

УДК 551.248.2

DOI: 10.46698/VNC.2024.83.53.005

Оригинальная статья

## Структуры альпийского орогенеза южного склона Западного сегмента Большого Кавказа в связи с обеспечением безопасности площадок инженерных сооружений

В.М. Макеев<sup>1</sup>, М.О. Ревазов<sup>1</sup>, Е.А. Пикулик<sup>2</sup>, Е.А. Фикри<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: r.m.o.1998@mail.ru;

<sup>2</sup> Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Россия, 101000, г. Москва, Уланский пер., 13, стр. 2

Статья поступила: 27.09.2024, доработана: 05.12.2024, принята к публикации: 06.12.2024

**Резюме:** Актуальность работ связана с решением научных задач относительно происхождения новейших структур, механизмов их развития и обеспечения геодинамической безопасности площадок инженерных объектов. Активные разломы, зоны высокоградиентных деформаций и сейсмотектонические процессы могут быть связаны не только с хорошо изученными блоковыми структурами, но и с менее исследованными изгибными структурами, которые выявляются в рельефе как поднятия и прогибы. **Цель исследований** – выявление и оценка разнотипных по происхождению структур южного склона Западного сегмента Большого Кавказа альпийской стадии орогенеза для обеспечения безопасности площадок инженерных объектов повышенного уровня ответственности. **Методы.** Исследования проводились структурно-геодинамическим, структурно-геоморфологическим, структурно-кинематическим и структурно-вещественными методами с использованием данных буровых, геофизических и полевых маршрутных наблюдений. **Результаты работ.** На южном склоне Западного Кавказа в альпийскую стадию орогенеза формируется два типа структур разного простирания: 1) общекавказского и 2) антикавказского. Для первых характерно образование поднятий и прогибов, для вторых – развитие относительно узких грабенообразных понижений и горстов со сдвиговой составляющей. Глубоководная Восточно-Черноморская впадина и горно-складчатое сводовое поднятие Большого Кавказа – источники современных напряжений. На южном склоне под их влиянием образуются общекавказские и антикавказские структуры, которые пересекаются и формируют перекрестно-структурный план, способствующий проявлению сейсмической активности на глубинах 10-15 км. Площадка инженерных сооружений ОСК «Бзугу», расположенная в районе Большого Сочи Туапсинско-Адлерской новейшей депрессии, представлена позднеолигоценовыми складчатыми структурами, перекрытыми голоценовыми аллювиальными отложениями. Подошва голоценовых отложений плавно изгибается в виде структурных террас, структурных заливов и флексур общекавказского простирания. Изгибы соответствуют малоградиентным современным деформациям платформенного типа. Это указывает на отсутствие активных разрывных нарушений и нахождение площадки в безопасных условиях.

**Ключевые слова:** изгибные структуры, орогенез, неотектоника, складки, разрывы, напряжения сжатия и растяжения, безопасность, сейсмичность.

**Благодарности:** Работа выполнена по госзаданию Геофизического института ВНЦ РАН, код: FMSM-2022-0013 и госзаданию Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, № 122022400105-9.

**Для цитирования:** Макеев В.М., Ревазов М.О., Пикулик Е.А., Фикри Е.А. Структуры альпийского орогенеза южного склона Западного сегмента Большого Кавказа в связи с обеспечением безопасности площадок инженерных сооружений. *Геология и геофизика Юга России*. 2024. 14(4): 39-53. DOI: 10.46698/VNC.2024.83.53.005

DOI: 10.46698/VNC.2024.83.53.005

Original paper

## Alpine orogenesis structures of southern slope of the Greater Caucasus Western segment related to the ensuring safety of engineering sites

V.M. Makeev<sup>1</sup>, M.O. Revazov<sup>1</sup>, E.A. Pikulik<sup>2</sup>, E.A. Fikri<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences,  
93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation,  
e-mail: r.m.o.1998@mail.ru;

<sup>2</sup> Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,  
13 Ulansky Lane, 2 p., Moscow 101000, Russian Federation

Received: 27.09.2024, revised: 05.12.2024, accepted: 06.12.2024

**Abstract: Relevance** of the paper is associated with the solution of scientific problems regarding the origin of the recent structures, mechanisms for their development and ensuring the geodynamic safety for engineering sites. Active faults, high-gradient deformation zones and seismotectonic processes can be associated not only with well-studied block structures but also with less studied flexible structures that are revealed in relief as uplifts and depressions. **Aim of the research** is to identify and evaluate the origin for different types structures of the southern slope of the Greater Caucasus Western segment of the alpine stage orogenesis for ensuring safety of engineering sites with a high importance level. **Methods.** The studies were conducted by structural-geodynamic, structural-geomorphological, structural-kinematic and structural-substance methods using data of boring, geophysical and field route observations. **Results.** On the southern slope of the Western Caucasus in alpine stage orogenesis two structures types of different orientation are formed: 1) General-Caucasian and 2) Anti-Caucasian. The former are characterized by uplifts and depressions, while the latter is characterized by grabens and horsts with a shear component. The East-Black-Sea depression and the Greater Caucasus mountain-folded arched uplift are the sources of modern tension. General-Caucasian and Anti-Caucasian structures intersect and form a cross-structural plan. It contributes to the manifestation of seismicity at depths of 10-15 km. The Bzugu sewage treatment facilities site is located in the Greater Sochi region of the Tuapse-Adler recent depression, and it is represented by late Oligocene folded structures covered by Holocene alluvial deposits. The Holocene sediments bottom bends smoothly in the form of structural terraces, structural bays and flexures of the General-Caucasian orientations. The curves correspond to small-gradient recent deformations of the platform type. This indicates no active rupture and site safety.

**Keywords:** flexural structures, orogenesis, neotectonics, folds, faults, compression and extension stresses, safety, seismicity.

**Acknowledgments:** The research was carried out according to the state assignment of Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center RAS, code: FMSM-2022-0013 and the state assignment of the Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, No. 22022400105-9.

**For citation:** Makeev V.M., Revazov M.O., Pikulik E.A., Fikri E.A. Alpine orogenesis structures of southern slope of the Greater Caucasus Western segment related to the ensuring safety of engineering sites. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2024. 14(4): 39-53. DOI: 10.46698/VNC.2024.83.53.005

### Введение

Район исследований Большой Сочи расположен в широкой зоне сопряжения южного склона Западного сегмента Большого Кавказа с Туапсинским прогибом Восточно-Черноморской впадины. В альпийском тектоно-магматическом цикле выделяются две новейшие стадии орогенеза, отчетливо выраженные в структурах и рельефе: раннеорогенная и позднеорогенная [Несмеянов, Воейкова, 2020; Шолпо

и др., 1993; Милановский, 1968]. Раннеальпийская стадия орогенеза (раннеорогенная) проявилась в образовании позднеолигоценовых (эоценовых?) складчато-надвиговых структур, которые являются основанием для формирования разнотипных по морфологии структур позднеальпийской стадии, начиная с миоценового времени. Для этих стадий характерно развитие изгибных структур, которые являются предметом наших исследований.

