ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.24

DOI: 10.46698/VNC.2023.74.77.004

Оригинальная статья

Геоморфологическое, геолого-тектоническое строение, геодинамические и экологические условия горы Машук и примыкающей территории центральной части района Кавказских Минеральных Вод

А.А. Стасенко, М.Н. Данилин, В.М. Харченко, А.Е. Неркарарян

Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, 355009, г. Ставрополь, пр-т Кулакова, 16/1, корп. 16, e-mail: stasenko.alexandr.2016@gmail.com

Статья поступила: 01.02.2023, доработана: 28.02.2023, одобрена в печать: 05.03.2023

Резюме: Актуальность работы. Гора Машук не только занимает географически центральное место на территории Кавказских Минеральных Вод (КМВ) среди многочисленных магматических диапиров и криптолакколитов, но и является одним из важнейших объектов туризма, а также уникальным объектом для изучения геолого-тектонических и геодинамических условий, особенно в плане сейсмичности и экологической безопасности территории. **Цель работы** – комплексное изучение горы Машук для обеспечения сейсмической и экологической безопасности, а также устойчивого социально-экономического развития региона КМВ. **Методы исследований.** На первом этапе научных исследований проведён анализ многочисленного материала по геоморфологии и геологическому строению, в том числе по данным сейсмологических исследований территории г. Машук и прилегающих территорий. Подготовлены материалы по топографической съёмке и космические снимки различных масштабов (крупного и среднего), разработана теоретическая база и методология научных исследований. Теоретическая база основывалась на традиционных и нетрадиционных представлениях (ротационной концепции тектогенеза, её следствии – плюмтектонике, рингтектонике и блоктектонике, структурах растяжения, концепции природы структур центрального типа). Из традиционных представлений использовались учение о современных и древних фациях, природно-территориальных комплексах (ПТК) и ландшафтоведение. Методология научных исследований, в том числе основана на традиционных и нетрадиционных методах. Из традиционных методов использовался известный системно-аэрокосмический метод групповой геологической съёмки, метод ключевых участков, структурно-геоморфологический метод. Из нетрадиционных: новый метод ландшафтно-геоэкологического картирования, структурно-метрический метод и метод интерпретации СЦТ или метод рудонефтегазогеологического и сейсмического районирования. **Результаты работы.** В результате изучения материалов предшественников по геоморфологии, геологии и тектонике, дешифрирования космических снимков различных масштабов и топокарт проанализированы составленные авторами карты: ландшафтно-геоэкологических условий, схема рудонефтегазогеологического и сейсмического районирования, схемы геодинамических условий. На их основе сделан прогноз экологических условий (затопления, подтопления); выделены участки сейсмических рисков (возможных эпицентров катастрофических землетрясений). Выявлены основные особенности геоморфологического, геолого-тектонического строения и геодинамических условий горы Машук и прилегающих территорий. Впервые выданы рекомендации по предупреждению катастрофических землетрясений путем бурения скважин на термальные и минеральные источники в суперрезонансных зонах.

Ключевые слова: криптолакколит, магматический диапир, структуры центрального типа, геодинамические центры, зоны сжатия и растяжения, суперрезонансные зоны, очаги землетрясений, комплексный мониторинг.

Для цитирования: Стасенко А.А., Данилин М.Н., Харченко В.М., Неркарарян А.Е. Геоморфологическое, геолого-тектоническое строение, геодинамические и экологические условия горы Машук и примыкающей территории центральной части района Кавказских Минеральных Вод. *Геология и геофизика Юга России.* 2023. 13(1): 47-58. DOI: 10.46698/VNC.2023.74.77.004.

GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS

DOI: 10.46698/VNC.2023.74.77.004

Original paper

Geomorphological, geological and tectonic structure, geodynamic and ecological conditions of Mount Mashuk and the adjacent territory of the central part of the Caucasus Mineralnye Vody region

A.A. Stasenko, M.N. Danilin, V.M. Kharchenko, A.E. Nerkararian

North-Caucasus Federal Univercity, 16/1 Kulakova Avenue, Stavropol
355009, Russian Federation, e-mail: stasenko.alexandr.2016@gmail.com

Received: 01.02.2023, revised: 28.02.2023, accepted: 05.03.2023

Abstract: Relevance. Mount Mashuk occupies a geographically central place not only on the territory of the Caucasian Mineral Waters (CMW) among numerous igneous diapirs and cryptolaccoliths, it is one of the most important tourism objects, but also a unique object for studying geological, tectonic and geodynamic conditions, especially in terms of seismicity and environmental safety territory.**The aim of the study** is a comprehensive study of Mount Mashuk to ensure seismic and environmental safety, as well as sustainable socio-economic development of the CMW region. **Methods.** At the first stage of scientific research, an analysis of numerous material on geomorphology and geological structure was carried out, including data from seismological studies of the territory of the city of Mashuk and adjacent territories. Materials on topographic surveys and satellite images of various scales (large and medium) have been prepared, a theoretical base and methodology for scientific research have been developed. The theoretical basis was based on traditional and non-traditional concepts (the rotational concept of tectogenesis, its corollary – plume tectonics, ring tectonics and block tectonics, extension structures, the concept of the nature of structures of the central type).From traditional ideas, the doctrine of modern and ancient facies, natural-territorial complexes (NTC) and landscape science were used. The methodology of scientific research is also based on traditional and non-traditional methods. Of the traditional methods, the well-known system-aerospace method of group geological survey, the method of key areas, and the structural-geomorphological method were used. Of the non-traditional ones: a new method of landscape-geoecological mapping, a structural-metric method and a method of interpreting the SCT, or a method of ore-gas-geological and seismic zoning. **Results.** As a result of studying the materials of predecessors in geomorphology, geology and tectonics, deciphering satellite images of various scales and topographic maps, maps compiled by the authors were analyzed: landscape and geoecological conditions, a scheme of ore, gas, geological and seismic zoning, schemes of geodynamic conditions. Based on them, a forecast of environmental conditions (flooding, flooding) was made; areas of seismic risks (possible epicenters of catastrophic earthquakes) are identified.

