УДК 550.34, 551.24

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ АНАПСКОЙ ФЛЕКСУРНО-РАЗРЫВНОЙ ЗОНЫ, ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ

Е.А. Рогожин^{1,2,*}, А.В. Горбатиков¹, Ю.В. Харазова¹, М.Ю. Степанова¹, J. Chen³, А.Н. Овсюченко¹, А.С. Ларьков¹, А.И. Сысолин¹

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123242, Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, Россия ²Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба» РАН, 249035, Калужская обл., Обнинск, пр. Ленина, д. 189, Россия ³Institute of Geology, China Earthquake Administration, State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, 100029, Yard No.1, Hua Yan Li, Chaoyang District, Beijing, China *e.mail: eurog@ifz.ru

Поступила в редакцию 9.04.2019 г.; после исправления 30.04.2019 г.; принята в печать 28.05.2019 г.

В период с 2007 по 2017 г. были проведены комплексные геолого-геофизические исследования в трех крупнейших флексурно-разрывных зонах на Северо-Западном Кавказе (Анапской, Ахтырской и Молдаванской). В качестве основного геофизического метода применялся метод микросейсмического зондирования (ММЗ). Исследования с помощью ММЗ позволили выявить особенности глубинного строения земной коры в зоне исследований и связать их с конкретными тектоническими структурами на поверхности. Привязка осуществлялась путем согласования результатов ММЗ и параметров разреза осадочного чехла и коровых границ раздела по данным бурения и выполненных ранее работ методом обменных волн землетрясений (МОВЗ). Выяснено, что Анапская флексура и продольные тектонические зоны имеют под собой четкие глубинные корни, а также отделяют периклиналь Северо-Западного Кавказа от области Таманского полуострова и от опущенных блоков северного склона складчатой системы. Разломы в зоне исследования разделяются на: (1) глубинные разломы кавказского простирания, проникающие в низы коры и даже в верхи мантии, и (2) приповерхностные разломы, не выходящие в недрах за пределы толщи осадочного чехла. Определена сейсмогенерирующая роль данных тектонических нарушений в исследуемом сейсмоактивном регионе.

Ключевые слова: флексурно-разрывная зона, земная кора, тектоническое нарушение, микросейсмическое зондирование, геофизические методы

DOI: https://doi.org/10.31857/S0016-853X201953-11

ВВЕДЕНИЕ

Комплексное геолого-геофизическое исследование линейных тектонических структур, не выраженных на поверхности в виде явных активных разломов, является перспективным направлением. Важно, что к таким структурам часто приурочены очаги сильных и умеренных землетрясений. Так, в последние годы большое количество публикаций посвящено изучению «скрытых» или «слепых» разломных зон в пограничных областях Памира и Тянь-Шаня [19, 20, 21, 22]. На Большом Кавказе подобные тектонические зоны обнаружены на северо-западном периклинальном замыкании мегантиклинория [1]. И, если структурно-неотектоническое изучение их строения недавно активизировалось [17, 18], то исследование глубинного строения до последних лет почти не проводилось. В предлагаемой статье мы приводим первые данные и результаты изучения структуры поперечной Анапской и связанных с ней Ахтырской и Молдаванской продольных флексуро-разрывных зон в коре и на поверхности.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Вблизи меридиана г. Анапа многими исследователями установлено периклинальное замыкание складчатого сооружения Северо-Западного Кавказа [1, 9, 10, 11]. Слагающие его смятые в линейные складки кавказского простирания мезозойские отложения резко погружаются под палеоген-неогеновый комплекс осадочных пород. Детальные сейсмостратиграфические исследования выявили в этом районе довольно крутой борт



Рис. 1. Тектоническая схема области периклинального замыкания Северо-Западного Кавказа.

Структурные ступени: AC – Анапская (меридиональная), BC – Витязевская (меридиональная), HC – Неберджаевская (широтная); ПГ – Псебепско-Гойтхский антиклинорий.