Формирование новейших структур обычно связывается с тектоникой литосферных плит [Nikishin et al., 2021; Рогожин, 2009; Mozar et al., 2010]. В качестве основного источника тектонических напряжений и деформаций рассматривается конвергенция Скифского и Закавказского литосферных блоков. При этом воздействие со стороны Восточно-Черноморского глубинного прогиба Закавказской плиты на южный склон Западного сегмента Большого Кавказа до сих пор остается малоизученной проблемой. Исследования последних лет показывают, что динамическое воздействие от разных источников тектонических напряжений на менее активные объемы земной коры приводит к суперпозиции разнородных напряжений и формированию геодинамически активных зон (ГДАЗ), как концентраторов напряжений и повышенных деформаций. Для их изучения разработана концепция современных геодинамических систем [Юдахин и др., 2003].

ГДАЗ – это пространственно локализованные линейные или изометричные зоны земной коры, в которых в силу различных причин имеются или могут возникать условия для концентрации и разрядки тектонических напряжений и повышенных градиентов деформаций горных пород. По этой причине они могут стать опасными для площадок инженерных объектов повышенного уровня ответственности наравне с активными разломами [Макеев и др., 2023]. Под активным разломом понимается, прежде всего, глубинная протяженная дислокация, подвижность (скорость) которой относится к текущему времени (up-to-date) [Макеев и др., 2023; Макеев и др., 2022]. Разломы, как правило, проявляются в деформациях четвертичных отложений и в рельефе в виде уступа или сгущения линеаментов и сопровождаются сейсмичностью (База данных активных разломов Евразии. М 1:1 000 000. <http://neotec.ginras.ru/database.html>. ГИН РАН. – 2018). В Центральной части Кавказа были проведены подобного типа геоэкологические исследования относительно сейсмической опасности [Заалишвили, Невская, 2014].

### Методы исследования

Работа основана на применении структурно-геоморфологического, структурно-кинематического, вещественно-структурного и структурно-геодинамического методов. Структурно-геоморфологический метод позволяет определить тип рельефа и выделить новейшие и современные структуры, которые являются показателями современных тектонических процессов. Структурно-кинематический метод связан с реконструкцией полей напряжения на основе анализа закономерностей распространения структур; вещественно-структурный (литологический) метод нацелен на изучение вещественного состава, строения и генезиса пород. Структурно-геодинамический метод направлен на рассмотрение полей напряжений и их происхождения с целью выделения геодинамических систем. Исследования проведены с учетом данных полевых маршрутных наблюдений, фондовых буровых и геофизических материалов, топографических карт и цифровых моделей рельефа. В результате анализа геологического строения альпийских ранне- и позднеорогенных структур и

их зональности, а также детальных исследований на площадке ОСК «Бзугу», были получены данные, имеющие теоретическое и практическое значение.

### Геологическое строение

Район Большого Сочи расположен на южном склоне Западного сегмента Большого Кавказа на сопряжении с Туапсинским прогибом Восточно-Черноморской глубоководной впадины [Овсюченко и др., 2013; Шолпо и др., 1993; Лаврищев и др., 2000] (рис. 1).

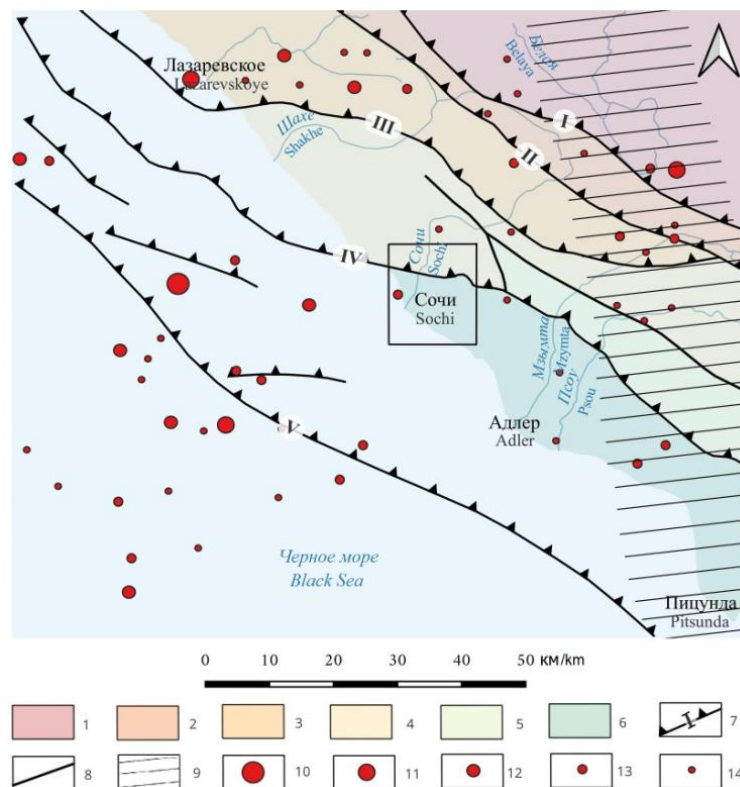


Рис. 1. Тектоническое строение зоны сочленения Западного сегмента Большого Кавказа и Восточно-Черноморской глубоководной впадины с эпицентрами землетрясений [Овсюченко и др., 2013; Шолпо и др., 1993; Лаврищев и др., 2000]

Альпийские структуры: 1-2 – центральный антиклинорий: 1 – Чугушское поднятие (зона Главного хребта), 2 – Гойтхский антиклинорий; 3-5 – Новороссийский синклиний: 3 – Лазаревская зона, 4 – Чвежипсинская синклиальная зона, 5 – Ахцу-Кацирха шовная (антиклинальная) зона; 6 – Адлерская депрессия. 7 – крупные разрывные нарушения: I – Главный Кавказский надвиг, II – Бекишейский надвиг, III – Краснополянский надвиг, IV – Воронцовский надвиг, V – Черноморский взброс, 8 – разрывы неясного генезиса, 9 – Пшехско-Адлерская поперечная флексуно-разломная зона. Эпицентры землетрясений и их энергетический класс: 10 – 13,0; 11 – 12,0; 12 – 11,5-10,5; 13 – 10,5-9,5; 14 – 9,5-8,5. Положение района детальных исследований обозначено прямоугольником /

