

На правах рукописи

Чотчаев Хыйса Османович

ВЛИЯНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
НА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫСОКОГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА
«МАМИСОН» В СЕВЕРНОЙ ОСЕТИИ)

Специальность 25.00.36 – «Геоэкология»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Владикавказ-2021

Работа выполнена в Геофизическом институте – филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук»

Научный руководитель: **Заалишвили Владислав Борисович**
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Макеев Владимир Михайлович**
доктор геолого-минералогических наук,
ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева
Российской академии наук» (г. Москва), главный
научный сотрудник (и.о. зав лаб. эндогенной
геодинамики и неотектоники).

Стогний Валерий Васильевич
доктор геолого-минералогических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
университет» (г. Краснодар), профессор кафедры
«Геофизические методы поисков и разведки»

Ведущая организация: ФГБУН «Дагестанский
исследовательский центр Российской академии
наук» (г. Махачкала)

Защита состоится « 18 » июня 2021 года в 11.00.часов на заседании объединенного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 999.228.03 при ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр РАН», ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет» по адресу: 362027, г. Владикавказ, ул. Маркуса, д. 22.

Отзывы на автореферат (заверенные печатью, в двух экземплярах) просим направлять по адресу: 364051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр. Х. Исаева, д. 100, на имя ученого секретаря диссертационного совета Д 999.228.03 З. Ш. Гагаевой. E-mail: geodissovet@mail.ru. Факс: 8 (8712) 22-36-07.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова» и на сайтах: https://gstou.ru/science/dissertation_council/ и vak.minobrnauki.gov.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 999.228.03
кандидат географических наук



З.Ш. Гагаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. К моменту квалифицированной оценки ландшафтно-географических, природно-климатических, структурно-тектонических условий и туристско-рекреационных ресурсов площади проектируемого комплекса «Мамисон» геоэкологическая нагрузка на территорию определялась, в основном, природными факторами развития геодинамических процессов, недостаточно изученными по характеристикам воздействия, условиям проявления, взаимосвязи, механизмам протекания, темпам преобразования окружающей среды.

Территории Центрального Кавказа, освоенные как спортивно-оздоровительные, туристско-рекреационные комплексы («Романтик» – в Архызе, Домбай – в Теберде, Терскол, Чегет, Азау – в Приэльбрусье, «Армхи» – в Ингушетии, Цей в Северной Осетии) представлены осадочными, интрузивными, эффузивными, метаморфизованными комплексами и характеризуются различной степенью подверженности экзогенным геодинамическим процессам.

Площадь на юге Северной Осетии, определенная под новый туристско-рекреационный комплекс «Мамисон», в структурно-тектоническом и литологическом плане резко отличается от перечисленных выше туристско-рекреационных комплексов. Она представляет собой аккреционную Южную микроплиту-террейн со сформированной в океанических условиях литологией ритмичного переслаивания неустойчивых к разрушению пластов известняков, прослоев мергелей и известковистых песчаников и противостоящей на современном этапе геодинамической обстановки коллизии Скифской плите.

По интенсивности, разнообразию и масштабности проявления естественных геодинамических процессов, их негативному воздействию на ландшафтно-морфологические структуры и геологические условия территории геоэкологическая ситуация в горных регионах приравнивается к опасной. Вместе с тем, организация туристско-рекреационного комплекса в высокогорных условиях, где не проявлялась активная деятельность человека, будет сопровождаться интенсивными антропогенными и техногенными факторами дополнительного деструктивного воздействия на геосреду, что усилит негативные проявления геодинамических факторов.

Научно обоснованный прогноз геоэкологической эволюции, основанный на учете современной эндогенной геодинамической активности и развития различных генетических типов опасных экзогенных геологических процессов определяет **актуальность** обеспечения безопасности функционирования и развития туристско-рекреационного комплекса «Мамисон».

Цель диссертационной работы – оценка состояния геодинамической активности и долгосрочный прогноз геоэкологической эволюции территории проектируемого туристско-рекреационного комплекса «Мамисон».

Для достижения поставленной цели решались **следующие задачи:**

– анализ признаков проявления геодинамической обстановки сопряженных литосферных плит, установление пространственно-временной зависимости

интенсивного образования четвертичных отложений и опасных экзогенных геологических процессов с глубинной тектономагматической активностью;

– методологический анализ проявлений геофизических полей-индикаторов при тектономагматических процессах для обоснования методов их исследования на основе сравнительной оценки комплекса воздействующих факторов и признаков проявления опасных геологических процессов эндогенного и экзогенного характера;

– определение зон влияния активных разломов и интенсивного проявления экзогенных геологических процессов на основе скоростной модели и геоэлектрических характеристик, установление пространственной связи неотектонических проявлений трещинного типа с известными глубинными разрывными структурами территории;

– выделение основных очагов экзогенных геодинамических процессов, характеристика их уровней опасности и потенциала массопереноса на основе учета четвертичных образований, развития опасных геологических процессов и геофизических данных развития неотектонической активности и оценка их влияния на геоэкологическое состояние территории.

Объект исследований – геотектоническая структура Южной микроплиты-террейна – район планируемого туристско-рекреационного комплекса «Мамисон» в Республике Северная Осетия–Алания как перспективная территория ее экономического развития.

Предмет исследований – активность эндогенных и экзогенных геодинамических процессов, причинно-следственная зависимость геоэкологических условий от эндогенных и экзогенных процессов, факторы и признаки их проявления.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Геоэкологические изменения в исследуемом регионе вызваны интенсивным проявлением тектономагматической активности по зонам активных региональных разломов, неравномерным воздыманием отдельных участков территории при горообразовании, обуславливающих напряженно-деформированное состояние среды и её последующее разрушение.

2. Устойчивая приуроченность экзогенных процессов к тектоническим нарушениям, зонам сейсмической и неотектонической активности, повсеместно отмечаемой на всей территории, интерпретируется как результат причинно-следственной связи эндогенных и экзогенных геодинамических процессов.

3. Геофизические, геохимические, гидрогеодеформационные поля, являющиеся на исследуемой территории индикаторами геодинамических процессов и методологической основой исследований, оказывают на всех уровнях пороодо- и структурообразования долговременное влияние, формируя современную кору выветривания и обуславливая интенсивные геоэкологические изменения.

4. Геоэкологическое состояние и уровень геоэкологической нагрузки территории туристско-рекреационного комплекса «Мамисон» в связи с

незначительностью антропогенного воздействия определяется преимущественно природно-климатическими и геодинамическими процессами.

Научная новизна

1. Впервые обоснована причинно-следственная связь эндогенных и экзогенных процессов на примере территории туристско-рекреационного комплекса «Мамисон» в Северной Осетии. Установлено, что опасные экзогенные геологические процессы и связанные с ними негативные геоэкологические изменения контролируются активными тектоническими нарушениями.

2. Установлено, что эндогенные процессы сопровождаются комплексом сопутствующих признаков-индикаторов в виде геофизических, геохимических, гидрогеодеформационных полей, длительно воздействующих на горные породы на структурно-текстурном и атомно-молекулярном уровнях, которые впервые были использованы в качестве параметров алгоритма для методологического обоснования исследований геодинамических процессов и прогноза геоэкологической эволюции исследуемой территории.

3. Впервые в пределах Складчато-глыбового поднятия и Осетинской равнины на основе комплекса инструментальных наблюдений доказано существование активного Ардонского разлома как природного эндогенного фактора региональной сейсмической активности и интенсивных геоэкологических изменений.