The main features of the geomorphological, geological-tectonic structure and geodynamic conditions of Mount Mashuk and adjacent territories are revealed.For the first time, recommendations were issued on the prevention of catastrophic earthquakes by drilling wells for thermal and mineral springs in superresonant zones.

Keywords: cryptolaccolith, igneous diapirs, central-type structures, geodynamic centers, compression and extension zones, superresonant zones, earthquake sources, integrated monitoring.

For citation: Stasenko A.A., Danilin M.N., Kharchenko V.M., Nerkararian A.E. Geomorphological, geological and tectonic structure, geodynamic and ecological conditions of Mount Mashuk and the adjacent territory of the central part of the Caucasus Mineralnye Vody region. *Geologiya I Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2023. 13(1): 47-58. DOI: 10.46698/VNC.2023.74.77.004.

Введение

В последние годы во многих областях наук о Земле основным информационным ресурсом являются результаты инструментальных наблюдений. Это в полной мере оносится к задачам геологии [Zaalishvili et al., 2014a, b; 2016].

Объектом исследования является, прежде всего, гора Машук, расположенная на территории Кавказских Минеральных Вод (КМВ). В работе впервые предлагается комплексный подход к изучению данного объекта, как с позиции традиционных методов, так и нетрадиционных (с позиции структур центрального типа (СЦТ)), с целью получения новых теоретических данных и совершенствования методологии научных исследований, на основе которых будут показаны особенности геоморфологического, геолого-тектонического строения, геодинамических и экологических условий исследуемой территории. Также в работе будут даны рекомендации по бурению скважин на термальные и минеральные воды.

Для достижения поставленной цели, в ходе исследования предлагается произвести решение следующих задач: изучить геоморфологические, геодинамические и экологические особенности района работ; провести ландшафтно-геоэкологическое районирование; произвести анализ сейсмологических данных и результатов интерпретации СЦТ; выполнить рудонефтегазогеологическое и сейсмическое районирование в пределах территории исследования.

Материалы и методы исследований

В качестве основных информационных источников использованы данные сейсморазведки, космоснимки различных масштабов, сейсмогеологические профили, структурные карты, а также многочисленные публикации по исследуемой проблеме.

В процессе исследования применялись анализ, систематизация и обобщение геологической, геофизической информации и данных по геоморфологии изучаемой территории, системно-аэрокосмический метод, включающий как классическую технологию дешифрирования и интерпретации космических снимков, так и выделение объектов на основе интерпретации структур центрального типа (СЦТ).

Результаты работы и их обсуждение

Вопросами изучения геоморфологии и тектоники занимался ряд исследователей. Основателями геоморфологии считаются немецкий геоморфолог Вальтер Пенк и американский геоморфолог Уильям Моррис Дэвис. Большой вклад в её развитие внёс основатель кафедры геоморфологии на географическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова профессор Иван Семенович Щукин. Конкретно под тектонической геоморфологией понимают одну из самых молодых отраслей геоморфологии, помогающую объединить обширные разделы геоморфологии и тектоники

[Летавин и др., 1987]. Тектоническая геоморфология имеет несколько основных направлений, в том числе: эволюция ландшафта активных окраин плит; горообразование; развитие систем активных разломов и складок; эволюция пассивных окраин, континентальных внутренних районов и поднятия плато; вулканы геоморфологии и связанные с ними особенности; палеосейсмология и оценка сейсмической опасности [Рогожин и др., 1998]; взаимодействие тектоники, климата, поверхностных процессов и полигенетических ландшафтов, а также предупреждение опасностей. [Lewis, 2022].

Геоморфологическое строение. Гора Машук высотой 993 м расположена в центральной части района Кавказских Минеральных Вод и является одной из 17 горлакколитов (названия остальных: Бештау, Железная, Развалка, Змейка, Лысая, Кинжал, Кокуртлы, Верблюд, Бык, Медовая, Кабанка (Тупая), Острая, Шелудивая, Золотой Курган, Джуца 1-я (Юца) и Джуца 2-я (Джуца)). От горы Бештау она отделяется хорошо заметной седловиной [Павлинов, 1973].