Fig. 1. Tectonic structure of the junction zone of the Greater Caucasus Western segment and the East Black Sea deep-sea basin with earthquake epicenters [Ovsyuchenko et al., 2013; Sholpo et al., 1993; Lavrishchev et al., 2000]

Alpine structures: 1-2 – central anticlinorium: 1 – Chugush Uplift (Main Range zone), 2 – Goytkh anticlinorium; 3-5 – Novorossiysky synclinorium: 3 – Lazarevskaya zone, 4 – Chvezhipsinskaya synclinal zone, 5 – Akhtsu-Katsirkha suture (anticlinal) zone; 6 – Adler depression. 7 – large faults: I – Main Caucasian Thrust, II – Bekishei Thrust, III – Krasnopolyansky Thrust, IV – Vorontsovsky Thrust, V – Black Sea Reverse Fault, 8 – Ruptures of unknown origin, 9 – Pshekh-Adler transverse flexural-fault zone. Earthquake epicenters and their energy class: 10 – 13.0; 11 – 12.0; 12 – 11.5-10.5; 13 – 10.5-9.5; 14 – 9.5-8.5. The location of detailed research is showed by a rectangle

Во время конвергенции Скифского и Закавказского блоков (соответственно Евроазиатской и Аравийской литосферных плит) в позднем олигоцене-раннем миоцене ( $P_3^{mv} + N_1^{kd}$ ) эти отложения подверглись складчато-надвиговым деформациям с образованием серии надвигов чешуйчатого строения и структур с перевернутым залеганием [Дотдугев, 1989; Mosar et al., 2022] (рис. 2). Это время соответствует раннеальпийскому орогенезу с закрытием краевых (передовых) прогибов. Адлерская депрессия с расположенным в ее пределах районом Большой Сочи относится к подобному типу прогибов.



Рис. 2. Наклонные складки с подворотом крыльев в отложениях позднего олигоцена в районе н.п. Семеновка /

Fig. 2. Inclined folds with wing folds in late Oligocene deposits in the area of the Semenovka village

Позднеальпийский орогенез начался в миоцене – раннем-среднем сармате. С этого времени отмечается поднятие территории и закрытие раннеорогенных краевых прогибов, в т.ч. Адлерского на юге (Гагро-Джавской структурно-формационной зоны) и Майкопского на севере Кавказа (Терско-Самурской зоны). В позднем сармате начинают формироваться горно-складчатое сооружение Большого Кавказа, Терско-Каспийская и Туапсинская предгорные впадины. Последняя находится в акватории Черного моря. Заложение впадин происходит в несколько иных границах, отличающихся от предыдущих краевых прогибов, поскольку их отложения несогласно залегают на подстилающих отложениях серравальского яруса [Лаврищев и др., 2000; Adamia, 2011]. В плиоцен-четвертичное время произошло окончательное оформление сводового поднятия Большого Кавказа и предгорных впадин в том виде, в каком наблюдаются ныне.

### Структуры альпийского орогенеза и условия их формирования

Новейший этап, начавшийся с олигоцена ( $P_3$ ), а некоторыми исследователями начало этапа принимается с эоцена, делится на две стадии орогенеза: раннеальпийскую и позднеальпийскую [Милановский, 1968; Mikhailov, 1999].

*Структуры раннеальпийского орогенеза.* К раннеальпийскому орогенезу относятся складчато-надвиговые структуры Гагро-Джавской структурно-формационной зоны, развитые по палеоген-ранне-неогеновым отложениям. В рельефе их наследуют протяженные поднятия и прогибы – изгибные деформации СЗ простирания (рис. 3). Интенсивность развития изгибных форм в пространстве неравномерная. На севере, где на поверхность выходят породы палеозойского возраста и древнее, поднятия широкие и протяженные. К югу, к побережью Черного моря, где распространены менее консолидированные палеоген-четвертичные отложения, они

становятся более узкими и протяженными. При этом ширина прогибов увеличивается. Это может быть связано с изменением возраста, состава и строения подстилающих пород в условиях однородных напряжений или снижения их активности по латерали с юга на север [Яковлев и др., 2008].

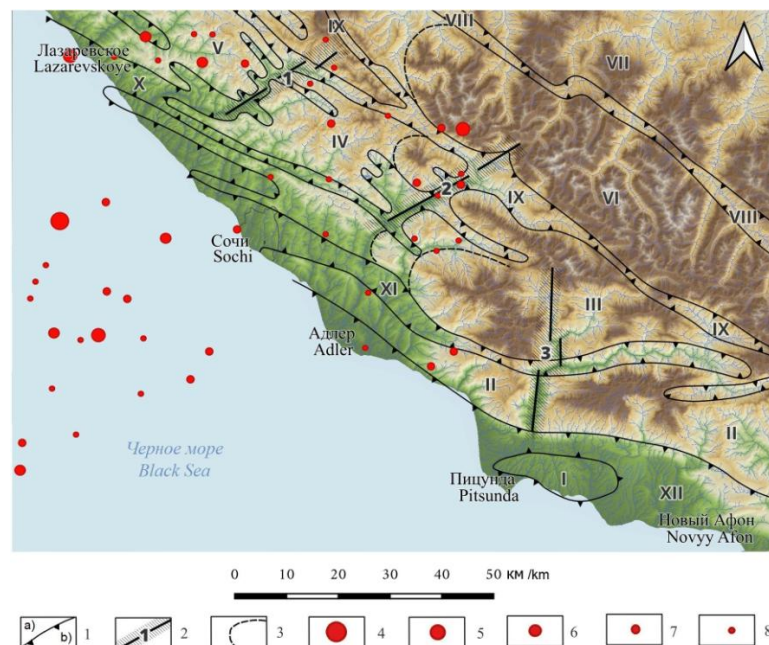


Рис. 3. Альпийские структуры изгибного типа южного склона Западного сегмента Большого Кавказа поздней стадии орогенеза

1 – структуры изгибной формы: а) поднятия, б) прогибы; 2 – трансзональные структурные линии (линеаменты) и их номер; 3 – предполагаемые периклинальные замыкания поднятий.

Поднятия: Пицундинское (I), Бзыбское (II), Дзюу-Пластунское (III), Большечуринское (IV), Аутлинское (V), Аксаутское (VI), Урупское (VII). Прогибы: Архыз-Умпырский (VIII), Верхне-Мзымта-Баусзский (IX), Кепшаский (X), Хашупса-Бзыбский (XI), Гудаута-Адлерский (XII).