4. Разработаны алгоритмы и выполнено ранжирование геодинамических и климатических факторов воздействия на геоэкологическую среду, и по сумме их комплексных воздействий проведено зонирование территории по уровням геоэкологической нагрузки.

5. Установлено, что уровень активности опасных эндогенных процессов и исследованный классификационный комплекс экзогенных процессов определяют геоэкологическое состояние территории, с точки зрения ландшафтно-геоморфологических изменений, в целом, опасной по геоэкологической нагрузке.

Достоверность научных положений, выводов и результатов исследования обеспечивается представительностью и надежностью исходных данных, полученных в ходе долговременных наблюдений, сопоставимостью результатов исследований и практики, использованием современных методов исследований и опытом их применения в технологически прогрессивных научных и производственных центрах.

Теоретическое и практическое значение определяется анализом состояния и развития эндогенных и экзогенных процессов в их причинно-следственной зависимости в пределах априори установленных границ современной геодинамической обстановки коллизии, обуславливающей высокий уровень активности и реализации оценок геоэкологической уязвимости природной среды на основе развития методологии оценок природных рисков, в уточнении и детализации разработанных карт развития опасных геологических процессов с учетом неотектонического проявления под покровом четвертичных отложений, что позволяет прогнозировать опасные события и своевременно исключать использование опасных участков для землепользования. Методика

выделения геодинамических и климатических факторов воздействия на геэкологическую среду, их ранжирование по интенсивностям и зонирование территории по геэкологической нагрузке, могут быть успешно использованы для любых других горных районов. Таким образом, в результате исследований решена крупная народно-хозяйственная проблема «безопасная урбанизация горных территорий».

Результаты работы использованы на стадии предпроектных изысканий по объектам: «Проект создания туристического кластера в Северо-Кавказском федеральном округе, Краснодарском крае и Республике Адыгея», «Всесезонный туристско-рекреационный комплекс «Мамисон»», «Реконструкция участка автомобильной дороги «Кавказ» Алагир - Нижний Зарамаг», проект «Строительство газопровода Дзуарикау РСО-А до г. Цхинвал РЮО» и др.

Источники информации. В основу исследования положены материалы предшествующих инженерно-геологических изысканий при проектировании объектов федерального и республиканского значений, проведенных в разные годы целым рядом исполнителей, включая автора работы.

Личный вклад автора. Автор разработал алгоритм «Факторы и признаки геэкологического воздействия на окружающую среду», алгоритм «Распознавание опасных геодинамических процессов, воздействующих на геэкологическое состояние среды», вместе с научным руководителем разработал алгоритм «Уровень геэкологических нагрузок и их ранжирование», принимал непосредственное участие в проектировании и проведении геофизических изысканий по перекрытым четвертичными образованиями участкам (сел. Лисри, Козикомдон, Земегондон), при реконструкции участка автомобильной дороги «Кавказ» Алагир-Нижний Зарамаг, при обосновании проекта трассы высокогорного перевального газопровода в РЮО и др.

Он был соруководителем и ответственным исполнителем работы в рамках направления «Физические поля, внутреннее строение Земли и глубинные геодинамические процессы», включенного правительством РФ и Российской академии наук в «Программу фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы».

Методология и методики. В основу методологического обоснования проведенных исследований положены современные теоретические и эмпирические представления о геодинамических процессах региона, их классификационное представительство на территории, структурно-тектонические и литологические особенности геологической среды, а также физико-механические, петрофизические и геохимические характеристики горных пород. В работе применялись передовые геофизические методики и технологии инструментальных наблюдений МОБЗ, МТЗ, сейсмо- и электротомографические наблюдения и программы обработки: ZondProtocol, ZondST2d, ZondST3d(МПВ), ZondRes2d, ZondRes3d, ZondRes2dp 1,0), данные площадной геологической документации масштабов 1:5000 и 1:10000, верификация геофизических данных выполнена бурением скважин, использован региональный фондовый материал, проведено обобщение данных литературных источников.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертации докладывались на 19 научных и научно-практических, в том числе, на 11 Международных и 8 Всероссийских конференциях.

По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, в том числе, в изданиях из списка Web of Science и/или Scopus – 9 и в изданиях, рекомендованных ВАК, – 11.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и 8 приложений. Общий объем работы содержит 257 (приложения в количестве стр. не входят) страниц, в том числе, 46 рисунков, 6 таблиц. Основной текст содержит 183 страницы. Список литературы включает 204 наименования.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю д.ф.-м.н., профессору Заалишвили В.Б. за научное руководство, выбор темы исследования, создание условий для работы и постоянную человеческую поддержку. Автор благодарен д.г.-м.н., профессору Параде С.Г. за полезные рекомендации по теме диссертации, Гончаренко О.А. за долгие годы совместной работы, включая исследования на рассматриваемой территории. Автор признателен Тавасиеву Р.А. за предоставленные фотографии, к.т.н. Канукову А.С., к.т.н. Харебову К.С. к.т.н. Мелькову Д.А., к.г.н. Бурдзиевой О.Г. соавтору по многим профильным статьям и другим коллегам за участие в исследованиях и техническую помощь на всех этапах работы над диссертацией.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы исследования, определены цели, решаемые задачи, объект и предмет исследования, сформулированы основные защищаемые положения, приведены научная новизна, теоретическое и практическое значение результатов исследования.

В первой главе проведен анализ современного состояния исследуемой проблемы, показано развитие геодинамических процессов и их влияние на геоэкологическое состояние территорий в контексте опасных геологических процессов, происходящих в геосферах Земли и проявляющихся на границе литосферы и атмосферы.

Во второй главе дано методологическое обоснование исследований, в основе которых лежат современные теоретические положения и данные экспериментальных исследований о классификационных типах геодинамических процессов на территории, структурно-тектонических и литологических особенностях аккреционной структуры Южной микроплиты-террейна, в комплексе физико-механических и петрофизических характеристик пород (Заалишвили, Чотчаев, 2016). Важнейшей характеристикой геодинамических объектов является их напряженно-деформированное состояние, влияющее на их физические параметры, петрофизические свойства пород и гидрогеодеформационное (ГГД) поле Земли.

Следствием глубинной геодинамики являются термальные источники, минеральный состав которых несет информацию о литологических особенностях

каналов транзита, о приуроченности энергетического очага к литосферным горизонтам или мантийной среде.

Установлена методологическая эффективность наблюдений за процессами электромагнитного излучения (ЭМИ) при сейсморазрядках, возникающих за счет дислокаций в напряженно-деформированных средах (Малышков, Джумабаев 1987). Наиболее высокочастотная часть спектра ЭМИ (электромагнитное излучение) соответствует дислокациям типа трещин и непротяженных тектонических нарушений (Чотчаев, Колесникова, 2018). Тектоническое проявление сопровождается спектром электромагнитных импульсов.

Наблюдается пространственная приуроченность гравитационных обрушений к блокам высокой и очень высокой геодинамической активности, контролируемых узлами зон разломов кавказского простирания и разломами большего порядка меридионального простирания.

Одним из нарушений кавказского простирания является Сырхубарзондский разлом, пересекающий долину карового ледника Колка продольно. Разлом является северным ограничением реликтового рубца (сутуры) и продолжением на восток Главного Кавказского надвига. Разлом предположительно связан с камерой стратовулкана Казбек и продолжает служить каналом разгрузки поствулканических газов и флюидов остывающего массива, что служит одним из объяснений четырех исторически документированных случаев схода ледника Колка с интервалами от 30–70 и до 150 лет. Зона поражения последнего схода, произошедшего 20 сентября 2002 года, с многочисленными людскими жертвами, оценивается как геозекологическая катастрофа (Zaalishvili, Melkov, 2014).