Мезоформы рельефа представлены, в первую очередь, карстовыми воронками, которые имеют развитие в пределах распространения известковых травертинов в основном северо-восточной, восточной и юго-восточной частей и прилегающих площадей горы Машук. Размер их достигает нескольких метров в диаметре, а глубина не более 3-х метров. Распределение их по площади весьма неравномерно, чаще приурочиваются к зонам трещиноватости горных пород, особенно к узлам пересечения разнонаправленных трещин. Известный «Провал» ошибочно многие исследователи относят к категории карстовых образований, что в принципе противоречит известному процессу карстообразования как процессу растворения карбонатов под воздействием именно пресных вод. Как известно, в «Провале» по тектоническому нарушению идет восходящая миграция высокоминерализованных термальных вод к поверхности с образованием травертинов карбонат-сульфатного состава. Растворение вмещающих карбонат-глинистых пород здесь маловероятно. В следующем разделе этой работы будет показан механизм образования «Провала» с тектонических позиций [Гзовский, 1975; Гниловской, 1949].

Из мезоформ рельефа особое место занимают, так называемые, гроты в скальных выходах горных пород как осадочного, так и магматического происхождения. Они имеют довольно редкое распространение, тем не менее являются особой достопримечательностью не только на горе Машук, но и в других местах КМВ. Это, в первую очередь, грот вечной мерзлоты на горе Развалка, грот Древнего Человека в пределах Селитровых скал на северо-восточном склоне горы Развалка, грот под северо-восточной частью вершины Большой Тау и многочисленные мелкие гроты и даже выемки в трахилипаритах и липаритах, слагающих горы Козьи Скалы на восточном склоне горы Бештау. К этой категории можно отнести и известную гору «Кольцо» под городом Кисловодском, так как все они образовались в результате физического выветривания горных пород различного состава и прочности: в магматических породах это своеобразные линзы трахилипаритов среди «чистых» липаритов, а в сравнительно плотных песчаниках наблюдается наличие рыхловатых разностей несколько другого состава. Как известно, под действием процессов физического выветривания рыхлые разности легко разрушаются, выносятся и таким образом образуются ниши или даже «дырки» выветривания в скальных образованиях. Под горой Машук это известные гроты Дианы, Лермонтова. Особо следует сказать о значительном отличии по комфортности грота вечной мерзлоты на горе Развалка, который, в отличие от остальных, представляет собой «естественный холодильник», функционирующий

по принципу искусственного. Здесь по зонам трещиноватости циркулируют флюиды, создавая как дроссельный эффект (формируя экзотермические условия, достаточные для постоянного замораживания воздуха), так и растворяя карбонатные породы. Кстати, под горой Бештау наблюдаются мелкие гроты в зонах тектонических разломов с характерным холодным воздухом на входе в летний период времени. Следует еще отметить, что в гроте Древнего Человека отмечаются более комфортные условия, а также в непосредственной близости находится родниковый источник пресной воды на фоне многочисленных минеральных источников в этой округе.

Геоморфологические особенности заключаются в следующем:

1. В отличие от таких гор, как Бештау, Змейка, гора Машук не имеет выраженного круглого пьедестала, а на южном ее склоне выделяется серия структурно-аккумулятивных террас, сложенных карбонатными травертинами. К зоне тектонического разлома на юго-восточном склоне приурочивается знаменитый «Провал».
2. Со стороны южного склона горы Машук выделяется особый, своеобразный пьедестал из, так называемых, травертиновых структурно-аккумулятивных террас высотой от нескольких до первых десятков метров. Они осложнены мезоформами рельефа – карстовыми воронками незначительной глубины (0–5 м) и диаметром в несколько метров.
3. Основной, уникальной особенностью на юго-восточном склоне является, так называемый, «Провал», который представляет собой наглядный пример структуры растяжения и является, по существу, сейсмодислокацией – следом катастрофического землетрясения.

Можно подытожить, что гора Машук имеет достаточно сложное геологическое строение, которое является результатом длительного формирования рельефа, обусловившего его разнообразие и уникальность.

Геолого-тектоническое строение. Вопросами геолого-тектонического строения в районе присутствия лакколитов занимался ряд ученых. Так, в одной из работ [Ryan et al., 2017] исследуется эволюция лакколита в плане и доказывается, что окончательная форма лакколита является результатом конкуренции между внутренними магматическими явлениями (например, избыточным давлением и процессом затвердевания) и состоянием внешних вмещающих пород (например, их мощностью, наличием разломов и региональных тектонических напряжений). Морфологию интрузии можно использовать в качестве логического инструмента для лучшего понимания динамики и истории внедрения.

Трещинный перенос магмы через неглубокую кору приводит к образованию магматических подводящих систем, которые представляют собой сложные взаимосвязанные сети (Thomson, 2004, Cartwright, Hansen, 2006, Magee et al., 2013, McLean et al., 2016). Отклонения и обходные пути магмы на ее пути от источника к поверхности происходят, когда магма сталкивается со значительными неоднородностями земной коры, такими как разности литологии, вариации поля напряжений и наличие ранее существовавших разломов и складок; все они могут изменять направление вертикального переноса магмы на субгоризонтальное (Hyndman, Alt, 1987, Hogan et al., 1998, Burchardt, 2008, Menand et al., 2010, Gudmundsson, 2011, Holt et al., 2014).

Машук – криптолакколит (куполовидная структура), возвышающаяся на 400 м над окружающей местностью. Ранее авторами, подробно были описаны геоморфологические особенности горы Машук (сборник материалов конференции «Актуальные проблемы наук о Земле», апрель, 2022 г).