Эпицентры землетрясений и их энергетический класс:

4 – 13,0; 5 – 12,0; 6 – 11,5-10,5; 7 – 10,5-9,5; 8 – 9,5-8,5 /

Fig. 3. Alpine structures of the flexural type of the southern slope Western segment Greater Caucasus the late stage of orogenesis

1 – flexural form structures: a) uplifts, b) downlifts; 2 – transzonal structural lines (lineaments) and their numbers; 3 – supposed periclinal closures of uplifts. Uplifts: Pitsundinskoye (I), Bzybskoye (II), Dzou-Plastunskoye (III), Bolshechurinskoye (IV), Autlinskoye (V), Aksautskoye (VI), Urupskoye (VII).

Downlifts: Arkhyz-Umpyrsky (VIII), Verkhne-Mzymta-Bauszky (IX), Kephshasky (X), Khashupsa-Bzybsky (XI), Gudauta-Adlersky (XII). Earthquakes epicenters and their energy class:

4 – 13.0; 5 – 12.0; 6 – 11.5-10.5; 7 – 10.5-9.5; 8 – 9.5-8.5.

Оси структурных форм не согласуются с простираанием береговой полосы Черного моря. У берега развитие складок как бы «обрывается», что выражается в виде периклинальных замыканий. Южнее, где заканчивается континентальный шельф – в Туапсинской впадине, сопряженном с валом Шатского, сейсмическая активность не снижается, а происходит увеличение плотности сейсмичности [Горячев, 1985; Овсяченко и др., 2013; Рогожин, 2009]. Подобного типа активность приурочена к южному склону, сопряженному с опускающейся Восточно-Черноморской впадиной и поднятием Большого Кавказа. В сопряжении формируются морские террасы и эрозионно-денудационные ступени, наклоненные в сторону впадины, т.е. развивается черноморская эрозионно-денудационная зональность. Изгибные формы,

деформирующие эти поверхности, по-видимому, отражают процессы активности двух крупных форм земной коры – Восточно-Черноморской впадины, у которой отмечается сильно редуцированная земная кора, и Большекавказского поднятия с увеличенной мощностью коры.

Структурный рисунок изгибных форм СЗ простирания разбивается поперечными трансзональными линеаментами, пересекающими сразу несколько поднятий и прогибов. Возможно, они отражают зоны разрывных нарушений предположительно сбросового характера. В зонах линеаментов поднятия испытывают виргацию с образованием ряда локальных складок. Например, у Дзоу-Пластунского поднятия отмечается периклинальное замыкание и опускание шарнира в зоне линеамента. Это приводит к расщеплению поднятия на ряд складок. К поперечным линеаментам приурочены речные долины с антецедентным характером развития, пересекающие также несколько поднятий. Такое строение линеаментов указывает на формирование их в условиях более глубинных полей напряжений, чем у полей напряжений более приповерхностных поднятий и прогибов. Очевидно, что глубинный и приповерхностный структурные планы развиваются в разных геодинамических обстановках, отвечающих сжатию и растяжению соответственно [Макеев и др., 2023; Макеев и др., 2022; Борукаев и др. 1981].

Разнотипные напряжения вследствие интерференции могут складываться и усиливаться и, наоборот, вычитаться и ослабляться, что является отражением глубинной расслоенности литосферы по геодинамическим и тектоническим условиям. Результатом такой расслоенности является сейсмическая активность, локализованная преимущественно на глубинах 10-15 км [Чотчаев и др., 2021].

*Структуры позднеальпийского орогенеза.* В ходе детальных структурно-геоморфологических исследований выделены относительно широкие эрозионно-денудационные ступени позднеплиоцен-раннечетвертичного возраста, снижающиеся от высокогорья Главного Кавказского хребта в сторону морского побережья. На рассматриваемой территории установлено три эрозионно-денудационные ступени: первая относительно высокая с абс. отм. ~400-500 м; вторая средняя ~300-400 м и третья низкая ~200-300 м и менее. Согласно датировкам, их возраст определен как позднеплиоценовый, эоплейстоценовый и раннечетвертичный соответственно [Несмеянов, Воейкова, 2020]. Все они относятся к Навагинской ступени южного склона Западного Кавказа, превышения которой варьируют по высоте по причине деформаций, продолжающихся поныне.

По морфологии и простиранию различаются общекавказские и антикавказские структуры.

1) Общекавказские структуры (продольные) СЗ простирания представлены изгибными формами (поднятиями и прогибами), разрывными нарушениями и флексурами (рис. 4). В прибрежной зоне общекавказские поднятия сопряжены с прогибами. К юго-востоку от Сочи прибрежное поднятие согласуется с антиклиналью СЗ простирания, развитой в позднепалеогеновых отложениях. Сопряженный с ним прогиб – с синклиналью. Поднятия часто приурочены к границе двух эрозионно-денудационных ступеней, расположенных на разных высотах. Такие поднятия, как правило, являются валообразными, не протяженными, прерывистыми по простиранию и часто приуроченными к поднятому крылу раннеорогенного взброса или надвига. Граница двух разновысотных ступеней может являться выражением флексур, у которых коленообразный изгиб падает в сторону Черного моря. Морфологиче-

ские особенности изгибных форм, включая их асимметрию, указывает на образование их в условиях напряжений растяжения, наведенных со стороны моря.

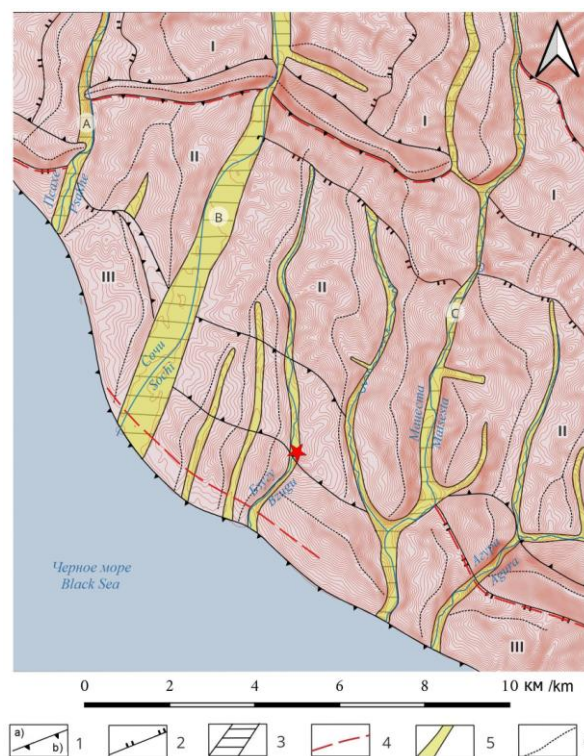


Рис. 4. Разнотипные структуры Большого Сочи и его окрестностей  
(изогипсы рельефа построены по ЦМР)