Влияние геоморфологических условий на интенсивность формирования экзогенных процессов зависит от способности элемента рельефа разрушаться и условий накопления формами рельефа эрозионного материала (Katharina Ktern et al., 2012). Эффективным методологическим фактором оценки состояния объектов экзогенных процессов является зависимость петрофизических свойств рыхлых отложений от механических напряжений, что использовано при интерпретации данных наблюдений методами электротомографии и преломленных волн.

Обвальнo-осыпные и оползневые массивы характеризуются собственными частотами колебаний, отличающихся от микросейсмического фона подстилающих коренных пород. Подобные наблюдения необходимы для массивов, характеризующихся признаками статической неустойчивости, которая проявляется в виде трещин, поперечных продвижению оползня, следов тылового отрыва, увеличения высоты массива по фронту, поддвигания фронтальной подошвенной части под массив.

Методологическое решение достигается соответствием используемого комплекса геофизических методов физическим особенностям геологических объектов. Так, при оценке характеристик каменных глетчеров и накоплений склонового генетического ряда (десерпций, дерупций, оползневые и осыпные накоплениями, солифлюкция) мощностью 10–12 м наиболее оперативным и эффективным оказался метод геолокационного зондирования, поскольку параметр диэлектрической проницаемости указанных геологических объектов

резко контрастен относительно величины диэлектрической проницаемости коренных пород. Алгоритмы распознавания опасных геодинамических и атмосферно-климатических процессов, воздействующих на геоэкологическое состояние высокогорных ландшафтов, приведены на рис. 1.

Методологические аспекты комплексной геолого-геофизической оценки воздействия геодинамических процессов на геоэкологическое состояние окружающей среды уточнялись и обобщались на основе данных многолетних исследований. Методологической основой геоэкологии являются системный анализ и многофакторный (синергетический) подход к изучению геосреды.

В третьей главе рассмотрены особенности четвертичных отложений и состояние природно-климатических образований. Четвертичные отложения характеризуют литологический состав материнских пород, уровень эндогенной геодинамической активности, степень развития опасных экзогенных процессов и, в целом, геоэкологическое состояние территории. Основной состав четвертичных образований относится к позднему голоцену, верхнему неоплейстоцену-голоцену, верхнему и среднему неоплейстоцену и представлен ледниковыми накоплениями, пролювием крупных конусов и моренами.



Рисунок 1 Алгоритмы распознавания опасных геодинамических процессов, воздействующих на геоэкологическое состояние высокогорных ландшафтов

Регион характеризуется высокой степенью опасности развития экзогенных процессов, прежде всего эрозии, которая широко развита по всей площади, особенно по разрывным тектоническим нарушениям и зонам их влияния. Здесь отмечены все виды эрозионных процессов: плоскостной смыв, струйная эрозия, боковая эрозия и вертикальная (овражная). Наиболее интенсивные геоэкологические изменения отмечаются за счет повсеместного плоскостного смыва четвертичных отложений. В связи с этим склоны, при крутизне всего 25-30°, на отдельных участках полностью обнажены на высоту до 120-150 м.

Регион является одним из наиболее селеопасных участков Центрального Кавказа за счет расчлененного рельефа, современного оледенения, высокой сейсмичности, огромных запасов рыхлообломочного материала. Пораженность селями составляет около 50% и может оцениваться категориями опасной и весьма опасной (Шеко, 1980).

Наблюдения за селями в 2014-2014 гг. в бассейнах рек Мамисондон и Зруг показывают устойчивый рост числа селей и их суммарного объема.

Зависимость объема селей от их числа и продолжительности наблюдений за период 2004–2014 гг. можно описать следующим выражением ($R^2=0,76$), имеющим линейный характер (Чотчаев и др., 2020):

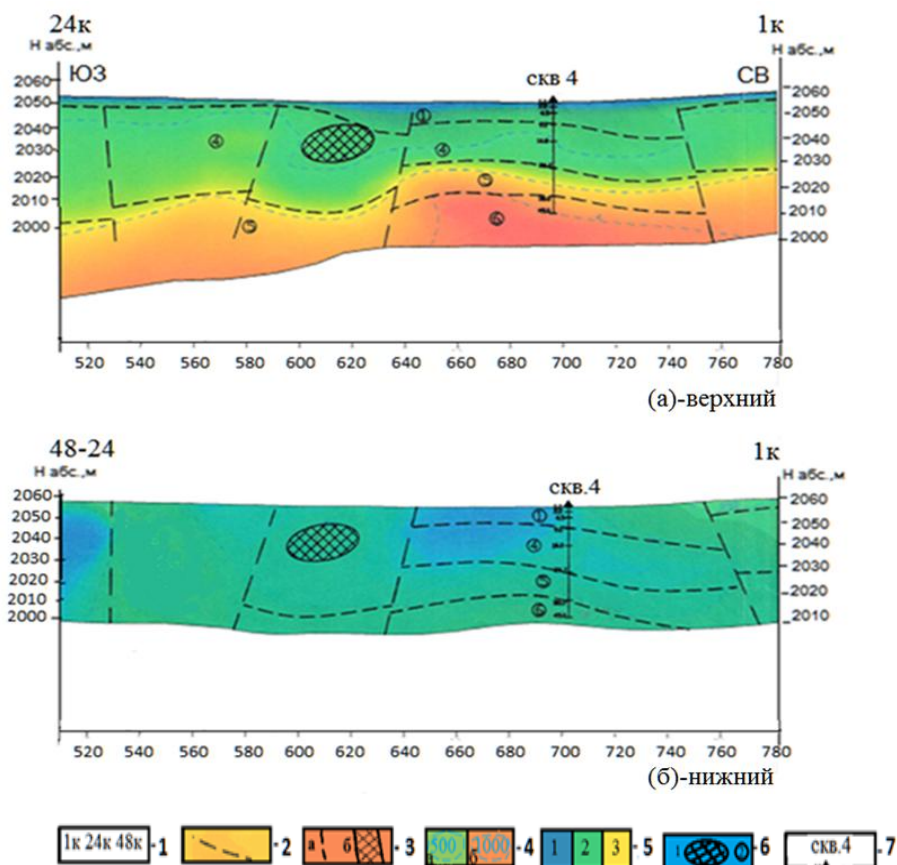
$$V=3,3Y+42 N-3,0. \quad (1)$$

где V – объем селя, в тыс. куб. метров; N – число селей в год; Y – год.

На территории развиты обвально-осыпные процессы, обусловленные целым рядом факторов: активные геодинамические процессы, характерные для территорий, расположенных на стыках мегаплит; механизмы работы трещин бортового отпора, особенно в высокогорной зоне с резкими суточными перепадами температур, сейсмические воздействия до 9 баллов, разрядка которых в горных условиях обуславливает обрушение крупных блоков скальных и рыхлых пород. Обвально-осыпные процессы протекают в зонах концентрации тектонических нарушений, отчетливо проявляющихся в сейсмических и электрических полях (рис. 2). Оползневые накопления распространены в пределах песчано-глинистых отложений юры в бассейнах рек Бубудон, Ручатдон, Лагатком. Из более 200 изученных оползневых массивов, 120 находятся в бассейнах рек Ардон, Заккадон, Мамисондон, Адайкомдон и Цейдон и классифицируются как активные оползни.