Для геологического картографирования отдельных территорий широко исполь-

зуются технологии дистанционного зондирования и геоинформационных систем (ГИС) [Корчуганова, 2009]. На примере Ферганской впадины [Umurzakov, Rabbimkulov, 2022] с помощью материалов дистанционного зондирования (конкретно спутниковые снимки Landsat-8) для картирования структурных и геоморфологических элементов были выделены зоны разломов, линеаменты различного ранга, различные поднятия, впадины и разновозрастные структурно-вещественные комплексы [Милосердова и др., 2021]. На основе углубленного анализа геолого-геофизических данных разработана геологическая карта-схема Ферганской впадины. С использованием геологического ландшафта и автоматизированных методов дешифрирования космических снимков выделены основные неотектонические элементы Ферганской впадины: южная ступень, северный краевой склон, центральная грабен-синклиналь, флексуро-разломные зоны, локальные антиклинальные зоны, отдельные поднятия/впадины и локальные зоны сдвига. По результатам составлена неотектоническая карта района исследований, которая может быть использована в качестве тектонической основы для поисково-разведочных работ, картирования сейсмического районирования и инженерно-геологических разработок.

В работе [Gaidzik, 2021] также выделяются сейсмолинеаменты для изучения потенциально активных структур на доминирующей плите над зоной субдукции Наска в южных перуанских Андах. Результаты данного исследования подчеркивают полезность метода сейсмолинеаментного анализа в качестве инструмента для распознавания областей, подверженных потенциальным сейсмогенным разломам, которые следует изучить более подробно с использованием палеосейсмологических, геоморфологических, геодезических и геофизических методов. Они также показывают важность разломов земной коры в общей оценке сейсмической опасности [Jie et al., 2022; Volpe et al., 2022].

В районе горы Машук особо выделяются нарушения северо-восточного простирания, представленные зонами дробления с кальцитовыми жилами [Винник и др. 2021]. По результатам дешифрирования космических снимков в принципе подтверждаются вышеописанные тектонические нарушения, которые выделяются в форме линеаментов различной протяженности и образуют на исследуемой территории систему различных блоков. Особое значение имеет выделение СЦТ различного ранга, позволяющее, в результате их интерпретации, проводить рудонефтегазогеологическое и сейсмическое районирование..

В работе [Стогний и др., 2022] доказываются возможности комплексного анализа мониторинга современных геодинамических процессов и сейсмичности с помощью существующей сети станций и лабораторий Северного Кавказа. Этот анализ используется для оценки состояния геодинамического развития региона как основы при разработке методики оценки геоэкологических рисков. Авторы используют материалы GPS-наблюдений со схемой блокового строения кристаллического фундамента Большого Кавказа, составленной по данным интерпретации гравитационного и магнитного полей. Итогом данного анализа является выявление закономерной связи между направлениями векторов скорости перемещения GPS-пунктов в пределах проекций этих блоков. По нашему мнению, данный метод мониторинга современных геодинамических процессов и сейсмичности можно совместить для получения более точных результатов с методом ландшафтно-геоэкологического картирования, структурно-метрическим методом и методом интерпретации СЦТ (рудонефтегазогеологического и сейсмического районирования) с выделением суперрезонансных зон и геодинамических центров. Совмещение вышеперечисленных методов помо-

жет решить задачу поиска взаимосвязи между глубинными источниками тектонических напряжений и их возможной связи с приповерхностной геодинамикой и сейсмическим режимом, которые могли бы стать основой наиболее полного и детального геоэкологического районирования [Хаин, 1995, 2007].

Геодинамические и экологические условия. На южном склоне горы Машук были установлены четко прослеживающиеся на поверхности в меловых и палеогеновых отложениях два полукольцевых взброса, направленных параллельно друг другу [Герасимов, 1974]. Первый из них – Северный, или Главный, – имеет амплитуду 340–350 м (район озера Провал), а второй – Южный – около 120 м. Помимо этих тектонических элементов локального характера здесь же установлены многочисленные тектонические трещины северо-восточного простирания, располагающиеся параллельно друг другу и носящие региональный характер распространения.

Таким образом, наиболее вероятным путем происхождения горы Машук было поднятие вверх магматического тела (магматического диапира), образующего в целом сводовое поднятие с горизонтальным растяжением вышележащей слоистой толщи осадочных пород. Далее сформировались «провал» кровли и структура типа «грабен», то есть типичная структура растяжения, наглядным примером которой является наиболее примечательный объект на горе Машук – «Провал». Особо следует отметить, что процесс инверсии тектонических движений, как правило, сопровождается катастрофическим землетрясением, а такие структуры естественно являются своеобразными сейсмодислокациями. В других геоморфологических условиях, например, в долинах рек они образуют локальные аномальные расширения пойм, которые часто подпруживают, заполняют водой реки и образуют водохранилища различного размера. На территории КМВ такие водохранилища обустроены в городах Кисловодске и Пятигорске на реке Подкумок.

С этих позиций можно поддержать версию о постепенном во времени выдавливании лакколитов. Данный процесс происходит в том случае, когда осадочные породы под огромным давлением поднимающегося интрузивного тела – а именно вязкой, остывающей магмы – образуют диапир, имеющий форму куполообразной антиклинальной складки, которая впоследствии преобразуется и постепенно разрушается [Соболев, 1959].