1 – пункты измерения по ММЗ; 2 – пикеты измерения МОВЗ профиля Ростов-Новороссийск, по [6]; 3 – флексурно-разрывные зоны: А – Ахтырская, по [8], М – Молдаванская, по [11]; 4–5 – разломы, по [8]: 4 – межблоковые глубинные: Бз – Безепский, Д – Джигинский, Н – Натухаевский, П – Псебепский, Бк – Баканский, 5 – межблоковые глубинные, переходящие в мезозойский комплекс: Г – Гостагаевский; 6 – изолинии аномального магнитного поля (ΔТ)_а в нТл, по [5]; 7 – населенные пункты

Керченско-Таманского периклинального прогиба, выполненного майкопскими отложениями мощностью до 5 км [15]. Морфология этого борта позволяет выделять здесь крупную (шириной до 20 км) поперечную флексуру северо-восточной ориентировки с амплитудой вертикальных смещений кровли меловых отложений 6-7 км, подошвы майкопской серии -5 км, а ее кровли -1-2 км. Анапская флексурно-разрывная зона отделяет опущенный, Таманский блок от Северо-Западного Кавказа и прослеживается на северо-восток, где соединяется с Ахтырской флексурно-разрывной зоной. Амплитуда новейших вертикальных смещений по Анапской флексуре достигает 1.5 км, по данным Е.Е. Милановского [10]. Кроме того, в пределах Анапской зоны обнаружено погруже-

ГЕОТЕКТОНИКА № 5 2019

ние позднеплиоценовой (куяльницкой) поверхности выравнивания на 50-70 м [13].

В левом борту р. Гостагайки, пересекающей флексурно-разрывную зону, в ее восточной части, наблюдается терригенно-карбонатный палеоценовый флиш с зонами тектонического смятия, локальными малоамплитудными разрывами, мелкими складками волочения и резкими сменами элементов залегания в отдельных обнажениях. В то же время явно проявившихся на поверхности протяженных активных разломов антикавказского простирания не обнаружено. По результатам геоморфологических и структурно-тектонических исследований, проведенных в последние годы в районе Анапской флексурно-разрывной зоны, все основные хребты развиты в осевых зонах синклиналей или на их крыльях, в то время, как антиклиналям отвечают в рельефе крупные продольные депрессии — Михайловская, Верхнепсебепская и др. Также здесь кроме грабеновых и горстовых деформаций запад-северо-западного простирания наблюдается ряд непротяженных линеаментов близмеридиональной ориентировки, выстраивающихся в длинные цепочки и осложняющих складчатоблоковую структуру Анапского сейсмоактивного района [17, 18].

Восточнее Анапской флексуры горное сооружение образовано горстами, разделёнными несколькими грабенами. Михайловская шовно-депресионная зона, выделенная С.А. Несмеяновым [11] в осевой части Северо-Западного Кавказа, в районе Анапы разветвляется на несколько приразрывных грабенов. В складчатой структуре на новейшем этапе здесь произошла смена условий северо-восточного сжатия на растяжение. В условиях растяжения, сформированы Цемесский и Анапский грабены, также заложенные на доорогенных антиклиналях.

Вдоль северо-восточной границы горного сооружения Западного Кавказа выделяется серия нарушений, объединяемых в широкие Ахтырскую и Черкесскую флексурно-разрывные зоны. По данным ранее проведенных геофизических исследований, эти нарушения объединяются вблизи поверхности в единую структуру, осложненную несколькими пологими взбросами, и маскирующую реальное глубинное строение. В недрах флексуры подстилаются крутым взбросом, падающим к югу и внедряющимся к северу в разрез Предкавказского прогиба в виде клина на уровне контакта нижнеюрских пород и комплекса молассовых и платформенных толщ пермо-триаса [6]. Ниже клина Ахтырский и Черкесский разломы вначале полого, а с глубиной круче погружаются в тело палеозойского кристаллического фундамента. По данным магнитотеллурического зондирования (MT3) предполагается надвигание структур Большого Кавказа на прогиб вдоль Ахтырского разлома по домеловым комплексам с амплитудой горизонтального перемещения 10 км [2].

Проведенные на Северо-Западном Кавказе геофизические исследования позволили изучить глубинное строение деформируемой среды путем составления геолого-геофизических и структурно-геологических разрезов, заданных вкрест простирания складчатой системы. При-

ГЕОТЕКТОНИКА № 5 2019

мером может служить работа по геологической и сейсмотектонической интерпретации сейсмического профиля обменных сейсмических волн землетрясений (МОВЗ) Ростов-Новороссийск [6].