В условиях узких циркообразных долин, когда имеет место переброс снежной массы на другой борт, лавины значительно меняют геоэкологическую ситуацию и представляют высокую опасность. Выделено 388 очагов лавин лоткового типа с потенциалом выброса 5–150 тыс. куб. метров, при этом 27 лавин могут угрожать инфраструктуре комплекса.

Площадь, занятая ледниками, активными каменными глетчерами и древними каменными глетчерами составляет 19 км² или 13% всей территории и включает: 36 ледников, 46 активных каменных глетчера и 34 древних каменных глетчера, 39 озер ледниковой природы. Ледниковые подвижки крайне опасны для биоценоза и разрушительны с точки зрения геоэкологии.



1 – номера каналов сейсмических и электротомографических кос; 2 – границы горизонтов, дифференцируемые по скорости продольных волн и удельному электрическому сопротивлению; 3 – разрывные нарушения по данным сейсмопрофилирования (а) – верхний и электротомографии (б)- нижний; 4 – удельные электрические сопротивления: а – в четвертичных образованиях, б – в коренных породах; 5– Скорости продольных волн: 1 – в четвертичных образованиях; 2 – в современной коре выветривания; 3 – в дислоцированных коренных породах; 6 – карстовые проявления (1), номера дифференцируемых слоев (2); 7 – скважины буровые для инженерно-геологических изысканий.

Рисунок 2 Блоковое тектоническое дробление дочетвертичного основания и карстовое проявление по данным сейсморазведки: (а) – верхний и электротомографии (б) нижний. Участок Козыком-Згил, профиль 2-200-1

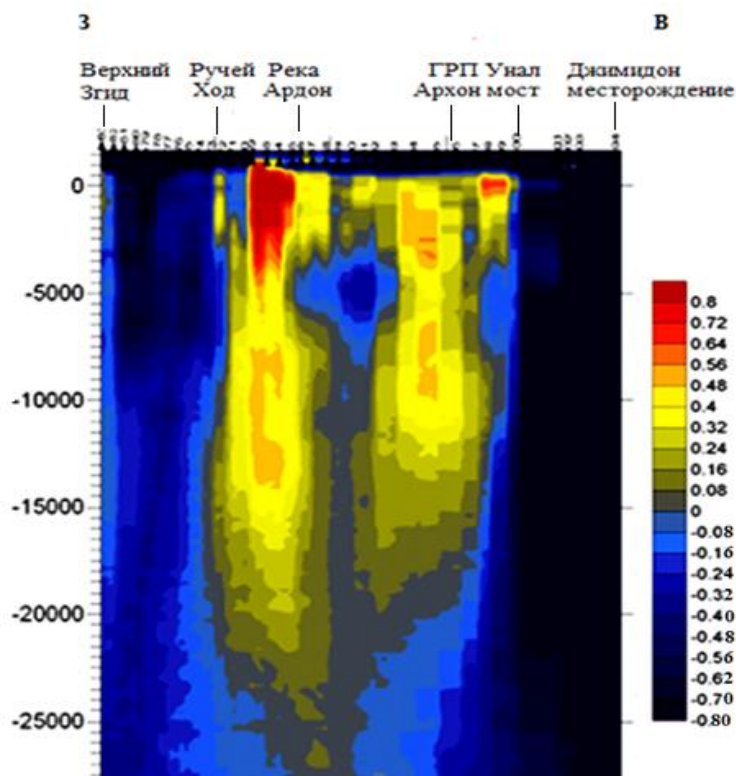
В условиях глобального потепления и отступления ледников, на обнаженных приледниковых площадях вдоль основных нарушений кулисообразно им развиваются трещины протяженностью порядка 100 м. Подвижка ледника или глетчера в условиях геоморфологии Южной микроплиты может иметь последствия, сопоставимые с последствиями схода ледника Колка 20 сентября 2020 года.

В четвертой главе рассмотрены эндогенные геодинамические процессы на территории проектируемого туристско-рекреационного комплекса «Мамисон» и дана оценка моделям геотектоники Центрального Кавказа по данным глубинных геофизических исследований методами обменных волн землетрясений (МОВЗ), магнитотеллурического зондирования (МТЗ), гравиметрии, магнитометрии вдоль ряда региональных профилей (Заалишвили, Чотчаев, 2016), анализа результатов

иерархического дифференцирования блоковых структур мегасвода Большого Кавказа, типизации и трассирования основных шовных зон, выделения новейших активных тектонических нарушений и сейсмогенерирующих структур Центрально-Кавказской сеймотектонической области (Несмеянов, 1997; Аверьянова и др., 1996; Осипов, Викторов, Несмеянов, 2012). Результаты этих исследований являются важным шагом в установлении закономерностей пространственного распределения литолого-стратиграфических и структурно-тектонических элементов Скифской плиты.

В разрезе Геналдонского профиля вулкан Казбек не подтверждается дифференцируемыми элементами действующего либо спящего вулканического аппарата (магматическая камера, жерло, магматический очаг) по аналогии с вулканическими элементами вулкана Эльбруса (Шемпелев и др., 2020).

Ардонский разлом (рис. 3), упомянутый в отчете по гравиметрической съемке (Квят, Тибилев, 1976) как возможная региональная структура, впервые подтвержден инструментально (Заалишвили, Чотчаев, 2016). При этом использовались методы микросейсмического зондирования (ММЗ) (Горбатиков, Цуканов, 2011), высокоточная гравиметрия и магнитометрия по наблюдениям на двух профилях через структуры складчато-глыбового поднятия мегасвода Большого Кавказа и Осетинской впадины.



Тоновая шкала отклонений V_{SP} от сглаженной модели региональной скорости V_{SP}
 Скоростная модель геологического разреза в интерпретации ММЗ.
 Рисунок 3 Ардонский разлом по данным метода микросейсмического зондирования

Ардонский разлом на пересечении с Владикавказским разломом контролирует зону ВОЗ (Чотчаев, Колесникова и др., 2019), где вблизи города Алагира 12.04.2018 г. и 26.04.2018 г. произошли землетрясения $M=3,6$ и $M=2,3$, а в исторической летописи фиксировались события в этом районе в 1877, 1879, 1915, 1955, 1956 годах.

На пересекающих структуру Большого Кавказа разрезах глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ) (Краснопевцева, Кузин, 2009; Заалишвили и др., 2015) границы между блоками выделяются по коротким осям синфазности и точкам дифракций волны на тектонических ступенях, что свидетельствует о блоковой структуре разреза и разрывной тектонике. Граница Мохо под платформенной частью Скифской плиты располагается на глубине 37–40 км, в то время как под орогеном Большого Кавказа она опускается до глубины >50 км, образуя прогиб. Основной рой очагов землетрясений располагается на глубинах до 25 км.

Из дизъюнктивных нарушений наиболее крупными являются разломы, ограничивающие Мамисон-Казбекскую сутуру. Главный надвиг и Сырхубарзондский разлом, прослеживаемые по данным МОВЗ и МТЗ (Шемпелев, 1978; Шемпелев, Чотчаев, 2017), с севера, Адайком-Казбекский разлом – с юга. Мамисон-Казбекский реликтовый рубец маркирует современное взаимодействие континентальных плит.