I – изгибные формы общекавказского простирания: а) поднятия, б) прогибы; 2 – тыловой шов эрозионно-денудационных ступеней и их номер: I (низкая), II (средняя) и III (высокая), часто соответствующий флексурам; 3 – структуры антикавказского простирания. Геодинамически активные зоны, выраженные прогибами: Псахеским (А), Сочинским (В) и Мацестинским (С); 4 – зоны разрывных нарушений (надвиги и взбросы), 5 – структуры, соответствующие отрицательным формам рельефа (долинам рек); 6 – структурные линии, отвечающие положительным формам рельефа (водоразделам). Красной звездочкой отмечен инженерный объект ОСК «Бзугу» /

Fig. 4. Different types of Greater Sochi structures and environs (Relief using DEM)

1 – flexural forms of the Pan-Caucasian orientation: a) uplifts, b) downlifts;  
2 – back suture of erosion-denudation steps and their number: I (low), II (medium) and III (high), often corresponding to flexures;  
3 – structures of the Anti-Caucasian orientation. Geodynamically active zones expressed by downlifts: Psakheskym (A), Sochinskym (B) and Matsestinskym (C);  
4 – zones of faults (thrusts and reverse faults), 5 – structures corresponding to negative relief forms (river valleys); 6 – structural lines corresponding to positive relief forms (watersheds).  
The engineering object of the Bzugu OSC is marked a red star

2) Антикавказские структуры (поперечные) представлены узкими грабенообразными понижениями и широкими горстовыми поднятиями антикавказского (поперечного) С-СВ простирания. Они формируются поперек простирания общекавказских структур и, возможно, отражают строение трансзональных поперечных зон линейментов, охарактеризованных выше (см. рис. 3)

Антикавказские структуры не везде одинаково отчетливо проявлены в рельефе. Наиболее яркие – это грабенообразные прогибы. Менее выражены горсты. Первые

устанавливаются по характерным долинам рек Сочи, Псахе и Мацеста, наследующим грабены. Вторые – по простиранию пологих водоразделов, сопряженных с грабенами (см. рис. 4). В правом борту Сочинского грабена установлено сбросовое нарушение, по которому этот борт максимально приподнят относительно поймы (Мамайский горст) [Несмеянов, Воейкова, 2020]. На пересечении грабена с валом общекавказского простирания у последнего отмечается выгиб в северном направлении. На этом участке прогиб сужается, а долина реки приобретает antecedentное строение.

Субпараллельно Сочинскому грабену простираются Псахеское и Мацестинское узкие понижения, сопряженные с горстами, которые также относятся к структурам растяжения. При пересечении их валами общекавказского простирания строение последних изменяется. В Псахеском и Мацестинском понижениях развитие валов прерывается. При этом происходит подворот периклинальных замыканий против часовой стрелки. Это рассматривается как проявление деформаций левостороннего сдвига. На правобережьях речных долин установлены горстовые поднятия с отчетливо выраженными протяженными плоскими водоразделами. В предгорной и прибрежной частях они пересекают валы СЗ простираания, у которых могут увеличиваться поперечные размеры. Динамическое воздействие грабенообразных понижений на смежную с ними территорию позволяет рассматривать Сочинское, Псахеское и Мацестинское понижения в качестве геодинамически активных зон (ГДАЗ).

Таким образом, для района Большой Сочи характерно развитие двух типов структур: 1) общекавказских и 2) антикавказских. Для первых характерно развитие поднятий и прогибов, включая валы, наследующих раннеорогенное складчатое основание (антиклинали, взбросы и надвиги). Их формирование происходит в условиях латеральных приповерхностных субмеридиональных напряжений растяжения, вызванных со стороны прогибающейся Восточно-Черноморской впадины. Напряжения растяжения действуют по геодинамическому принципу «тяги». Для вторых характерно образование узких грабенообразных понижений со сдвиговой составляющей и горстовых поднятий. Эти структуры – более глубинные трансзональные, формирующиеся в условиях субширотных напряжений растяжения. Их активность вызвана глубинными напряжениями сжатия, действующими по принципу «толкай» со стороны Восточно-Черноморской впадины.

Согласно концепции разнородности и разнотипности источников напряжений и деформаций, выделяется Восточно-Черноморская геодинамическая система, связанная с особенностями эволюции тектоники литосферных плит и блоков [Макеев и др., 2023]. Суперпозиция разнородных напряжений вызывает расслоенность литосферы на разных глубинных уровнях, что приводит к образованию общекавказских и антикавказских структур и формированию перекрестно-структурного плана на южном склоне Западного сегмента Большого Кавказа. Согласно сейсмотектоническим исследованиям очаги землетрясений приурочены преимущественно к глубинам 10-15 км.

### Современные деформации площадки ОСК «Бзугу» и их оценка

Для выявления и оценки современных деформаций, включая разрывные нарушения площадки ОСК «Бзугу» впервые исследовано ее геолого-геоморфологическое строение на основе инженерно-геологических, литологических и геолого-геофизи-

ческих данных, скважинной документации, с использованием цифровых моделей рельефа и опубликованных материалов [Горячев, 1985; Чотчаев и др., 2021] (рис. 5).

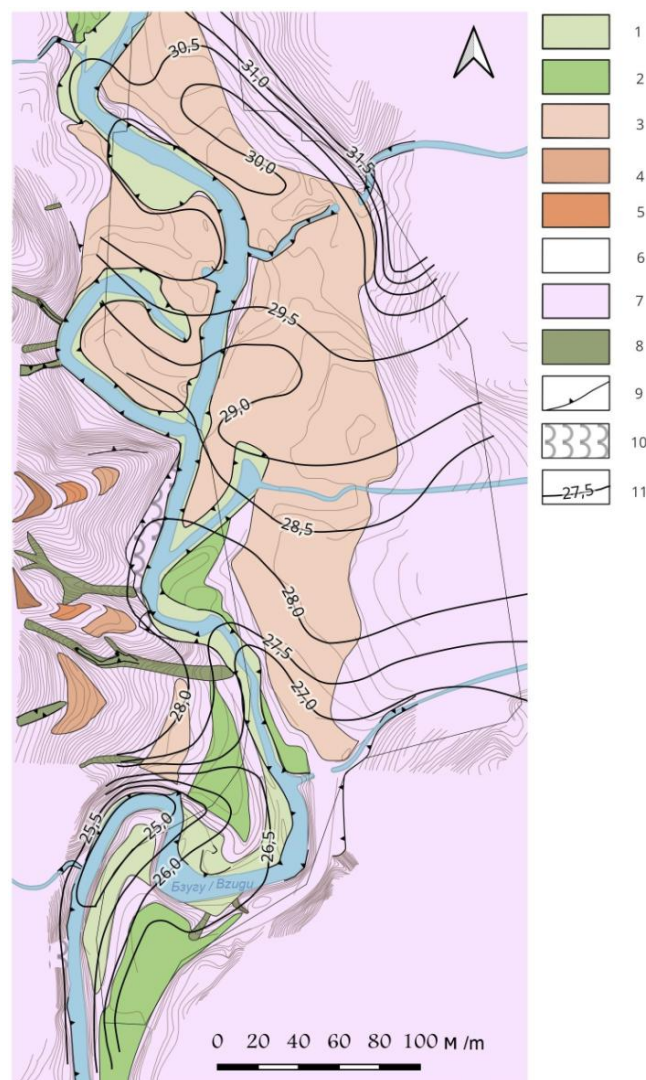


Рис. 5. Геолого-геоморфологическое строение площадки ОСК «Бзугу» и его окрестностей  
Геоморфологические ступени, продатированные снизу-вверх от более молодых к более древним.

