и нефтяными месторождениями. Совпадение в плане нефтегазоносного и сейсмического районов позволяет предположить ведущую роль флюидов в формировании очагов верхнемантийных землетрясений [4]. Роль флюидов в формировании очагов верхнемантийных землетрясений обсуждается в ряде работ. Так, по мнению И.Г. Киссина [15], воздействие флюидов способствует формированию реологии среды и деформациям в очаге землетрясения. Согласно [16], в литосфере до глубины 100 км с учётом скачкообразного уменьшения эффективной проницаемости пород и роста пространственной однородности системы флюид-порода выделено три слоя (около 10, 20–30, 60–70 км) относительно пониженной эффективной прочности и повышенной сейсмичности.

При обосновании модели формирования верхнемантийной сейсмичности Терско-Сунженского района учитывались следующие факторы. Для районов проявления глубокофокусных землетрясений отмечается резкое уменьшение мощности земной коры при переходе от Большого Кавказа к прогибу. Так, по профилю ГСЗ Степное-Бакуриани [17] мощность земной коры уменьшается с 50–55 км (Большой Кавказ) до 40–42 км (Терско-Каспийский прогиб).

Эпицентры глубокофокусных землетрясений Терско-Каспийского прогиба сконцентрированы на небольшой площади (60×60 км), практически в пределах Сунженского блока консолидированной коры Скифской плиты, что предполагает наличие локального сейсмогенерирующего объекта в мантии, её аномальное состояние. Глубинное строение мантии хорошо изучено для зоны верхнемантийных землетрясений Вранча Средиземноморского сейсмического пояса [18]. По скоростным характеристикам данная зона на глубине 75–300 км приурочена к субвертикальной области контакта высокоскоростной литосферы Восточно-Европейской платформы и низкоскоростной литосферы Средиземноморского подвижного пояса.

В скоростном разрезе по профилю ГСЗ Степное-Бакуриани [17] в литосфере Терско-Сунженского сейсмического района на глубинах 55 и 70 км наблюдаются

ВЕРХНЕМАНТИЙНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО ПРОГИБА
КРЫМСКО-КАВКАЗСКОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЯСА:
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

границы отражения волн, что позволяет предположить расслоенность верхней мантии. На аномальное состояние верхней мантии рассматриваемой территории указывают проявления позднеплиоцен-четвертичного вулканизма Чегемского и Казбекского вулканических центров [19, 20].

Образованию орогена Большого Кавказа в [21] рассматривается как результат мелкомасштабной конвекции в верхней мантии (конвективное замещение астеносферой более плотной литосферы за счёт флюидного потока). В верхней мантии Терско-Каспийского прогиба в посторогенный этап могла сохраниться либо возникла за счёт интенсивного флюидного потока ячейка мелкомасштабной конвекции. Наличие ячейки мелкомасштабной конвекции в верхней мантии Терско-Каспийского прогиба, по нашему мнению, создает условия для реализации глубокофокусных землетрясений Терско-Сунженского района. В результате нарушения механического и термического равновесия в верхней мантии возникают условия локального растяжения.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного анализа положения эпицентров верхнемантийных землетрясений Терско-Сунженского района Терско-Каспийского прогиба в структуре магнитного и гравитационного полей и по отношению к тектоническим блокам консолидированной коры показано, что эпицентры верхнемантийных землетрясений Терско-Сунженского района сконцентрированы в контурах Сунженского блока консолидированной коры Скифской плиты — северного продолжения сейсмически активного Верхнетерского блока Большого Кавказа.

Модель формирования очагов глубокофокусных землетрясений Терско-Сунженского сейсмического района предполагает процесс мелкомасштабной конвекции мантии Терско-Каспийского прогиба в условиях локального растяжения, возникшего в результате нарушения механического и термического равновесия при активизации флюидного потока.