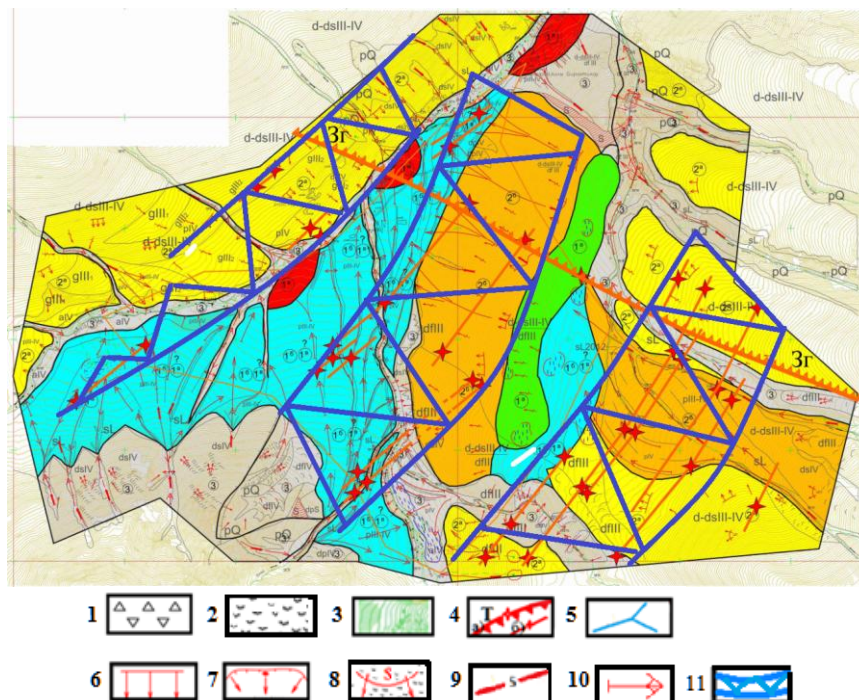
В пятой главе рассмотрено современное геоэкологическое состояние территории проектируемого комплекса «Мамисон» и основной тренд его эволюции. Рассмотрены результаты инструментальных исследований геофизическими методами тектонического строения территории под покровом четвертичных образований.

На схему районирования региона по степени опасности геологических процессов дополнительно вынесены региональные нарушения: Главный, Саухохский, Згилский, Халацинский, Тибский, Северный Нарский Адайком-Казбекский, Главный Кавказский надвиг (рис. 4).

Для количественной оценки геоэкологического воздействия геодинамических факторов сделана выборка всех проявляющихся геодинамических и климатических факторов с той или иной интенсивностью воздействия, в качестве которого рассматривается способность того или иного фактора к ускорению денудации пород, развитию четвертичных отложений, опасных геологических процессов и, в конечном счете, ускоренному изменению геоэкологической обстановки.

Максимальный ранг воздействия отдельного фактора устанавливался на основе методологии экспертных оценок (Гольцман, 1976, 1980, Заалишвили, 2001, 2014).

Пусть на геоэкологическую ситуацию воздействует N факторов. При этом интенсивность в один ранг соответствует наименьшему влиянию данного фактора на геоэкологическое состояние, а уровень 5 ранга – наибольшему.



- 1 – обвальные накопления; 2 – оползневые накопления; 3 – ледники;
 4 – тектонические нарушения: а – региональные, б – нарушения трещинного типа, выявленные геофизическими методами; 5 – линии канатных дорог;
 6 – плоскостной смыв; 7 – очаги постоянного формирования обвалов;
 8 – солифлюкция площадная; 9 – разрывы сейсмодислокационного типа;
 10 – селевые потоки; 11 – зоны тектонического влияния и повышенной геозкологической нагрузки

Рисунок 4 Схема районирования деревни Зруг по степени опасности геологических процессов с тектонической накладкой

Для расчета риска R реализации воздействия использовалось следующее соотношение (Чотчаев и др., 2021а):

$$R = W \times D \quad (2)$$

где: W – суммарное, максимально возможное воздействие всех учтенных факторов $W = \sum W_{\max i}$, ранг;

D – уязвимость или геозкологическое состояние конкретной локальной площадки, ранг.

R_i – риск проявления воздействия отдельного фактора W_i и реакция локальной площадки на воздействие данного фактора D_i , соответственно, $R_i = W_i \times D_i$, ранг.

$$R = \sum R_i \quad (3)$$

Необходимо отметить, что при оценке весового вклада геодинамического фактора, элемент субъективизма присутствует, однако чем больше факторов

используются в комплексе, тем более суммарная ошибка за субъективизм приближается к минимуму.

По комплексу геодинамических факторов, наблюдаемых на территории проектируемого комплекса, разработаны две таблицы (табл. 1, 2). В таблице 1 приведены количественные характеристики воздействий, обусловленных различными факторами на геоэкологическое состояние площадки. В таблице 2 приведены результаты ранжирования рисков потенциала воздействий по уровням их проявления.

Таблица 1 – Количественные характеристики воздействий геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий

№ п/п	Виды воздействия	Уровень воздействия			
		Слабый	Средний	Высокий	Регрессионный
1	2	3	4	5	6
1	Землетрясения в ближней зоне (R=50км), сейсмическая интенсивность, баллы	<6	6-7	7-8	8-9
2	Зона активного нарушения (плотность нарушений, в км/км ²)	0,01	0,02	0,03	0,04
3	Зона пересечения субширотных и субмеридиональных нарушений от одного до четырех и выше (пересечение), N	1	2	3	>3
4	Зона развития трещинной тектоники, км/км ²	0,03	0,05	0,07	>0,07
5	Зоны, подверженные воздействию статических геофизических, геохимических полей в радиусе действия событий: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50, R, км	3	4	5	6
6	Зоны проявления событий сейсмодислокаций в пределах структурного блока, N	1	2	3	>3
7	Распространение четвертичных отложений в интервалах высот, H, м	1700-2000	2000-2300	2300-2600	>2600
8	Коренные породы мягкие (до 50 МПа), обнаженность, проценты	40	50	60	>60
9	Базис эрозии 1000 м и более, на высотах от 2000 и выше, с учетом оледенения, h, м	2000-2500	2500-3000	3300-3500	3500-4000

10	Базис эрозии 500 м на высотах от 1500 и выше, h, м	1500-1700	1700-1800	1800-1900	1900-2000
11	Базис эрозии до 500 м на высотах от 1500 м и ниже, h, м	1300-1500	1100-1300	1000-1100	>1000
12	Рельеф с углами наклона до 15 ⁰ по генетическим типам грунтов, процессы	обвалы-осыпи	морены	сели	оползни
13	Рельеф с углами наклона 15-20 ⁰ по генетическим типам грунтов, процессы	обвалы-осыпи	обвалы-осыпи	сели	оползни
14	Рельеф с углами наклона >20 ⁰ по генетическим типам грунтов, процессы	обвалы-осыпи	обвалы-осыпи	сели	оползни
15	Мощность четвертичных отложений 0-5 м, при разных углах наклона рельефа, град	12-15	15-20	20-25	>25
16	Мощность четвертичных отложений 5-12 м, при различных углах наклона рельефа, град	12-15	15-20	20-25	>25
17	Мощность четвертичных отложений более 12 м, при различных углах наклона рельефа, град	12-15	15-20	20-25	>25
18	Сели за год, объемом от 10 тыс. м ³ и более, N	1	3	5	>5
19	Оползни за год, объем, V, м ³	10	50	100	>100
20	Обвалы – осыпи, объем, V, тыс.м ³	75	100	150	>150
21	Плоскостной смыв, на один км ² , S, км ²	0,05	0,07	0,10	>0,10
22	Эрозионная деятельность рек «боковая эрозия», l, м/час	1,0	2,5	4,0	>4,0
23	Солифлюкция при мощности захвата процессом по вертикали, h, м	1,0	2,0	4,0	>4,0
24	Струйная эрозия на склонах с углами рельефа, град	20	25	30	>30
25	Карстообразование, проявления на км ² площади, N	1	2	3	>3
26	Лавины, за год, N	1	2	3	>3
27	Ледники и глетчеры, события паводкового типа, за год, N	1	2	3	>3