Пойменные отложения ( $Q_{IV}$ ). Низкий уровень –  $Q_{IV}^2$  (1, 2): 1 – абс. отм. <29 м  
2 – абс. отм. 29-32 м. Высокий уровень –  $Q_{IV}^1$ : 3 – абс. отм. 31-37 м. Ступени неясного генезиса, перекрытые делювием (предполагаемого возраста).  
Верхний неоплейстоцен ( $Q_{III}$ ) (4, 5): 4 – абс. отм. 40-45 м ( $Q_{III}^2$ ); 5 – абс. отм. 45-48 м ( $Q_{III}^1$ ). Средний неоплейстоцен ( $Q_{II}^2$ ): 6 – абс. отм. >50 м. Эрозионные формы рельефа:  
7 – склоны, 8 – ложбины, 9 – обрывы, 10 – оползневые склоны, 11 – изолинии погребенной поверхности коренных пород сочинской свиты верхнего палеогена по данным горных выработок и инженерно-геологических и геолого-литологических разрезов (абс. отм. изолиний с сечением 0.5 м) /

Fig. 5. Geological and geomorphological structure of the Bzugu OSC site and its environs  
Geomorphological steps, dated from bottom to top from younger to more ancient. Floodplain deposits ( $Q_{IV}$ ).

Low level –  $Q_{IV}^2$  (1, 2): 1 – abs. marks <29 m 2 – abs. marks 29-32 m.

High level –  $Q_{IV}^1$ : 3 – abs. marks 31-37 m. Steps of unknown genesis, covered by deluvium (of inferred age). Upper Neopleistocene ( $Q_{III}$ ) (4, 5):

4 – abs. marks 40-45 m ( $Q_{III}^2$ ); 5 – abs. marks 45-48 m ( $Q_{III}^1$ ). Middle Neopleistocene ( $Q_{II}^2$ ):

6 – abs. marks >50 m. Erosion relief forms: 7 – slopes, 8 – hollows, 9 – cliffs, 10 – landslide slopes,

11 – the buried surface isolines of the Upper Paleogene Sochi suite bedrocks (isolines abs. marks. section – 0.5 m)

Поскольку к настоящему времени рельеф и отложения претерпели значительные техногенные изменения, для оценки геолого-геоморфологического строения использованы топографические и др. карты, изготовленные до начала проведения планировочных работ на площадке, т.е. до 1975 г.

В пределах площадки распространены коренные породы сочинской свиты позднего олигоцена. На них лежат исключительно голоценовые пойменные отложения мощностью до 5 м. Поверхность коренных пород в течение последних 10-11 тыс. лет не подвергалась воздействию эрозионных процессов. Деформации, которые произошли за этот период, усиливались и сохранялись не измененными эрозией и денудацией. В этом отношении подошва голоцена является исключительной для выявления и оценки современных тектонических деформаций.

Структурно-геоморфологические, геолого-геофизические и полевые исследования позволили выявить аккумулятивные ступени голоценовой поймы и средне- и неоплейстоценовые речные террасы в долине р. Бзугу, перекрытые мощным слоем делювиальных отложений (3-5 м). Установлено три голоценовых уровня. Чем выше уровень, тем больше он деформирован. Первый – практически горизонтальный, второй – деформирован с вертикальной амплитудой 3 м. Третий уровень находится на разных высотах, амплитуда превышения которого составляет максимум 6 м. Исследования на площадке и маршрутные наблюдения в ее окрестностях не выявили разрывных нарушений в их классическом понимании со смещениями пород и ступенями в рельефе.

По буровым данным установлено, что подошва голоценовых отложений имеет изгибное строение в виде понижений и повышений (возвышений). Они интерпретируются как структурные заливы, структурные террасы и флексурные перегибы СЗ простирания. Вертикальные амплитуды изгибов подошвы голоцена (11 тыс. лет) составляют 5-10 м на базе (расстоянии) 90 м [Стратиграфический ..., 2019]. Градиент современных деформаций составляет 0,04-0,09 см/год, что сопоставимо с градиентами платформенного типа. Учитывая срок службы инженерных сооружений равный 100 годам, суммарный изгиб в зоне сопряжения понижения и возвышения составит от 4 до 9-10 см на базе 90-100 м.

Предыдущими исследователями были установлены зоны неотектонических нарушений субширотного и СЗ простирания на основании данных геолого-геофизических профилей, пересекающих площадку Бзугу [Горячев, 1985]. Однако строение подошвы голоценовых отложений над этими зонами не изменяется – отсутствуют смещения отложений. В окрестностях площадки не обнаружены деформации форм рельефа, характерные для активных разрывов. Поэтому, даже в случае их наличия, они не являются активными в голоценовое время. Следовательно, тектоническая и морфометрическая оценка разрывов не представляется возможной для определения критичности смещений под блоками инженерных сооружений [Свод ..., 2016].

В то же время следует отметить, что река Бзугу, протекающая с севера на юг, на выходе с площадки пересекает пологое поднятие общекавказского простирания (см. рис. 4). При пересечении поднятия долина реки сужается и изменяет свое простирание на ЮЗ, что указывает на то, что этот участок является antecedentным, приуроченным к растущему поднятию. На этом участке находится крайняя южная часть площадки. По данным скважин здесь отмечаются сдвиговые деформации и зеркала скольжения по границе сочинской и хостинской свит позднего олигоцена, принимаемой за разрывное нарушение.

Таким образом, деформации подошвы голоценовых отложений площадки ОСК «Бзугу» представлены изгибными формами СВ простирания, не имеющими отношения к разрывным нарушениям. Они согласуются со складками общекавказского простирания, развивающимися под влиянием напряжений растяжения субмеридиональной ориентации.