Наиболее полно геодинамические условия территории исследования представляются в результате интерпретации СЦТ различного ранга, которые выделяются в результате дешифрирования космических снимков и топографических карт различного масштаба. Составлены карты-схемы рудонефтегазогеологического районирования территории КМВ и, в частности горы Машук и прилегающей территории города Пятигорска, на которых выделяются такие структуры, как зоны сжатия и растяжения, геодинамические центры, участки их наложения (резонансные и суперрезонансные зоны), а также структуры растяжения – своеобразные сейсмодислокации [Харченко и др., 2022]. Для территории КМВ проведен анализ возможных будущих очагов катастрофических землетрясений. Это такие участки на исследуемой территории, где в одном месте сочетаются или совпадают геодинамические центры и резонансные зоны сжатия [Харченко и др., 2018, 2022]. Еще важнее нахождение участков в суперрезонансных зонах (наложение на резонансные зоны растяжения резонансных зон сжатия) [Martínez et al., 2018].

Для снятия тектонических напряжений в суперрезонансных зонах и геодинамических центрах, рекомендуется бурение системы разгрузочных скважин на термальные и минеральные воды, а в отдельных благоприятных условиях (наличия

коллекторов и покрышек), бурение скважин на нефть и газ [Соколов и др., 1999]. Кроме того, в первую очередь, необходимы организация комплексного мониторинга по предвестникам землетрясений и статистический анализ катастрофических землетрясений за последние века и десятилетия для составления циклограмм, при анализе которых возможен краткосрочный прогноз (согласно закону циклов: «ритмы в циклах, циклы ритмичны») [Тяпкин и др., 2007; Pang et al., 2022].

Экологические условия территории исследования (г. Машук) не ограничиваются только сейсмической обстановкой, а существенно дополняются и другими процессами природного и антропогенного характера. Они наиболее объективно могут быть представлены на ландшафтно-геоэкологических картах различного масштаба, методы составления которых разработаны автором этой работы [Харченко и др., 2018].Примером их является карта ландшафтно-геоэкологических условий территории Республики Калмыкия, составленная в 90-е годы прошлого века, и пока что неопубликованные карты Бештаугорской площади, где ежегодно проводится геолого-съемочная практика студентов 2 курса кафедры геологии нефти и газа СКФУ.

На этих картах, кроме геологической информации, наносятся наиболее важные элементы ландшафта, в первую очередь гидросеть (постоянные и временные водотоки), по которой определяется не только современная и новейшая геодинамика, но и водосборные площади, пути миграции и площади аккумуляции загрязняющих веществ, которые имеют место на площади водосбора. Особое значение эти карты имеют для подтверждения достоверности выделения линеаментов и СЦТ.

Авторами на основе изучения природно-территориальных комплексов и основ ландшафтоведения составлено ландшафтно-геоэкологическое картирование (ЛГЭК) исследуемого участка КМВ. Для территории Бештаугорской площади составление ЛГЭК чрезвычайно актуально, так как на этой территории разрабатывалось месторождение урана и высока вероятность загрязнения радионуклидами. Вопрос состоит в том, насколько возможно загрязнение радионуклидами прилегающих территорий, в том числе города Пятигорска и горы Машук? При предварительном анализе ЛГЭК города Пятигорска, горы Машук и сопредельной Бештаугорской площади наличие временных и постоянных водотоков, которые бы «соединяли» эти площади практически отсутствует, что позволяет говорить об отсутствии загрязняющих веществ (радионуклидов), которые бы мигрировали по водотокам с Бештаугорской площади. Однако на этом нельзя успокаиваться, т.к. вполне возможна и подземная связь по зонам растяжения, которые выделяются при интерпретации СЦТ. Зоны растяжения пересекают в субмеридиональном направлении Бештаугорскую площадь и площадь города Пятигорска на юге общей территории исследования. Это наглядно показано на составленной ландшафтно-геоэкологической карте и схеме интерпретации СЦТ [Харченко и др., 2018].

В плане сейсмической опасности в городе Пятигорске следует ожидать эпицентр землетрясения, в первую очередь, в районе водохранилища на реке Подкумок, где выделяется геодинамический центр, суперрезонансная зона и структура растяжения (аномальное расширение поймы реки Подкумок). При очередной тектономагматической активизации (предвестником которой будет «пробуждение» супервулкана Эльбрус) очаги катастрофических землетрясений вероятны, опять же, в месте «Провала» и в других геодинамических центрах территории исследования. Кроме сейсмической опасности, на данной территории вероятны и проявления негативных физико-геологических процессов: затопления, подтопления, заболачивания, оползнеобразования при резком повышении уровня воды в реке Подкумок при аномаль-

ных ливнях или паводках, а также при таянии ледников вулкана Эльбрус при его активизации. На экологическую ситуацию могут повлиять в качестве источников загрязняющих веществ и многочисленные рудные залежи урана, которые вполне вероятны не только на Бештаугорской площади, но и на остальных многочисленных магматических диапирах и криптолакколитах территории КМВ, в том числе и на горе Машук. Они приурочиваются, в первую очередь, к зонам субвертикальной деструкции как в резонансных зонах растяжения, так и в зонах сжатия, а также к геодинамическим центрам.