Список литературы

1. Гобаренко В.С., Муровская А.В., Егорова Т.П., Шерemet Е.Е. Современные коллизионные процессы на северной окраине Чёрного моря // Геотектоника. 2016. № 4. С. 68–87.
2. Левин Л.Э. Сейсмичность // Тектоника южного обрамления Восточно-Европейской платформы. Краснодар: Кубан. гос. ун-т. 2009. С. 106–203.
3. Ковачев С.А., Казьмин В.Г., Кузин И.П., Лобковский Л.И. Новые данные о мантийной сейсмичности Каспийского региона и их геологическая интерпретация // Геотектоника. 2009. № 3. С. 30–44.
4. Стогний В.В., Стогний Г.А. Формирование верхнемантийных землетрясений Крымско-Кавказской сейсмической зоны // Геология, география и глобальная энергия. 2017. № 3(66). С. 140–150.
5. Годзиковская А.А., Рейснер Г.А. Эндогенная позиция глубоких землетрясений Кавказа // Геотектоника. 1989. № 3. С. 15–25.
6. Габсатарова И.П., Зверева А.С. Сейсмический мониторинг Северного Кавказа в первую четверть XXI века // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XIII. Москва: ИИЕТ РАН. 2023. С. 257–264.

7. Габсатарова И.П. Сейсмичность в Терско-Каспийском прогибе: триггерные эффекты и механизмы очагов // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XIV. Москва: ИИЕТ РАН. 2024. С. 239–244.
8. Гравиметрическая карта СССР. Масштаб 1 : 2 500 000 / Гл. редакторы П.П. Степанов, М.А. Якушевич. М.: ВНИИ «Геофизика». 1990.
9. Карта аномального магнитного поля (ΔT) России, сопредельных государств (в границах бывшего СССР) и прилегающих акваторий. Масштаб 1 : 5 000 000 / Гл. редактор Т.П. Литвинова. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ. 2000.
10. Абубакарова Э.А., Ахматханов Р.С., Бадаев С.В., Чимаева Х.Р. Геофизические критерии выделения разломов Терско-Каспийского прогиба // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том VIII. Москва: ИИЕТ РАН. 2018. С. 224–230.
11. Гайсумов М.Я., Бадаев С.В. Глубинное строение Терско-Каспийского прогиба // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том VIII. Москва: ИИЕТ РАН. 2018. С. 252–260.
12. Крутиховская З.А., Елисеева С.В., Марковский В.С. Исследование региональных магнитных аномалий древних щитов // Исследование региональных магнитных аномалий платформенных областей. Киев. 1984. С. 122–132.
13. Кравченко С.Н., Орлюк М.И., Русаков О.М. Новый подход к интерпретации региональной Западно-Черноморской магнитной аномалии // Геофизический журнал. 2003. Т. 25. № 2. С. 135–144.
14. 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. №3. С. 6–18.
15. Киссин И.Г. О системном подходе в проблеме прогноза землетрясений // Физика Земли. 2013. №4. С. 145–160.
16. Левин Б.В., Родкин М.В., Сасорова Е.В. Особенности сейсмического режима литосферы – проявления воздействия глубинного водного флюида // Физика Земли. 2010. № 5. С. 88–96.
17. Павленкова Г.А. Строение земной коры Кавказа по профилям ГСЗ Степное-Бакуриани и Волгоград-Нахичевань (результаты переинтерпретации первичных данных) // Физика Земли. 2012. №5. С. 16–23.
18. Старостенко В.И., Кендзера А.В., Бугаенко И.В., Островский А.Н., Цветкова Т.А. Геодинамическая граница и землетрясения зоны Вранча // Глубинное строение, минерагения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов. Воронеж: Научная книга, 2016. С. 379–383.
19. Бубнов С.Н., Кондрашов И.А., Гольцман Ю.В., Олейникова Т.И. Молодой эксплозивный игнибритообразующий вулканизм Кавказа: временные и пространственные закономерности размещения, геодинамические условия проявления, возможные источники расплавов // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XIV. Москва: ИИЕТ РАН. 2024. С. 59–68.
20. Короновский Н.В. Этапы новейшего вулканизма и проблемы их корреляции с формированием рельефа Центрального Кавказа // Геотектоника. 2016. № 5. С. 47–56.
21. Гончаров М.А., Разницын Ю.Н. Четыре разномасштабных фактора новейшего орогенеза Евразии // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. Том 1. Москва: ГЕОС. 2014. С. 85–89.