### Выводы

Район Большого Сочи и прилегающие территории расположены в Туапсинско-Адлерской новейшей депрессии, сложенной олигоцен-нижнемиоценовыми отложениями, смятыми в раннеорогенные складчато-надвиговые структуры. Закрытие депрессии и частичное погружение ее западной части под акваторию Черного моря произошло в позднеорогенную стадию. Это время ознаменовалось преимущественным поднятием территории и формированием Навагинской эрозионно-денудационных ступени. К настоящему времени она претерпела деформации с образованием разнотипных поднятий, прогибов и разрывных нарушений общекавказского (СЗ) и антикавказского (С-СВ) простираний.

Для общекавказских структур характерно развитие прогибов и прерывистых по простиранию валообразных поднятий (изгибных форм), наследующих раннеорогенные складчато-разрывные структуры (синклинали, антиклинали и надвиги). Прогибы по форме часто согласуются с синклиналями, а валы – с надвигами и взбросами (например, с Воронцовскими). Для антикавказских структур закономерным является развитие относительно узких грабенообразных и широких горстообразных поднятий, несогласно наложенных на структуры складчато-разрывного основания. Геодинамические условия формирования разнотипных по простиранию структур различаются. Предполагается, что развитие первых происходит в условиях воздействия субмеридиональных напряжений растяжения, вызванных опусканием Восточно-Черноморской впадины. Вторые развиваются под влиянием глубинных напряжений сжатия, генерируемых в условиях конвергенции литосферных плит и активности впадины как очага, который является источником дополнительных напряжений.

Напряжения и деформации общекавказского и антикавказского простираний создают перекрестно-структурный план с образованием зон интерференций и геодинамически активных зон (ГДАЗ). Разнотипные структуры формируются в условиях сопряжения Восточно-Черноморского глубинного прогиба и сводового поднятия Большого Кавказа при активности литосферных плит и блоков. Такие условия вызывают расслоенность литосферы и сейсмическую активность на глубинах 10-15 км. Причинно-следственная связь разнородных факторов и геодинамических условий подтверждает выделение Восточно-Черноморской структурно-геодинамической системы как дополнительного источника напряжений и деформаций.

На площадке инженерных сооружений ОСК «Бзугу» голоценовые отложения, несогласно залегающие на смятых в складки породах позднего олигоцена, деформированы с образованием изгибных форм. Учитывая срок службы инженерных сооружений, равный 100 годам, суммарный изгиб в зоне сопряжения понижений и поднятий составит не более 10 см на базе 90-100 м. Такой градиент соизмерим с градиентом платформенных деформаций и не является опасным для площадок инженерных сооружений.

## Литература

1. Борукаев Ч.Б., Расцветаев Л.М., Щерба И.Г. Мезозойские и кайнозойские олисто-стромы на южном склоне Западного Кавказа. // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 1981. – Т. 56. – Вып. 6. – С. 32–44.
2. Горячев М.И. Карта сейсмического микрорайонирования территории первоочередной застройки г. Большие Сочи. Пояснительная записка. СевКавТИСИЗ, фонды АПУ. Краснодар, 1985. – 37 с.
3. Дотдугев С.И. Мезозойско-кайнозойская геодинамика Большого Кавказа. Геодинамика Кавказа. М.: Наука, 1989. – С. 82–92.
4. Заалишвили В.Б., Невская Н.И. Геоэкологические аспекты эволюции природных и урбанизированных систем в условиях высокой сейсмической опасности (на примере Центральной части Кавказа). Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН, 2014. – 137 с.
5. Лаврищев В.А., Греков И.И., Башкиров А.Н. Геологическая карта РФ. М 1:200 000. Изд. 2е. Серия Кавказская. Лист К-37-IV (Сочи). СПб: ВСЕГЕИ, 2000. – 135 с.
6. Макеев В.М., Камболов Д.А., Ревазов М.О., Пикулик Е.А. Неотектоника и геодинамика зоны сочленения Северо-Западного Кавказа и Черноморской впадины (район г. Геленджик). // Устойчивое развитие горных территорий. – 2023. – Т. 15. №4(58). – С. 995–1007.
7. Макеев В.М., Ревазов М.О., Болотаева А.Г. Структурно-геодинамические исследования южного склона Большого Кавказа в районе Двалетского поднятия в связи с оценкой зон нарушений. // Геология и геофизика юга России. – 2022. – Т. 12. №4. – С. 32–43.
8. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. – 484 с.
9. Несмеянов С.А., Воейкова О.А. Неотектоника Воронцовской зоны и проблема молодых надвигов на Западном Кавказе. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2020. – №4. – С. 3–20.
10. Овсученко А.Н., Хилько А.В., Шварев С.В., Костенко К.А., Мараханов А.В., Рогожин Е.А., Новиков С.С., Ларьков А.С. Комплексные геолого-геофизические исследования активных разломов в Сочи–Краснополянском районе. // Физика Земли. – 2013. – №6. – С. 116–138.
11. Рогожин Е.А. Сейсмотектоника центрального сегмента Большого Кавказа для сейсмического мониторинга и оценки сейсмической опасности (Республика Южная Осетия: перспективы инновационного развития). // Вестник Владикавказского научного центра. – 2009. – Т. 9. №4. – С. 16–22.
12. Свод правил СП 22. 13330.2016 «Основание зданий и сооружений». Приложение Е – Предельные дополнительные деформации основания фундаментов реконструируемых сооружений. – 2016. – 55 с.
13. Стратиграфический кодекс России (МСК – международный стратиграфический кодекс). Изд. 3е. Исправленное и дополненное. СПб: ВСЕГЕИ, 2019. – 96 с.
14. Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Зонирование высокогорных территорий по геоэкологическим нагрузкам, обусловленным геодинамическими и климатическими воздействиями. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №1. – С. 75–88.
15. Шолпо В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А. Складчатость Большого Кавказа. М.: Наука, 1993. – 192 с.
16. Юдахин Ф.Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 299 с.
17. Яковлев Ф.Л., Маринин А.В., Сим Л.А., Гордеев П.П. Поля тектонических напряжений и поля деформаций Воронцовского покрова (Северо-Западный Кавказ). // В сборнике: Проблемы тектонофизики. М.: ИФЗ РАН, 2008. – С. 319–333.
18. Adamia Sh., Zakariadze G., Chkhotua T., Sadradze N. et al. Geology of the Caucasus: a Review. // Turkish Journal of Earth Sciences. – 2011. – Vol. 20. – pp. 489–544.