По данным интерпретации данных МОВЗ и МТЗ определена глубина залегания опорных границ — поверхности фундамента и Мохо; в надфундаментном разрезе и толще консолидированной коры прослежен ряд сейсмических границ. Проявились делимость коры на блоки, степень ее расслоенности в разных блоках и изменение мощности отдельных слоев и коры по латерали.

Локация очагов местных землетрясений в совокупности с данными МОВЗ показали их приуроченность на Северо-Западном Кавказе к контакту пород нижнего и верхнего мела в чехле (глубина порядка 3 км), к поверхности раздела чехол-фундамент (8–12 км).

Очевидна сейсмогенерирующая роль системы взбросо-надвигов Семигорской антиклинали в осевой части складчатого сооружения Большого Кавказа, разломов Черноморской зоны в подножии южного склона мегантиклинория и Новотитаровского разлома на северном ограничении Западно-Кубанского прогиба.

Эти геофизические разрезы не пересекают Анапскую флексурно-разрывную зону, поэтому ее глубинное строение оставалось до сих пор неизвестным (рис.1).

ДАННЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения геофизических исследований была выбрана область сочленения поперечной Анапской и связанных с ней Ахтырской и Молдаванской продольных флексуро-разрывных зон на северо-западном Кавказе. Такой выбор обусловлен большим интересом к структурно-неотектоническому изучению их строения [17, 18] и к повышенной новейшей сейсмической активности этой области на фоне всего западно-кавказского региона России. Изучение глубинного строения региона современными геофизическими методами не проводилось уже многие годы. Предыдущие исследования [6, 15] не могут дать ясных представлений о структуре перехода от мегантиклинория в северо-западной его периклинали. В то же время детальные сейсмотектонические работы в регионе [12] позволили получить новые данные о приповерхностном



Расстояние вдоль профиля, км

Рис. 2. Разрезы земной коры по результатам MM3 по профилям A-A' и B-B'.

На разрезе А-А' показаны границы, полученные независимо методом обменных волн землетрясений (МОВЗ). Площадки уверенного обмена по МОВЗ (черные точки с заполнением), площадки неуверенного обмена по МОВЗ (черные окружности без заполнения).

Флексурно-разрывные зоны: Мф – Молдаванская, Аф – Ахтырская.

Обозначены: Φ – поверхность фундамента, К – граница Конрада, М – граница Мохо, ОС – граница внутри осадочного чехла между верхним и нижним мелом.

Глубинные разломы: Бз — Безепский, П – Псебепский. Ш – грязевой вулкан Шуго.

строении ряда сейсмоактивных структур исследуемой зоны.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения глубинного строения ряда районов Северо-Западного Кавказа в последние годы было выполнено профилирование с применением метода микросейсмического зондирования (MM3). MM3 [4] относится к группе пассивных методов сейсморазведки и может применяться при решении геолого-геофизических и структурных задач для различных классов геологических объектов в различных географических и климатических условиях.

К настоящему времени накоплен значительный опыт использования ММЗ, полученный в рамках выполнения научно-исследовательских и хоздоговорных проектов на территории России [7, 16].

ММЗ является сейсморазведочным методом, в котором вместо зондирующих сейсмических сигналов искусственного происхождения (от

ГЕОТЕКТОНИКА № 5 2019



Рис. 3. Разрезы земной коры по результатам ММЗ по профилям C-C' и D-D'.

Глубинные разломы: Бз – Безепский, Г – Гостагаевский, Д – Джигинский, Н – Натухаевский, П – Псебепский.

Обозначены: кровля (линия из точек, погружающаяся к западу) альбского яруса по результатам сейсморазведки MOB OГТ, по [14]; граница (линия из точек на глубине 9–10 км) кристаллического фундамента под периклиналью Северо-Западного Кавказа, по [6].

Показана (вертикальная шкала) степень отклонения скоростей сдвиговых сейсмических волн от средней региональной скоростной модели V_s , в децибелах.