Таблица 2 – Ранжирование потенциала воздействий геодинамических процессов на геозкологическое состояние высокогорных территорий

№ п/п	Виды воздействия	Весовой рейтинг воздействия, W_{maxi}	Риск R_i проявления воздействия фактора W_i на площадку и уязвимость D_i к нему			
			Слабый	Средний	Высокий	Регрессивный
1	2	3	4	5	6	7
I Факторы эндогенного воздействия						
1	Землетрясения в ближней зоне ($R=50$ км), сейсмическая интенсивность, ранг	5	1	2	3,5	5
2	Зона активного нарушения (плотность нарушений, в км/км ²), ранг	3	1	1,5	1	3
3	Зона пересечения субширотных и субмеридиональных нарушений от одного до четырех и выше (пересечение), N, ранг	4	1	2	3	4
4	Зона развития трещинной тектоники, км/км ² , ранг	5	1	2	3,5	5
5	Зоны, подверженные воздействию статических геофизических, геохимических полей в радиусе действия событий: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50, R, км, ранг	2	1	1	2	2
6	Зоны проявления событий сейсмодислокаций в пределах структурного блока,	3	1	2	3	3

	N, ранг					
II Литологические факторы						
7	Распространение четвертичных отложений в интервалах высот, Н, м, ранг	3	1	1,5	2	3
8	Коренные породы мягкие (до 50 МПа), обнаженность, проценты, ранг	3	1	1,5	2	3
III Геоморфологические факторы						
9	Базис эрозии 1000 м и более, на высотах от 2000 и выше, с учетом оледенения, h, м, ранг	4	4	3	2	1,5
10	Базис эрозии 500 м на высотах от 1500 и выше, h, м, ранг	3	1	1,5	2	3
11	Базис эрозии до 500 м на высотах от 1500 м и ниже, h, м, ранг	2	1	1,5	2	2
12	Рельеф с углами наклона до 15 ⁰ по генетическим типам грунтов, процессы, ранг	3	1	1,5	2	3
13	Рельеф с углами наклона 15-20 ⁰ по генетическим типам грунтов, процессы, ранг	2	1	1,5	2	2
14	Рельеф с углами наклона >20 ⁰ по генетическим типам грунтов, процессы, ранг	2	1	1	2	2
IV Факторы экзогенного и природно-климатического характера						
15	Мощность четвертичных отложений 0-5 м, при разных углах наклона рельефа, град, ранг	2	1	1	1,5	2
16	Мощность четвертичных отложений 5-12 м, при различных углах наклона рельефа, град, ранг	3	1	1	2	3

17	Мощность четвертичных отложений более 12 м, при различных углах наклона рельефа, град, ранг	3	1	1,5	1,5	3
18	Сели за год, объемом от 10 тыс. м ³ и более, N, ранг	5	2	3	4	5
19	Оползни за год, объем, V, м ³ , ранг	3	1	1,5	2	3
20	Обвалы – осыпи, объем, V, тыс. м ³ , ранг	4	1,5	2	3	4
21	Плоскостной смыв, на один км ² , S, км ² , ранг	3	1	1	2	3
22	Эрозионная деятельность рек «боковая эрозия», l, м/час, ранг	4	1,5	2,5	3	4
23	Солифлюкция при мощности захвата процессом по вертикали, h, м, ранг	3	1	1,5	2,5	3
24	Струйная эрозия на склонах с углами рельефа, град, ранг	3	1	1,5	2,5	3
25	Карстообразование, проявления на км ² площади, N, ранг	3	1	1,5	2	3
26	Лавины, за год, N, ранг	5	2	3	4	5
27	Ледники и глетчеры, события паводкового типа, за год, N, ранг	4	1,5	2,5	3	4
28	Сумма максимальных воздействий факторов $W = \sum W_{maxi}$ и суммы рисков $R = \sum Ri$, ранг	95	34,5	48,0	64,0	91,5
29	Уязвимость $D = R/W$ или геоэкологическое состояние площадки	1	0,363	0,505	0,674	0,964

Ранжирование исследуемой территории и округа (порядка 400 кв. км) по 27 геодинамическим факторам эндогенного, экзогенного и природно-климатического характеров выполнено по площадкам (квадраты 2x2 км²), всего 105 квадратов, классифицированных по уровням их геоэкологической нагрузки,

позволило составить карту-схему зонирования геоэкологической уязвимости территории к комплексу факторов (рис. 5).

Геоэкологическая нагрузка на квадрат оценивается по отношению набранной для исследуемой площадки суммы рисков ΣRi рангов к возможной сумме максимально установленных рангов воздействия ΣW_{max} , участвующих в процессе геоэкологического преобразования геодинамических факторов.

Максимальный суммарный уровень воздействий всех факторов (сумма весовых рейтингов события) при их одновременном наличии составляет 95 рангов. Эта величина будет уменьшаться на весовой уровень геодинамического фактора, не участвующего в процессе. Зонирование проведено на основе учета отношений, которые классифицированы в 4 группы: 0-0,40 – нагрузка слабая; 0,40-0,55 – нагрузка средняя; 0,55-0,70 – нагрузка высокая и выше 0,70 – нагрузка регрессивная (Чотчаев и др., 2021а).

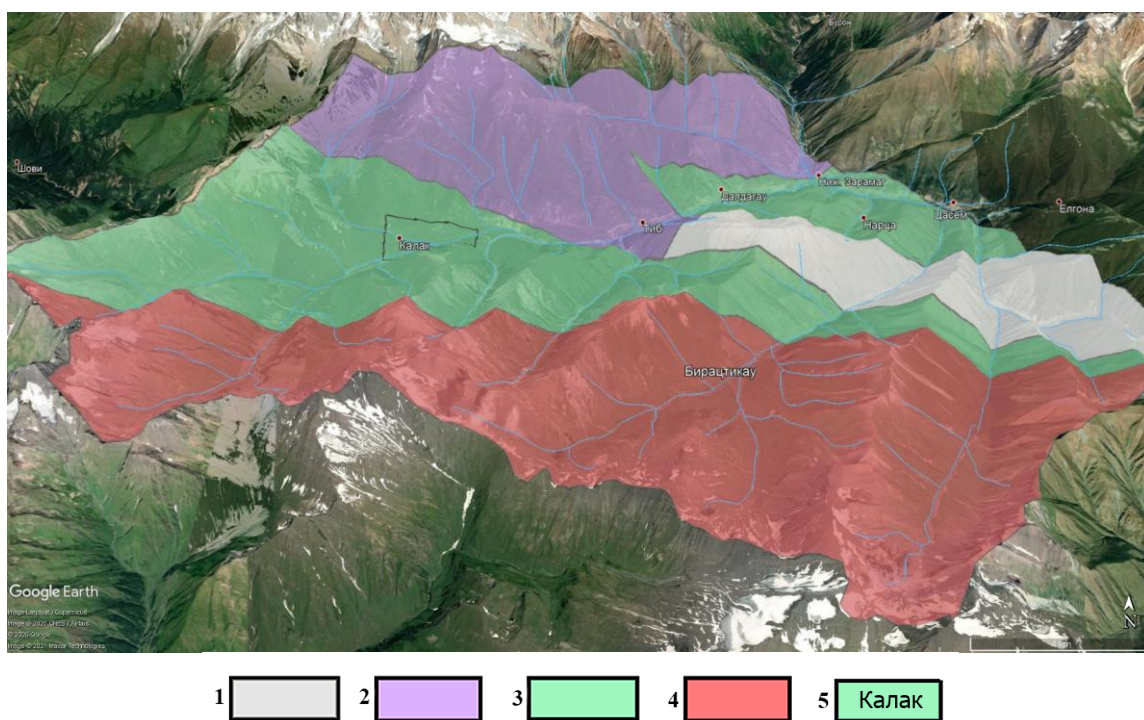


Рисунок 5 Карта-схема зонирования геоэкологической нагрузки территории туристско-рекреационного комплекса «Мамисон».