19. Gamkrelidze I.P. Geodynamic evolution of the Caucasus and adjacent areas in Alpine time. // *Tectonophysics*. – 1986. – Vol. 127. – pp. 261–277.
20. Mikhailov V.O. Evolution of the North Caucasus foredeep: Constraints based on the analysis of subsidence curves. // *Tectonophysics*. – 1999. – Vol. 307. No. 3-4. – pp. 361–379.
21. Mosar J., Kangarli T., Bochud M., Glasmacher U.A. et al. Cenozoic-Recent tectonics and uplift in the Greater Caucasus: a perspective from Azerbaijan. // *Geological Society of London, Special Publications*. – 2010. – Vol. 340. No. 1. – pp. 261–280.
22. Mosar J., Lavrishev M.V., Koiava K., Kalberguenova V.R. Tectonics in the Greater Caucasus (Georgia–Russia): from an intracontinental rifted basin to a doubly verging fold-and-thrust belt. // *Marine and Petroleum Geology*. – 2022. – Vol. 140. Art. No. 105630.
23. Nikishin A.M., Okay A.I., Tüysüz O., Demirel A. et al. The Black Sea basins structure and history: New model based on new deep penetration regional seismic data. Part 1: Basins structure and fill. // *Marine and Petroleum Geology*. – 2015. – Vol. 59. – pp. 638–655.

## References

1. Borukaev Ch.B., Rastsvetaev L.M., Shcherba I.G. Mesozoic and Cenozoic olistostromes on the southern slope Western Caucasus. *Bulletin of MOIP. Geological Department*. 1981. Vol. 56. Issue 6. pp. 32–44. (In Russ.)
2. Goryachev M.I. Map of seismic microzonation of the territory of primary development in Bolshye Sochi. Explanatory note. SevKav-TISIZ. APU funds. Krasnodar. 1985. 37 p. (In Russ.)
3. Dotduduev S.I. Mesozoic-Cenozoic geodynamics of the Greater Caucasus. *Geodynamics of the Caucasus*. Moscow. Nauka. 1989. pp. 82–92. (In Russ.)
4. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I. Geocological aspects of the evolution of natural and urbanized systems in conditions of high seismic hazard (on the example of the Central part of the Caucasus). Vladikavkaz. CGI VSC RAS. 2014. 137 p. (In Russ.)
5. Lavrishchev V.A., Grekov I.I., Bashkirov A.N. Geological map of the Russian Federation. Scale 1:200 000. Ed. 2nd edition. Caucasian series. Sheet K-37-IV (Sochi). Saint-Petersburg. VSEGEI. 2000. 135 p. (In Russ.)
6. Makeev V.M., Kambolov D.A., Revazov M.O., Pikulik E.A. Neotectonics and geodynamics of the junction zone of the Northwestern Caucasus and the Black Sea basin (Gelendzhik region). *Sustainable Development of Mountainous Territories*. 2023. Vol. 15. No. 4(58). pp. 995–1007. (In Russ.)
7. Makeev V.M., Revazov M.O., Bolotaeva A.G. Structural and geodynamic studies of the southern slope of the Greater Caucasus in the area of the Dvalet uplift in connection with the assessment of disturbance zones. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12. No. 4. pp. 32–43. (In Russ.)
8. Milanovsky E.E. The newest tectonics of the Caucasus. Moscow. Nedra. 1968. 484 p. (In Russ.)
9. Nesmeyanov S.A., Voeikova O.A. Neotectonics of the Vorontsov zone and the problem of young thrusts in the Western Caucasus. *Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2020. No. 4. pp. 3–20. (In Russ.)
10. Ovsyuchenko A.N., Khilko A.V., Shvarev S.V., Kostenko K.A., Marakhanov A.V., Rogozhin E.A., Novikov S.S., Larkov A.S. Complex geological and geophysical studies of active faults in Sochi–Krasnopolyansky district. *Physics of the Earth*. 2013. No. 6. pp. 116–138. (In Russ.)
11. Rogozhin E.A. Seismotectonics of the central segment of the Greater Caucasus for seismic monitoring and seismic hazard assessment (Republic of South Ossetia: prospects for innovative development) *Vestnik of the Vladikavkaz Scientific Center*. 2009. Vol. 9. No. 4. pp. 16–22. (In Russ.)
12. Code of Rules SP 22. 13330.2016 Foundation of buildings and structures. Application E – Maximum additional deformations of the foundations of reconstructed structures. 2016. 55 p. (In Russ.)

13. The Stratigraphic Code of Russia (MSC – International Stratigraphic Code). Ed. 3rd edition. Revised and expanded. Saint-Petersburg. VSEGEI. 2019. 96 p. (In Russ.)
14. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Zoning of high-altitude territories according to geoecological loads caused by geodynamic and climatic influences. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 1. pp. 75–88. (In Russ.)
15. Sholpo V.N., Rogozhin E.A., Goncharov M.A. Folding of the Greater Caucasus. Moscow. Nauka. 1993. 192 p. (In Russ.)
16. Yudakhin F.N., Shukin Yu.K., Makarov V.I. Deep structure and modern geodynamic processes in the lithosphere of the East European Platform. Yekaterinburg. Ural Branch of the RAS. 2003. 299 p. (In Russ.)
17. Yakovlev F.L., Marinin A.V., Sim L.A., Gordeev P.P. Fields of tectonic stresses and deformation fields of the Vorontsov cover (Northwestern Caucasus). In: *Proceedings Problems of tectonophysics*. Moscow. IPE RAS. 2008. pp. 319–333. (In Russ.)
18. Adamia Sh., Zakariadze G., Chkhotua T., Sadradze N. et al. Geology of the Caucasus: a Review. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 2011. Vol. 20. pp. 489–544.
19. Gamkrelidze I.P. Geodynamic evolution of the Caucasus and adjacent areas in Alpine time. *Tectonophysics*. 1986. Vol. 127. pp. 261–277.
20. Mikhailov V.O. Evolution of the North Caucasus foredeep: Constraints based on the analysis of subsidence curves. *Tectonophysics*. 1999. Vol. 307. No. 3-4. pp. 361–379.
21. Mosar J., Kangarli T., Bochud M., Glasmacher U.A. et al. Cenozoic-Recent tectonics and uplift in the Greater Caucasus: a perspective from Azerbaijan. *Geological Society of London, Special Publications*. 2010. Vol. 340. No. 1. pp. 261–280.
22. Mosar J., Lavishev M.V., Koiava K., Kalberguenova V.R. Tectonics in the Greater Caucasus (Georgia–Russia): from an intracontinental rifted basin to a doubly verging fold-and-thrust belt. *Marine and Petroleum Geology*. 2022. Vol. 140. Art. No. 105630.
23. Nikishin A.M., Okay A.I., Tüysüz O., Demirer A. et al. The Black Sea basins structure and history: New model based on new deep penetration regional seismic data. Part 1: Basins structure and fill. *Marine and Petroleum Geology*. 2015. Vol. 59. pp. 638–655.