взрывов и вибраторов) используются естественные фоновые колебания поверхности Земли (микросейсмы). Распространенными в мире методами, родственными MM3, являются:

 модификации метода поверхностно-волновой томографии на основе оценки по кросс-корреляционной функции фазовой части функции Грина;

• модификации метода пространственной корреляции (SPAC-методы);

• модификации метода отношения компонент (H/V-методы).

Согласно численным экспериментам, разрешающая способность метода при восстановлении изображения по горизонтали оценивается как (0.25–0.3) λ , где λ – эффективная зондирующая длина волны [4]. Оценка разрешения по вертикали составляет величину не более ~0.3 λ , где λ – эффективная длина волны для средней глубины между неоднородностями. Показано, что обнаружить присутствие изолированной малой неоднородности возможно, даже если ее размеры меньше длины волны в 10 и более раз [4].

Субвертикальные геологические неоднородности и скоростные границы для ММЗ являются предпочтительными, а субгоризонтальные границы — «неудобными» объектами, хотя и последние также фиксируются. В отличие от ММЗ в сейсморазведке методом отраженных волн (МОВ) субгоризонтальные геологические тела и скоростные границы являются предпочтительными объектами. Это объясняется взаимным пространственным положением волновых фронтов и скоростных границ. Так, идеально горизонтальная в пределах измерительного профиля скоростная граница может оказаться незаметной при использовании ММЗ. Зачастую о горизонтальных границах в ММЗ можно судить по нарушению характера волновой картины, по аналогии с тем, как определяют присутствие и положение субвертикальных разломов в МОВ. В этом смысле ММЗ можно рассматривать как своеобразное «ортогональное дополнение» к МОВ.

Технологически проведение измерений по MM3 состоит из прохождения профиля от точки к точке с помощью переносных широкополосных сейсмометров. В каждой точке производится накапливание микросейсмического сигнала в течение времени, достаточного для достижения периода стационарности микросейсмического сигнала, что, как правило, составляет несколько часов. Один из приборов, установленный в неподвижную позицию, производит одновременную регистрацию с подвижными приборами. Это делается для последующей коррекции на нестационарность зондирующего микросейсмического сигнала.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

С помощью метода ММЗ были построены разрезы земной коры на глубину до 50 км по профилям A-A', B-B', C-C' и D-D' (рис. 2, рис. 3). Также на рис. 2 и рис. 3 нанесено положение глубинных разломов широтного и меридионального простирания, выделенных по данным детальной гравиметрии (по линиям повышенного градиента поля силы тяжести [8]).

Проанализируем полученные разрезы. Профиль A-A' пересекает Молдаванскую флексуру и Ахтырскую флексурно-разрывную зону кавказского простирания (см. рис. 1, см. рис. 2). Поскольку разрезы (см. рис. 2, см. рис.3) построены в единой цветовой шкале, то можно увидеть, что глубинная зона ниже 8 км на разрезе A-A' в целом существенно более высокоскоростная, чем на разрезах B-B' и C-C'. Объяснение этому факту мы находим на карте изолиний магнитного поля (см. рис. 1). Видно, что профиль A-A' пересекает зону максимальных магнитных аномалий, вытянутую вдоль

ГЕОТЕКТОНИКА № 5 2019

Молдаванской флексурно-разрывной зоны. Одновременное повышение скорости сейсмических волн и наличие отчетливого максимума в поле магнитных аномалий приводит нас к предположению о наличии здесь массивного магматического внедрения, которое имеет полосчатую структуру (см. рис. 2), расчленено тектоническими нарушениями в субширотном направлении.

Магнитная аномалия вытянута субширотно и плавно убывает в западном направлении. Профиль B-B', проходящий через вулкан Шуго, пересекает ее периферическую часть. Грязевой вулкан Шуго является наиболее крупным вулканом в этом районе. Магматические породы присутствуют в его выбросах (сопочной брекчии), а также вскрыты наиболее глубокой в этом районе скважиной на глубине 4 км в нерасчлененных отложениях нижней-средней юры (в 8 км западнее профиля A-A') [3].