Уровни геоэкологической нагрузки, обусловленные геодинамическими воздействиями:

1 – слабый; 2– средний; 3 – высокий; 4 – регрессивный. 5 – участки строительства деревень

При зонировании территории по степени геоэкологической нагрузки использованы данные блоковой дифференциации территории и развития активных тектонических нарушений (Несмеянов и др., 2003) Казбекского сегмента мегасвода Большого Кавказа и современная неотектоника, выявленная под покровом четвертичных отложений геофизическими исследованиями (Чотчаев и др., 2020).

Геодинамические и климатические факторы, формирующие воздействия на геосреду, создают опасность чрезмерной нагрузки и нарушения ее равновесной эволюции (рис. 6).

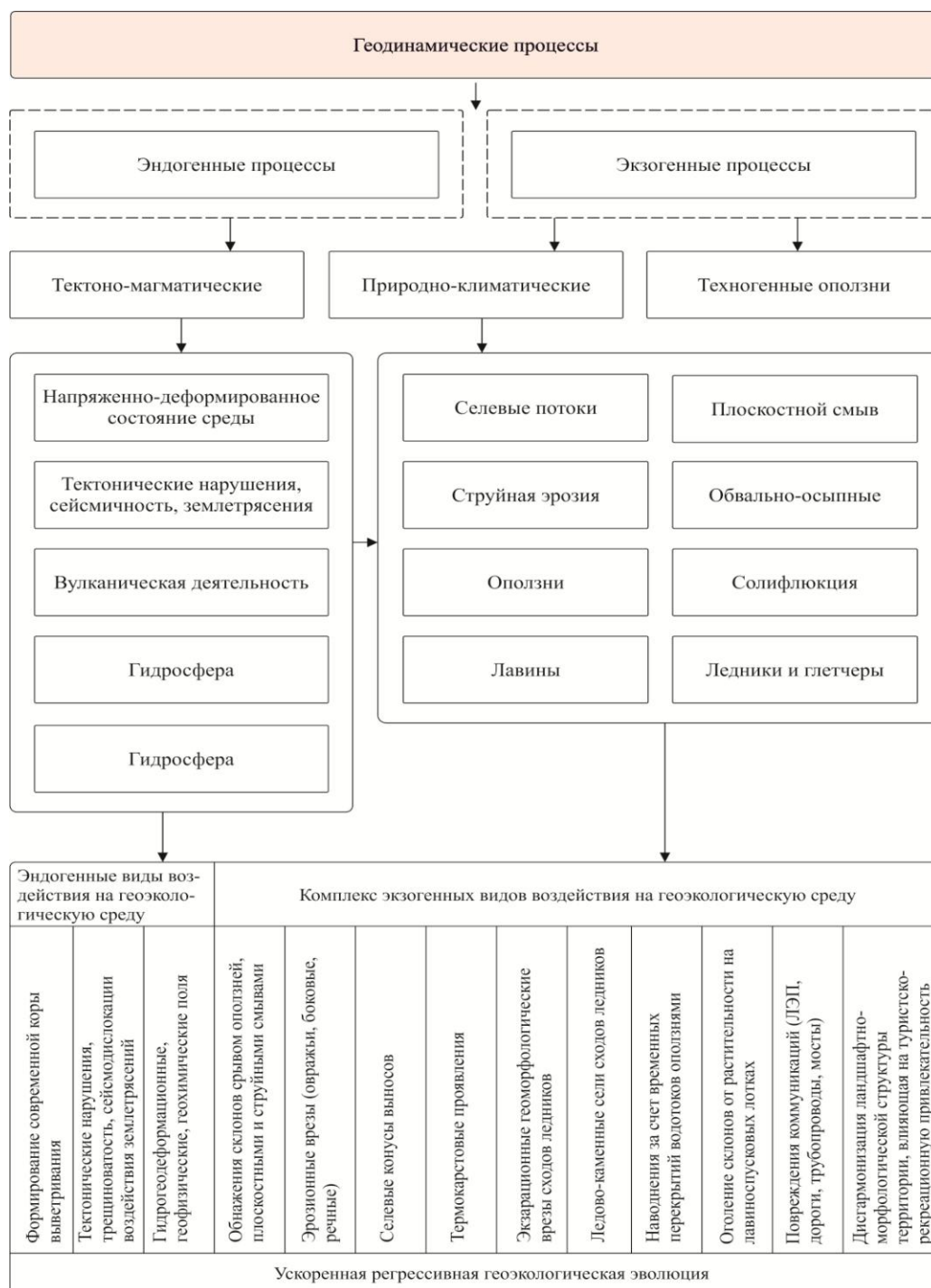


Рисунок 6 – Воздействие геодинамических процессов, осложненных природно-климатическими факторами, на геозоологическое состояние высокогорных территорий

Для Мамисонского узла алгоритмы взаимосвязей геодинамических процессов составлены в предположении одновременного многофакторного или однофакторного воздействия на геозоологическую ситуацию

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Причинно-следственная зависимость развития экзогенных геологических процессов и геоэкологических изменений от активности эндогенных процессов в работе является авторской концепцией и находит подтверждение в устойчиво выраженной пространственной связи эндогенных и экзогенных процессов.

2. Геодинамическая активность выражается дислоцированностью пород в зоне коллизии, дифференцированной геоморфологией, повышающей общую гравитационную энергию пород над базисом эрозии и скоростью прироста горообразования, которая нивелируется интенсивными денудационными процессами и развитием четвертичных отложений, являющихся основой опасных экзогенных геологических процессов, воздействующих на геоэкологическую среду.

3. Признаки-индикаторы механического, геохимического, геофизического, гидрогеологического характера, сопутствующие геодинамическим факторам, использованы в качестве методологической основы установления и локализации геодинамических факторов путем решения прямой или обратной задач.

4. Сели, одни из самых распространенных и опасных экзогенных геологических процессов, имеют циклический характер проявления. При этом цикл за период с 2004 по 2014 гг. характеризуется линейностью зависимости объема, выносимого селями рыхлого материала, от их числа и продолжительности периода наблюдения, что может служить основой для среднесрочного прогнозирования событий в течение цикла.

5. Геофизические методы показали высокую эффективность при выделении региональных разломов, проявлений неотектонической активности, выраженных развитием трещинной тектоники, и зон сейсмодислокаций.