Выводы

1. В работе показана уникальность природного объекта горы Машук и прилегающих территорий, в первую очередь, города Пятигорск с его многочисленными достопримечательностями.

2. Представлена новая теоретическая база и методология научных исследований, на основе которых доказано своеобразие геоморфологического, геолого-тектонического строения, геодинамических и экологических условий территории горы Машук и прилегающих территорий.

3. В городе Пятигорске по комплексу признаков, разработанных автором ранее [Харченко и др., 2022], прогнозируются точные места будущих катастрофических землетрясений, в первую очередь, это плотина водохранилища на реке Подкумок в городе Пятигорске. Кроме разрушения плотины и близлежащих строений вероятно затопление строений на территории высокой поймы и также первой террасы ниже по течению реки Подкумок.

4. На основе анализа сейсмогеологических данных и результатов интерпретации СЦТ представлены глубинные геолого-тектонические и геодинамические условия, что позволяет доказать приуроченность горы Машук к геодинамическому центру СЦТ, уникальность геоморфологического строения, механизм возникновения объекта «Провала» и разнообразие типов минеральных источников, а также возможность загрязнения с Бештаугорской площади радионуклидами отдельных водоносных горизонтов на исследуемой территории.

5. Гора Машук занимает центральное место на территории КМВ не только географически, но и в геолого-тектоническом плане, что наглядно подтверждается ее приуроченностью не только к выступу фундамента, но и к апикальной части зоны разуплотнения на глубине не более 10 км, а также к субвертикальному тектоническому нарушению, выходящему на дневную поверхность.

6. Глубинным строением практически объясняются геоморфологические особенности (наличие травертиновых структурно-аккумулятивных террас), многообразие минеральных источников и сейсмичность территории.

7. На основе проведенного рудонефтегазогеологического районирования территории, в целях предупреждения катастрофического землетрясения, рекомендуется организация комплексного мониторинга и бурения системы «разгрузочных» скважин на термальные и минеральные воды, а по периферии площади в благоприятных условиях (суперрезононсных зонах) также поисковых скважин на нефть и газ.

Литература

1. Герасимов И.П. Пятигорские «лакколиты» и происхождение кавказских минеральных вод. // Геоморфология. – 1974. – №3. – С. 3–13.

2. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. – М.: Наука, 1975. – 327 с.

3. Гниловской В.Г. Землетрясения Ставропольской возвышенности: Материалы по изучению Ставропольского края. Вып. №1. – Ставрополь, 1949.

4. Корчуганова Н.И., Корсаков А.К. Дистанционные методы геологического картирования: учебник. – М.: КДУ, 2009. – 288 с.

5. Летавин А.И., Орел В.Е., Чернышев С.М. и др. Тектоника и нефтегазоносность. Северного Кавказа. – М.: Наука, 1987. – 94 с.

6. Милосердова Л.В., Динцова К.И., Хафизов С.Ф., Исказиев К.О., Осипов А.В. Связь линеаментов и узлов их пересечений с нефтегазоносностью Прикаспийской синеклизы и ее обрамления. // Нефтяное хозяйство. – 2021. – №6. – С. 22–26. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-6-22-26

7. Павлинов В.Н. Общие черты строения лакколитов района Кавказских минеральных вод. – Ставрополь, 1973. – 396 с.

8. Рогожин Е.А., Солодилов Ю.В., Исмаилзаде Т.А. Тенденция развития сейсмичности Кавказа и сейсмогенерирующие зоны Ставрополья. // Разведка и охрана недр. – 1998. – №2. – С. 23-28.

9. Соболев Н.Д., Лебедев-Зиновьев А.А. и др. Неогеновые интрузивы и домезозойский фундамент района Кавказских Минеральных вод. // Труды ВИМС. – 1959. – Т. 3.

10. Соколов Б.А., Абля Э.А. Флюидодинамическая модель нефтегазообразования. – М.: ГЕОС, 1999. – 76 с.

11. Стогний В.В., Заалишвили В.Б., Пономарева Н.Л. Современная геодинамика и сейсмичность Северного Кавказа: проблемы мониторинга. Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12. №2. – С. 34–52. DOI: 10.46698/VNC.2022.25.32.003

12. Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М. Вращение Земли – единственный реальный источник энергии ее тектогенеза. // Фундаментальные проблемы геотектоники: мат-лы совещания. – 2007. – Т. 2. – С. 295–301.

13. Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии (Геология на пороге XXI века). – М.: Наука, 1995. С. 187.

14. Хаин В.Е., Полетаев А.И. Ротационная тектоника: предыстория, современное состояние, перспективы развития. // Ротационные процессы в геологии и физике. – М.: КомКнига, 2007. – С. 12–101.

15. Харченко В.М., Колядова Г.В., Галай Б.Ф., Бейтуганова М.А. Геотектоника и геодинамика структур растяжения континентов и океанов, связь с рудонефтегазоносностью и сейсмичностью. // Наука. Инновации. Технологии. – 2018. – №1. – С. 181–194.