Профили B - B' и C - C' вдоль и вкрест Анапской флексурно-разрывной зоны удобно анализировать совместно. Профиль С-С' пересекает полностью Анапскою флексурно-разрывную зоны, охватывая периклинальное замыкание Северо-Западного Кавказа, Анапскую ступень и Витязевскую ступень Таманской зоны. В направлении от Северо-Западного Кавказа к Таманской зоне в верхней части разреза появляется тело с низкими скоростями поперечных сейсмических волн, не характерными для периклинали Северо-Западного Кавказа. На разрезе отчетливо видно, что в запад-северо-западном направлении, от 12-го до 44-го пикетов значительно нарастает объем низкоскоростных образований, отвечающих молодым: палеогеновым, неогеновым и четвертичным отложениям, которые в пределах Витязевской ступени достигают мощности 1 км. Нарастание их толщины происходит не постепенно, а ступенчато, и такие ступени коррелируют с зонами крупнейших поперечных глубинных разломов - Гостагаевского и, возможно, Джингинского. Объем толщ с низкими скоростями распространяется и глубже, примерно на 4 км ниже уровня моря. В эти толщи входят верхнемеловые отложения, которые восточнее, в пределах Псебепско-Гойтхского антиклинория Северо-Западного Кавказа, не характеризуются столь низкими скоростями. Вероятно, в Таманской зоне они не так сильно литифицированы, как на Северо-Западном Кавказе. На разрезе C-C'(см. рис. 2) нанесена кровля альбского яруса по данным сейсморазведки МОВ ОГТ [14]. Эта граница является достаточно контрастной, так как нижнемеловые отложения представлены преимущественно глинистой толщей, а верхнемеловые преимущественно карбонатными породами (известняками и мергелями в полосе Псебепско-Гойтхского антиклинория и субфлишевой терригенно-карбонатной толщей севернее).

Под Анапской ступенью в диапазоне пикетов 0–26 профиля C-C' на глубинах 6–12 км н.у.м. отмечается полого погружающаяся в восточном направлении под углом около 10° зона низких скоростей толщиной 2–4 км, подстилающая более высокоскоростную толщу мезозойских отложений мощностью несколько более 8 км, характерную для периклинали мегантиклинория, которая перекрывает полого погружающийся к западу мощный горизонт в средней части коры, также характеризующийся более высокими скоростями. Эта пологая низкоскоростная зона совпадает с поверхностью кристаллического фундамента, независимо выделяемого по геофизическим данным [6].

Профиль C-C' на пикетах 40-44, по-видимому, пересекает восточную ветвь Джигинского глубинного разлома, прослеживающегося до глубины 50 км. Выявленный сейсморазведкой [14] в меловых отложениях поперечный разлом в районе пк 33, на разрезе ММЗ проявился как проникающий в фундамент и верхний слой коры. В меловых отложениях по данным сейсморазведки также выделен предполагаемый разлом на пикетах 20-22. В этом районе проведен поперечный Гостагаевский разлом, практически не выраженный в рельефе. Данный разлом рассматривают как восточное ограничение поперечной Витязевской ступени, которая, как видно на разрезе MM3, представлена в толще земной коры достаточно монолитным блоком.

Крупным глубинным разломом субмеридионального простирания, практически не проявленным на поверхности, является Натухаевский. Он проведен по гравиметрическим данным [8] в районе пикетов 3 и 6 (см. рис. 1) и выявлен сейсморазведкой в кровле нижнемеловых отложений в районе пикета 4 [14].

В своей восточной части профиль C-C', а профиль B-B' с юга проходят рядом с Безепским глубинным разлом и секущим его Натухаевским разломом. Точно сказать какой из этих разломов проявился на профиле B-B' (пикеты 26–33) невозможно, поскольку здесь находится узел пересечения этих двух разломов. На этом профиле в фундаменте проявились Молдаванская флексура и Ахтырская флексурно-разрывная зона (пикеты

01–16). Псебепский разлом пересечен профилями B-B' и C-C' и он не имеет корней, уходящих в мантию (см. рис. 2, см. рис. 3).