6. Впервые в пределах Складчато-глыбового поднятия и Осетинской равнины на основе комплекса инструментальных наблюдений доказано существование активного Ардонского разлома как природного эндогенного фактора региональной сейсмической активности и интенсивных геоэкологических изменений.

7. Разработана методика оценки геоэкологического состояния объектов, подверженных экзогенным геологическим процессам, и подстилающих их пород инструментальными наблюдениями за микросейсмическим режимом.

8. Установлены характерные геодинамические процессы и дана оценка их уровню воздействия с учетом геологических, литологических, эндогенных, экзогенных, геоморфологических условий и факторов природно-климатического характера развития, ранжированных по их максимальным расчетным воздействиям на геоэкологическую ситуацию, сумма которых представляет потенциал ожидаемой геоэкологической нагрузки на единицу площади.

9. Для Мамисонского узла алгоритмы взаимосвязей геодинамических процессов составлены в предположении одновременного многофакторного или однофакторного воздействия на геоэкологическую ситуацию

10. На основе полученных данных составлена карта-схема зонирования территории туристско-рекреационного комплекса «Мамисон», включающая четыре зоны с различными величинами геоэкологических нагрузок.

11. Геоэкологическое состояние территории до проектных решений организации туристско-рекреационного комплекса «Мамисон» определяется активностью естественных природных процессов, практически без влияния, каких-либо техногенных и антропогенных факторов.

12. Геодинамические и климатические факторы влияния на геосреду создают опасность чрезмерной геоэкологической нагрузки и нарушения ее равновесной эволюции при антропогенных воздействиях, что необходимо учитывать при проектировании.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертационной работы:

В изданиях из списка Web of Science и/или Scopus:

1. Чотчаев Х.О. Тектоническая раздробленность и геодинамический режим вулканов Эльбрус и Казбек (Центральный Кавказ, Россия): Результаты глубинных геофизических исследований / Шемпелев А.Г., Заалишвили В.Б., Чотчаев Х.О., Шамановская С.П., Рогожин Е.А. // Геотектоника. 2020. №5. С. 55-69.

2. Чотчаев Х.О. Модель поддерживаемого развития горных территорий Северного Кавказа / Бурдзиева О.Г., Чотчаев Х.О., Маммадли Т.Я. // Устойчивое развитие горных территорий. 2016. Том 8. № 4. С. 348-358.

3. Чотчаев Х.О. Опасные геологические процессы на территориях экономического освоения в горной части Республики Северная Осетия – Алания / Чотчаев Х.О., Оганесян С.М., Гончаренко О.А. // Устойчивое развитие горных территорий. 2017. Том 9 № 3 (33). С. 195-210.

4. Чотчаев Х.О. Сейсмическая обстановка на территории г. Алагир (Республика Северная Осетия-Алания) / Чотчаев Х.О., Колесникова А.М., Гогмачадзе С.А., Фидарова М.И. // Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Том 11. № 4 (42). С. 505-518.

5. Khyisa Chotchaev. Natural endogenous factors of geoeological transformation of the mountain part of North Ossetia / Khyisa Chotchaev, Vladislav Zaalishvili and Boris Dzeranov. 07025 E3S Web of Conferences. Vol.164 (2020) Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016407025>.

6. Khyisa Chotchaev. Geodetic, geophysical and geographical methods in landslide investigation: Luar casestudy / Vladislav Zaalishvili, Khisa Chotchaev, Dmitry Melkov, Olga Burdzieva, Boris Dzeranov, Dmitry Melkov, Olga Burdzieva, Boris Dzeranov, Aleksandr Kanukov, Inga Archireeva, Akhsarbek Gabaraev and Laura Dzobelova. 01014. E3S Web of Conferences Volume 164 Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016401014>.

7. Чотчаев Х.О. Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий / Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. // Геология и геофизика Юга России. 2020. №4. С. 165-180.

8. Чотчаев Х.О. Зонирование высокогорных территорий по геоэкологическим нагрузкам, обусловленным геодинамическими и климатическими воздействиями / Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. // Геология и геофизика Юга России. 2021а. №1 (11). С. 81-94. DOI: 10.46698/VNC.2021.15.66.007.

9. Чотчаев Х.О. Активная динамика техногенного оползня на левом борту реки Ханикомдон (Северная Осетия) / Чотчаев Х.О., Мельков Д.А., Гананати Г.П. // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Том 13. №1 (47). С. 66-76. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-66-76.

II в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Чотчаев Х.О. Признаки геодинамической обстановки и элементов структурно-вещественных комплексов Центрального Кавказа на глубинном разрезе Геналдонского профиля / Заалишвили В.Б., Чотчаев Х.О. Шемпелев А.Г. // Геология и геофизика Юга России 2018. № 4. С. 58-74.

2. Чотчаев Х.О. Классификация естественных электромагнитных полей. Исследования методом теллурических токов / Заалишвили В.Б., Чотчаев Х.О. // Геология и геофизика Юга России. 2016. № 2. С. 27-35.

3. Чотчаев Х.О. Комплексный анализ геологических данных и скоростной модели ММЗ на разрезах Центрального Кавказа / Заалишвили В.Б., Чотчаев Х.О. // Геология и геофизика Юга России. 2016. №4. С. 52-67.

4. Чотчаев Х.О. Физические поля как производные деформации горного массива и технология их мониторинга/ Чотчаев Х.О., Колесникова А.М., Майсурадзе М.В., Шепелев В.Д. // Геология и геофизика Юга России. 2018. № 4. 2018. С. 179-190.

5. Чотчаев Х.О. Геоморфология как признак наследственности структурных особенностей земной коры / Чотчаев Х.О., Заалишвили В.Б., Невский Л.Н., Шемпелев А.Г. // Геология и геофизика Юга России. 2016. №1. С. 141-158.

6. Чотчаев Х.О. Генетические типы экзогенных геологических процессов, характерных для горных территорий Центрального Кавказа и состояние качества подземных пресных / Чотчаев Х.О., Невская Н.И., Невский Л.Н. // Геология и геофизика Юга России. 2016. №2. С. 97-116.

7. Чотчаев Х.О. Структурно-вещественные комплексы как индикаторы геодинамических обстановок на примере Восточной части Центрального Кавказа / Чотчаев Х.О., Шемпелев А.Г., Трофименко С.Н., Забирченко Д.Н. // Геология и геофизика Юга России. 2018. №4. С. 191-209.

8. Чотчаев Х.О. Данные глубинных геофизических исследований вдоль Чегемского профиля (Центральный блок, Большой Кавказ) / Шемпелев А.Г., Чотчаев Х.О., Кухмазов С.У. // Геология и геофизика Юга России. 2017. №2. С. 129-134.

9. Чотчаев Х.О. Структура Большого Кавказа – результат пологого надвига земной коры Скифской плиты на консолидированную кору микроплит южного Кавказа / Шемпелев А.Г., Кухмазов С.У., Чотчаев Х.О., Невский Л.Н. // Геология и геофизика Юга России. Владикавказ. 2015. № 4. С. 129-145.

10. Чотчаев Х.О. Тектоническая предопределенность Хаилинского землетрясения на Юго-Западе Корякского нагорья / Яроцкий Г.П., Чотчаев Х.О. // Геология и геофизика Юга России. 2016. №4. С. 129-140.

11. Чотчаев Х.О. Вулканогены окраинных орогенных поясов Северо-Западного сектора Северо-Восточной Азии / Яроцкий Г.П., Чотчаев Х.О. // Геология и геофизика Юга России. 2019. Т.9. №3. С. 18-35.

РИНЦ