**UPPER MANTLE EARTHQUAKES OF THE TEREK-CASPIAN TROUGH
OF THE CRIMEAN-CAUCASIAN SEISMIC BELT: GEOLOGICAL AND
GEOPHYSICAL ASPECT**

Stogny G. A.¹, Stogny V. V.²

*^{1,2}Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 93a Markova
Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation
E-mail: ²stogny_vv@mail.ru*

Within the Crimean-Caucasian seismic belt, upper mantle earthquakes with $M \leq 4$ and hypocenter depths of 70–180 km form a number of regions. Well-studied regions of upper mantle earthquake occurrence include the Kerch-Taman, Terek-Sunzhensky, and Derbent troughs, whose distinctive tectonic positions are confined to crustal depressions. The deepest earthquakes (up to 180 km) with $M = 1.5–3.5$ were recorded in the Terek-Sunzhensky region of the Terek-Caspian trough.

This paper analyzes the positions of upper mantle earthquakes in the Terek-Sunzhensky seismic region of the Terek-Caspian trough within the magnetic and gravitational fields and in relation to tectonic blocks of the consolidated crust of the Scythian Plate to develop a model for their focal formation. The epicenters of upper mantle earthquakes are clustered in the central part of the regional Nalchik-Makhachkala positive magnetic anomaly. The hypocenter depths of upper mantle earthquakes within their distribution area increase northward from 60–100 km to 160–180 km. Deep-focus earthquakes of the Terek-Caspian trough are concentrated in a small area (60×60 km), practically within the Sunzha block of the consolidated crust of the Scythian Plate, suggesting the presence of a local seismogenic element in the mantle and its anomalous state.

The proposed model for the formation of upper mantle earthquake foci in the Terek-Sunzhensky region of the Terek-Caspian trough includes the process of small-scale mantle convection under conditions of local extension, which arose as a result of the disruption of mechanical and thermal equilibrium during the activation of fluid flow, which is accompanied by a redistribution of tectonic stresses in the crust-mantle system.

Keywords: Crimean-Caucasian seismic belt, Terek-Sunzhensky region, deep-focus earthquakes, anomalous magnetic field, consolidated crust, upper mantle, convection.

References

1. Gobarenko V.S., Murovskaya A.V., Egorova T.P., Sheremet E.E. Modern collision processes on the northern margin of the Black Sea. *Geotektonika (Geotectonics)*, 2016, no. 4, pp. 68–87. (In Russ.)
2. Levin L.E. Seismicity. *Tektonika yuzhnogo obramleniya Vostochno-Yevropeyskoy platformy (Tectonics of the southern framing of the East European platform)*, Krasnodar, Kuban State University, 2009, pp. 106–203. (in Russian)
3. Kovachev S.A., Kazmin V.G., Kuzin I.P., Lobkovsky L.I. New data on mantle seismicity of the Caspian region and their geological interpretation. *Geotektonika (Geotectonics)*, 2009, no. 3, pp. 30–44. (in Russian)
4. Stogny V.V., Stogny G.A. Formation of upper mantle earthquakes of the Crimean-Caucasian seismic zone. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya (Geology, Geography and Global Energy)*, 2017, no. 3(66), pp. 140–150. (in Russian)
5. Godzikovskaya A.A., Reisner G.A. Endogenous position of deep earthquakes in the Caucasus. *Geotektonika (Geotectonics)*, 1989, no. 3, pp. 15–25. (in Russian)