выводы

1. Проведенные комплексные геолого-геофизические исследования в трех крупнейших флексурно-разрывных зонах на Северо-Западном Кавказе (Анапской, Ахтырской и Молдаванской) позволили выявить их глубинное строение в толще всей земной коры и привязать их к конкретным тектоническим структурам на поверхности. Привязка была осуществлена путем согласования глубинной структуры исследуемого района по материалам профилирования ММЗ и данных о параметрах разреза осадочного чехла, коровых границ разделов, полученных в результате бурения, сейсморазведки МОВ ОГТ и ранее выполненных работ методом МОВЗ.

2. Выяснено, что Анапская флексура и продольные тектонические зоны имеют под собой четкие глубинные корни, выраженные в виде близвертикальных перемежающихся низкоскоростных и высокоскорстных включений. Эти структуры местами смещают разделы в земной коре и отделяют периклиналь Северо-Западного Кавказа от области Таманского полуострова, а также от опущенных блоков северного склона складчатой системы.

3. Разделены разломы, подстилающиеся в недрах низкоскоростными близвертикальными узкими «карманами» кавказского простирания на глубинные (I), проникающие в низы коры и даже в верхи мантии, и приповерхностные (II), не выходящие за пределы толщи осадочного чехла.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 18-05-00641_a, 19-55-53017 ГФЕН_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Белявский В.В., Егоркин А.В., Солодилов Л.Н., Ракитов В.А., Яковлев А.Г. Некоторые результаты применения методов естественных электромагнитных и сейсмических полей на Северном Кавказе. // Физика Земли. 2007. № 4. С. 4–14.

3. Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Кондрашов И.А., Гурбанова О.А. Обломки магматических пород в выбросах грязевых вулканов Таманского полуострова: геохимические особенности и палеогеодинамическая реконструкция (Краснодарский край, Северный Кавказ) // Вестник Владикавказск. НЦ. 2016. Т. 16. № 4. С. 49–61.

4. Горбатиков А.В., Цуканов А.А. Моделирование волн Рэлея вблизи рассеивающих скоростных неоднородностей. Исследование возможностей метода микросейсмического зондирования // Физика Земли. 2011. № 4. С. 96–112.

5. Государственная геологическая карта Российской федерации. Масштаба 1:200000. Сер. Кавказская. Лист L-37-XXVI (Новороссийск). Изд-ие 2-е. / В.М. Юбко (ред.). СПб: ВСЕГЕИ, 2009.

6. Золотов Е.Е., Кадурин И.Н., Кадурина Л.С., Недядько В.В., Ракитов В.А., Рогожин Е.А., Ляшенко Л.Л. Новые данные о глубинном строении земной коры и сейсмичности Западного Кавказа // Геофизика XXI столетия: 2001 год / Л.Н. Солодилов (ред.). М.: Научный мир, 2001. С. 85–89.

7. Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю. Особенности глубинного строения зоны трещинных Толбачинских извержений (Камчатка, Ключевская группа вулканов) по комплексу геолого-геофизических данных // Физика Земли. 2018. № 3. С. 60–83.

8. Летавин А.И., Перерва В.М. Разрывная тектоника и перспективы нефтегазоносности краевой зоны Северо-Западного Кавказа. М.: Наука, 1987. 88 с.

 Маринин А.В., Расцветаев Л.М. Структурные парагенезы Северо-Западного Кавказа // Проблемы тектонофизики / Ю.Л. Ребецкий (отв. ред.). М.: ИФЗ РАН, 2008. С. 191–224.

10. *Милановский Е.Е.* Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. 483 с.

11. *Несмеянов С.А.* Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа. М.: Недра, 1992. 254 с.

12. Овсюченко А.Н. Соотношение различных форм современных тектонических деформаций на Северо-Западном Кавказе // Исследования по сейсмотектонике и современной геодинамике / А.О. Глико (отв. ред.). М.: ИФЗ РАН, 2006. С. 89–104.

 Островский А.Б. О морских террасах Черноморского побережья Кавказа между г. Анапа и устьем р. Шахе. // Докл. АН СССР. 1968. Т. 181. № 4. С. 900–952.

14. *Перерва В.М.* Перспективы нефтегазоносности и методы выявления зон разрывных структур Северо-За-

падного Кавказа. // Геология нефти и газа. 1981. № 1. С. 39-43.