16. Харченко В.М., Черненко К.И., Еремина Н.В., Самусев Д.Д. Некоторые закономерности формирования и распространения рифогенных построек в триасовых отложениях на территории Восточного Предкавказья в связи с нефтегазоносностью. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12. №3. – С. 133–145. DOI: 10.46698/VNC.2022.80.35.009

17. Gaidzik K., Więsek M., Seismo-lineaments and potentially seismogenic faults in the overriding plate of the Nazca-South American subduction zone (S Peru). // Journal of South American Earth Sciences. – 2021. – Vol 109. DOI: 10.1016/j.jsames.2021.103303

18. Jie Liao, Lun Li, Rui Gao, Yongqiang Shen, Jiarong Qing, Yangming Wu. Geodynamic modeling on subduction-spreading interaction and implications for the South China Sea and surrounding regions. // Geosystems and Geoenvironment. – 2023. – Vol. 2. Is. 2. – p. 100143. DOI: 10.1016/j.geogeo.2022.100143

19. Ryan M.C., Forsythe P., Grossmeier C., Laliberte M., Yagle B. Experiments on the evolution of laccolith morphology in plan-view. // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2017. – Vol. 336. – pp. 155-167. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2017.02.017

20. Volpe G., Pozzi G., Carminati E., Barchi M.R., Scuderi M.M., Tinti E., Aldega L., Marone C., Collettini C. Frictional controls on the seismogenic zone: Insights from the Apenninic basement, Central Italy. // Earth and Planetary Science Letters. – 2022. – Vol. 583. DOI: 10.1016/j.epsl.2022.117444

21. Pang G., Koper K.D. Excitation of Earth's inner core rotational oscillation during 2001–

2003 captured by earthquake doublets. // Earth and Planetary Science Letters. – 2022. – Vol. 584. DOI: 10.1016/j.epsl.2022.117504

22. Umurzakov R.A., Rabbimkulov S.A. Possibilities of mapping neotectonic elements based on the interpretation of space images: A study of Fergana Depression. // Geodesy and Geodynamics. – 2022. – Vol. 13. Is. 6. – pp. 602-608. DOI: 10.1016/j.geog.2022.06.003

23. Lewis A.O. 2.01 – Tectonic Geomorphology: A Perspective. // Treatise on Geomorphology (Second Edition). – 2022. – Vol. 2. – pp 1-12. DOI: 10.1016/B978-0-12-818234-5.00155-3

24. Martínez F., López C., Bascuñan S., Arriagada C. Tectonic interaction between Mesozoic to Cenozoic extensional and contractional structures in the Preandean Depression (23°–25°S): Geologic implications for the Central Andes. // Tectonophysics. – 2018. – Vol. 744. – pp. 333-349. DOI: 10.1016/j.tecto.2018.07.016

25. Vinnik L.P., Kosarev G.L., Makeyeva L.I., Oreshin S.I. The Caucasus and the Caspian basin: topography of deep seismic boundaries. // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. – 2021. – Vol. 57. No.4. – pp. 479-491. DOI: 10.1134/S1069351321040108.

26. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Mel'kov D.A. Instrumental geophysical monitoring in the territory of northern Caucasus. // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. – 2014a. – Vol. 50(2). – pp. 263–272.

27. Zaalishvili V.B., Mel'kov D.A. Reconstructing the Kolka surge on September 20, 2002 from the instrumental seismic data. // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. – 2014b. – Vol. 50(5). – pp. 707–718.

28. Zaalishvili V., Mel'kov D., Kanukov A., Dzeranov B. Spectral-temporal features of seismic loadings on the basis of strong motion wavelet database. // International Journal of GEOMATE. – 2016. – Vol. 10(1). – pp. 1656–1661.

References

1. Gerasimov I.P. Pyatigorsk "laccoliths" and the origin of the Caucasian mineral waters. Geomorphology. 1974. No. 3. pp. 3–13. (In Russ.)

2. Gzovsky M. V. Basics of tectonophysics. Moscow. Nauka. 1975. 327 p. (In Russ.)

3. Gnilovskoy V.G. Earthquakes of the Stavropol Upland: Materials for the study of the Stavropol Territory. Moscow. 1949. Issue No. 1. (In Russ.)

4. Korchuganova N.I., Korsakov A.K. Remote methods of geological mapping: textbook. Moscow, KDU. 2009. 288 p. (In Russ.)

5. Letavin A.I., Orel V.E., Chernyshev S.M. et al. Tectonics and oil-and-gas potential of the North Caucasus. Moscow, Nauka. 1987. 94 p. (In Russ.)

6. Miloserdova L.V., Dintsova K.I., Khafizov S.F., Iskaziyev K.O., Osipov A.V. Relationship between lineaments and nodes of their intersections with the oil and gas potential of the Caspian syneclise and its framing. Oil industry. 2021. No. 6. pp. 22–26. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-6-22-26. (In Russ.)

7. Pavlinov V.N. General features of the structure of laccoliths in the region of the Caucasian Mineral Waters. Stavropol, 1973. 396 p. (In Russ.)

8. Rogozhin E.A., Solodilov Yu.V., Ismail-Zade T.A. Seismicity development trend in the Caucasus and seismogenic zones of Stavropol. Exploration and protection of mineral resources. Moscow. 1998, No. 2, pp. 23–28. (In Russ.)

9. Sobolev N.D., Lebedev-Zinoviev A.A., Nazarova A.S. et al., Neogene intrusions and the pre-Mesozoic basement of the Caucasian Mineralnye Vody region. Tr. VIMS, Vol. 3. 1959. (In Russ.)