6. Gabsatarova I.P., Zvereva A.S. Seismic monitoring of the North Caucasus in the first quarter of the 21st century. *Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geoecologii Severnogo Kavkaza (Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus)*, vol. XIII, Moscow, IJET RAS, 2023, pp. 257–264. (in Russian)
7. Gabsatarova I.P. Seismicity in the Terek-Caspian trough: trigger effects and focal mechanisms. *Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geoecologii Severnogo Kavkaza (Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus)*, vol. XIV, Moscow, IJET RAS, 2024, pp. 239–244. (in Russian)
8. Gravimetric map of the USSR. Scale 1:2,500,000. Edited by P.P. Stepanov and M.A. Yakushevich. Moscow: VNIIGeofizika, 1990.
9. Map of the anomalous magnetic field (ΔT) of Russia, adjacent states (within the borders of the former USSR) and adjacent waters. Scale 1: 5,000,000. Editor-in-chief T.P. Litvinova. St. Petersburg: VSEGEI, 2000.
10. Abubakarova E.A., Akhmatkhanov R.S., Badaev S.V., Chimaeva Kh.R. Geophysical criteria for identifying faults in the Terek-Caspian trough. *Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geoecologii Severnogo Kavkaza (Modern problems of geology, geophysics, and geoecology of the North Caucasus)*, vol. VIII, Moscow, IJET RAS, 2018, pp. 224–230. (in Russian)
11. Gaisumov M.Ya., Badaev S.V. Deep structure of the Terek-Caspian trough. *Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geoecologii Severnogo Kavkaza (Modern problems of geology, geophysics, and geoecology of the North Caucasus)*, vol. VIII, Moscow, IJET RAS, 2018, pp. 252–260. (in Russian)
12. Krutikhovskaya Z.A., Eliseeva S.V., Markovsky V.S. Study of regional magnetic anomalies of ancient shields // Study of regional magnetic anomalies of platform areas. Kyiv. 1984. pp. 122–132. (in Russian)
13. Kravchenko S. N., Orlyuk M. I., Rusakov O. M. New approach to interpretation of regional West Black Sea magnetic anomaly. *Geofizicheskiy zhurnal (Geophysical Journal)*, 2003, vol. 25, no. 2, pp. 135–144. (in Russian)
14. Stogny G.A., Stogny V.V. Southern boundary of the Scythian plate in the system of block divisibility of the consolidated crust of the Central and Eastern segments of the Greater Caucasus. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii (Geology and Geophysics of Russian South)*, 2023, no. 3, pp. 6–18. (in Russian)
15. Kissin I.G. On a systems approach to earthquake prediction. *Fizika Zemli (Physics of the Earth)*, 2013, no. 4, pp. 145–160. (in Russian)
16. Levin B.V., Rodkin M.V., Sasorova E.V. Features of the seismic regime of the lithosphere – manifestations of the influence of deep aqueous fluid. *Fizika Zemli (Physics of the Earth)*, 2010, no. 5, pp. 88–96.
17. Pavlenkova G.A. Structure of the Caucasus Earth's crust along the Stepnoye-Bakuriani and Volgograd-Nakhichevan deep seismic sounding profiles (results of reinterpretation of primary data). *Fizika Zemli (Physics of the Earth)*, 2012, no. 5, pp. 16–23. (in Russian)
18. Starostenko V.I., Kendzera A.V., Bugaenko I.V., Ostrovsky A.N., Tsvetkova T.A. Geodynamic boundary and earthquakes of the Vrancea zone. *Glubinnoye stroeniye, minerageniya, sovremennaya geodinamika i seysmichnost' Vostochno-Yevropeyskoy platformy i sopredel'nykh regionov (Deep structure, minerageny, modern geodynamics and seismicity of the East European platform and adjacent regions)*, Voronezh, Nauchnaya kniga, 2016, pp. 379–383. (in Russian)
19. Bubnov S.N., Kondrashov I.A., Goltsman Yu.V., Oleynikova T.I. Young explosive ignimbrite-forming volcanism of the Caucasus: temporal and spatial patterns of distribution, geodynamic conditions of manifestation, possible sources of melts. *Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geoecologii Severnogo Kavkaza (Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus)*, vol. XIV, Moscow, IJET RAS, 2024, pp. 59–68. (in Russian)
20. Koronovsky N.V. Stages of Recent Volcanism and Problems of Their Correlation with the Formation of the Central Caucasus Relief. *Geotektonika (Geotectonics)*, 2016, no. 5, pp. 47–56. (in Russian)
21. Goncharov M.A., Raznitsyn Yu.N. Four Multi-Scale Factors of the Recent Orogenesis of Eurasia. *Tektonika skladchatykh pojasov Yevrazii: skhodstvo, razliche, kharakternyye cherty noveyshego gorobrazovaniya, regional'nyye obobshcheniya (Tectonics of the Fold Belts of Eurasia: Similarities, Differences, Characteristic Features of Recent Mountain Building, Regional Generalizations)*, vol. 1, Moscow, GEOS, 2014, pp. 85–89. (in Russian)

Поступила в редакцию 13.11.2025 г.