15. Пустильников М.Р., Чекунов А.В. Индоло-Кубанский передовой прогиб // Геофизические исследования и тектоника юга Европейской части СССР / С.И. Субботин (отв. ред.). Киев: Наукова думка, 1969. С. 190–210.

16. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Овсюченко А.Н., Андреева Н.В., Харазова Ю.В. Структура и современная геодинамика мегантиклинория Большого Кавказа в свете новых данных о глубинном строении // Геотектоника. 2015. № 2. С. 36–49.

17. *Трихунков Я.И*. Неотектонические преобразования кайнозойских складчатых структур Северо-Западного Кавказа // Геотектоника. 2016. № 5. С. 67–81.

18. Трихунков Я.И., Бачманов Д.М., Гайдаленок О.В. Новейшие тектонические структуры зоны сочленения Северо-Западного Кавказа и Керченско-Таманской области // Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии / Материалы L Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2018. Т.2. С. 282–289.

19. Bufe A., Sekaert D., Hussain E., Bookhagen B., Burbank D., Thompson J. J., Chen Jie, Li Tao, Liu Langtao, Gan Weijun, Temporal changes in rock-uplift rates of folds in the foreland of the Tian Shan and Pamir from geodetic and geologic data // Geophys. Research Lett. 2017. Vol. 44. P. 10977–10987.

20. Li Tao, Chen Jie, Thompson J. J., Burbank D., Active flexural-slip faulting: Controls exerted by stratigraphy, geometry and fold kinematics // J. Geophys. Research. Ser. Solid Earth. 2017. Vol. 122. P. 8538–8565.

21. Thompson J., Li Tao, Chen J., Burbank D., Bufe A., Quaternary tectonic evolution of the Pamir-Tian Shan convergent zone, northwest China // Tectonics. 2017. Vol. 36. P. 2748–2776.

22. Yang Huili, Chen Jie, Porat N., Li Tao, Li Wenqiao, Xiao Weipeng, Coarse versus fine-grain quartz optical dating of the sediments related to the 1985 Ms7.1 Wuqia earthquake, northeastern margin of the Pamir salient, China // Geochronometria. 2017. Vol. 44. P. 299–306.

Рецензент Л.П. Имаев

DEEP STRUCTURE OF THE ANAPA FLEXURAL-RUPTURE ZONE, WESTERN CAUCASUS

E.A. Rogozhin^{a,b,*}, A.V. Gorbatikov^a, Yu.V. Kharazova^a, M.Yu. Stepanova^a, J. Chen^c, A.N. Ovsyuchenko^a, A.S. Lar'kov^a, A.I. Sysolin^a

^a Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia ^b Federal Research Center "United Geophysical Survey" Russian Academy of Sciences, 249035, Kaluga region, Obninsk, Russia

^c Institute of Geology, China Earthquake Administration, State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, 100029, Beijing, China

*e.mail: eurog@ifz.ru

Received April 9, 2019; Revised April 30, 2019; Accepted May 28, 2019

Abstract — In the period from 2007 to 2017 complex geological and geophysical studies were carried out in the three largest flexural-rupture fault zones in the North-West Caucasus (Anapa, Akhtyrka and Moldavan). The micro-seismic sounding (MSM) was used as the main geophysical method. Studies with the help of MSM allowed us to identify the features of the deep structure of the earth's crust in the study area and to associate them with specific tectonic structures on the surface. The binding was carried out by harmonizing the results of the MSM and the parameters of the section of the sedimentary cover and crustal boundaries according to the drilling data and the work previously performed by the reflected wave method (MOVZ). It was found that the Anapa flexure and longitudinal tectonic zones have clear deep roots, and also separate the pericline of the North-Western Caucasus from the Taman Peninsula and from the lowered blocks of the Northern slope of the folded system. Faults in the study area are divided into: (1) deep faults of the Caucasian stretch, penetrating into the lower crust and even to the upper mantle, and (2) near-surface faults, do not extend to the depths beyond the thickness of the sedimentary cover. The seismogenic role of these tectonic disturbances in the studied seismically active region has been determined.

Keywords: flexural-rupture zone, the earth crust, tectonic disturbance, micro-seismic sounding, geophysical methods