10. Sokolov B.A., Ablya E.A. Fluidodynamic model of oil and gas formation. Moscow, GEOS. 1999. 76 p. (In Russ.)

11. Stogny V.V., Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Ponomareva N.L. Modern geodynamics and seismicity of the North Caucasus: problems of monitoring. Geology and Geophysics of Russian South. 2022. Vol. 12. No. 2. pp. 34–52. DOI: 10.46698/VNC.2022.25.32.003. (in Russ.)

12. Tyapkin K.F., Dovbnich M.M. The rotation of the Earth is the only real source of energy

for its tectogenesis. Fundamental problems of geotectonics, materials of the meeting. Vol. 2. 2007. pp. 295–301. (in Russ.)

13. Khain V.E. The main problems of modern geology (Geology on the threshold of the XXI century). Moscow. Nauka. 1995. p. 187. (in Russ.)

14. Khain V.E., Poletaev A.I. Rotational tectonics: prehistory, current state, development prospects. Rotational processes in geology and physics. Moscow. KomKniga, 2007. pp. 12–101. (in Russ.)

15. Kharchenko V.M., Kolyadova G.V., Galai B.F., Beituganova M.A. Geotectonics and geodynamics of extension structures of continents and oceans, connection with ore and gas potential and seismicity. Science. Innovation. Technologies. 2018. No. 1. pp. 181–194. (in Russ.)

16. Kharchenko V.M., Chernenko K. I., Yeriomina N.V., Samusev D.D. Some patterns of formation and distribution of reef buildups in Triassic deposits on the territory of the Eastern Fore-Caucasus in connection with oil-and-gas potential. Geology and Geophysics of Russian South. 2022. Vol. 12. No. 3. pp. 133–145. DOI: 10.46698/VNC. 2022.80.35.009. (in Russ.)

17. Gaidzik K., Więsek M., Seismo-lineaments and potentially seismogenic faults in the overriding plate of the Nazca-South American subduction zone (S Peru). Journal of South American Earth Sciences. 2021. Vol. 109. DOI: 10.1016/j.jsames.2021.103303.

18. Jie Liao, Lun Li, Rui Gao, Yongqiang Shen, Jiarong Qing, Yangming Wu Geodynamic modeling on subduction-spreading interaction and implications for the South China Sea and surrounding regions. Geosystems and Geoenvironment. 2023. Vol. 2, Issue 2. 100143, DOI: 10.1016/j.geogeo.2022.100143.

19. Ryan M. Currier,Patrick Forsythe, Corinne Grossmeier, Michael Laliberte, Brian Yagle. Experiments on the evolution of laccolith morphology in plan-view. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 15 April 2017. Vol. 336. pp. 155–167. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2017.02.017.

20. Volpe G., Pozzi G., Carminati E., Barchi M.R., Scuderi M.M., Tinti E., Aldega L., Marone C., Collettini C. Frictional controls on the seismogenic zone: Insights from the Apenninic basement, Central Italy. Earth and Planetary Science Letters. 1 April 2022. Vol. 583. DOI: 10.1016/j.epsl.2022.117444.

21. Pang G., Koper K.D. Excitation of Earth's inner core rotational oscillation during 2001–2003 captured by earthquake doublets. Earth and Planetary Science Letters. 15 April 2022. Vol. 584. DOI: 10.1016/J.EPSL.2022.117504.

22. Umurzakov R.A., Rabbimkulov S.A. Possibilities of mapping neotectonic elements based on the interpretation of space images: A study of Fergana Depression. // Geodesy and Geodynamics. November 2022. Vol. 13. Issue 6. pp. 602–608. doi: https://doi.org/10.1016/j.geog.2022.06.003

23. Lewis A.O. Tectonic Geomorphology: A Perspective. Treatise on Geomorphology (Second Edition). 2022. Vol. 2. pp. 1–12. DOI: 10.1016/B978-0-12-818234-5.00155-3.

24. Martínez F., López C., Bascuñan S., Arriagada C. Tectonic interaction between Mesozoic to Cenozoic extensional and contractional structures in the Preandean Depression (23°–25°S): Geologic implications for the Central Andes. Tectonophysics. 2 October 2018. Vol. 744. pp. 333–349. DOI: 10.1016/j.tecto.2018.07.016

25. Vinnik L.P., Kosarev G.L., Makeyeva L.I., Oreshin S.I. The Caucasus and the Caspian basin: topography of deep seismic boundaries. Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2021. Vol. 57. No. 4. pp. 479-491. DOI: 10.1134/S1069351321040108.

26. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Mel'kov D.A. Instrumental geophysical monitoring in the territory of northern Caucasus. Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2014a. Vol. 50(2). pp. 263–272.

27. Zaalishvili V.B., Mel'kov D.A. Reconstructing the Kolka surge on September 20, 2002 from the instrumental seismic data. Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2014b. Vol. 50(5). pp. 707–718.

28. Zaalishvili V., Mel'kov D., Kanukov A., Dzeranov B. Spectral-temporal features of seismic loadings on the basis of strong motion wavelet database. International Journal of GEOMATE. 2016. Vol. 10(1). pp. 1656–1661.