

УДК 551.2.01-551.3.053

DOI: [10.46698/VNC.2020.87.26.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.87.26.005)

Оригинальная статья

Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий

Х. О. Чотчаев , **О. Г. Бурдзиева** , **В. Б. Заалишвили** 

Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук,
Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а,
e-mail: chotho@yandex. ru

Статья поступила: 13.10.2020, после рецензирования: 30.10.2020, принята к публикации: 11.11.2020

Резюме: Научно обоснованный прогноз геоэкологической эволюции территорий на основе анализа причинно-следственной зависимости эндогенных и экзогенных процессов является **актуальной задачей** обеспечения безопасности рекреантов и планирования долгосрочного развития высокогорных туристско-рекреационных комплексов. **Цель исследований** – долгосрочный прогноз геоэкологической эволюции территории на основе факторов геодинамического развития и их признаков в геофизических полях. Для достижения поставленной цели решались **следующие задачи:** анализ современных представлений о влиянии эндогенных геодинамических процессов на изменения природной среды горных территорий и определение геодинамической концепции геоэкологической зависимости; методологическое обоснование проявлений геофизических полей-индикаторов тектономагматических процессов и выбор методов их исследования, выделение зон активных разломов и неотектонических проявлений. Использованы материалы исследований **методами** обменных волн землетрясений, гравимагнитометрии, микросейсмического зондирования, электротомографии, преломленных сейсмических волн, геолокации. В качестве **результатов** исследований делается вывод, что геоэкологические изменения вызваны неотектоникой трещинного типа в приледниковых зонах активных глубинных разломов из-за неравномерного воздымания отдельных участков территории при горообразовании, обуславливающего напряженно-деформированное состояние среды, концентрацию гравитационной энергии и последующее разрушение коренных пород приледниковых зон. Установлено, что механические, физические и геохимические поля, как неотъемлемые признаки-индикаторы проявлений и основа методологических обоснований исследований геодинамических процессов, оказывают долговременное влияние на породы на всех уровнях породообразования, формируя современную кору выветривания, и обуславливая интенсивное накопление четвертичных отложений. Определен режим среднестатической геоэкологической эволюции территории, который определяется соотношением скоростей прироста гор и темпов денудации. Делается вывод, что комплекс сопутствующих признаков – индикаторов представляют собой абиотические факторы геоэкологической среды, особого биотопа, где зарождается определенная популяция биоценоза с эндемической зависимостью к этим условиям.

Ключевые слова: туристско-рекреационный комплекс, глубинные разломы, неотектоника, геодинамические процессы, геоэкология, геофизические методы, долгосрочный прогноз.

Для цитирования: Чотчаев Х. О., Бурдзиева О. Г., Заалишвили В. Б. Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий. *Геология и геофизика Юга России*. 2020. 10 (4): 70 – 100. DOI: [10.46698/VNC.2020.87.26.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.87.26.005).

DOI: [10.46698/VNC.2020.87.26.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.87.26.005)

Original paper

Influence of geodynamic processes on the geoecological state of high mountain areas

Kh. O. Chotchaev^{id}, O. G. Burdzieva^{id}, V. B. Zaalishvili^{id}

Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 93a
Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation, e-mail: chotho@yandex. ru

Received: 13.10.2020, revised: 30.10.2020, accepted: 11.11.2020

Abstract: A scientifically established forecast of the geoecological evolution of areas based on the analysis of the causal relationship of endogenous and exogenous processes is a **relevant task** of ensuring the safety of vacationers and planning the long-term development of high-mountain tourist and recreational complexes. **Aim.** The aim of the research is a long-term forecast of the geoecological evolution of the area based on the factors of geodynamic development and their signs in geophysical fields. To achieve this goal, the following **tasks** were solved: analysis of modern ideas about the impact of endogenous geodynamic processes on changes in the natural environment of mountain areas and the definition of the geodynamic concept of geoecological dependence; methodological substantiation of the manifestations of geophysical fields-indicators of tectonomagmatic processes and the choice of methods for their study, identification of zones of active faults and neotectonic manifestations. **Methods.** Materials of research by methods of converted waves of earthquakes, gravimagnetometry, microseismic sounding, electro-tomography, refracted seismic waves, geolocation were used. **Results.** As a result of the research, it is concluded that geoecological changes are caused by fracture neotectonics in the periglacial zones of active deep faults due to uneven uplift of certain parts of the territory during mountain building, which causes the stress-strain state of the environment, the concentration of gravitational energy and the subsequent destruction of the bedrock of the periglacial zones. It has been determined that mechanical, physical and geochemical fields, as integral indicators of manifestations and the basis of methodological substantiation of studies of geodynamic processes, have a long-term effect on rocks at all levels of rockforming, creating the modern weathering crust, and causing an intensive accumulation of Quaternary sediments. The mode of average static geoecological evolution of the area is defined. It is determined by the ratio of the growth rates of mountains and the rates of denudation. One can draw a conclusion that the complex of accompanying signs-indicators is abiotic factors of geoecological environment, a special biotope, where a certain population of biocenosis with endemic dependence to these conditions arises.

Keywords: tourist and recreational complex, deep faults, neotectonics, geodynamic processes, geoecology, geophysical methods, long-term forecast.

Для цитирования: Chotchaev Kh. O., Burdzieva O. G., Zaalishvili V. B. Influence of geodynamic processes on the geoecological state of high mountain areas. *Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.) 2020. 10 (4): 70 – 100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005.

1. Современные представления о роли эндогенных геодинамических процессов в геоэкологической эволюции территорий альпийской складчатости

Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние территорий рассматриваются в контексте геологических процессов, происходящих в гео-

сферах Земли и оказывающих влияние на геоэкологическое состояние на границе литосферы и атмосферы.

Геодинамическая опасность (эндогенные и экзогенные процессы) – угроза, обусловленная геологическими процессами эндогенного и экзогенного характера, определяемая как вероятность проявления определенного события или комплекса событий на заданной территории с прогнозируемой силой и в течение заданного интервала времени.

При катастрофических проявлениях природных процессов (сильнейшие землетрясения 1906 г. в Сан-Франциско, Газлийское 1976 и 1984 гг. с магнитудами более 7 и Тяньшанское в 1976 г. магнитудой 8,2 (по шкале Рихтера), гигантский скальный обвал объемом в 2,2 млрд. куб. м с высоты более 5000 м в 1911 г. на Памире, перекрывший реку Бартанг и создавший на высоте 3255 м над уровнем моря Сарезское озеро площадью 70 x 3,3 кв. км, высокогорный оползень в китайской провинции Ганьсу с более 30 тыс. человеческих жертв, падение ледника с вершины горы Уаскарана в Перу с 60 тыс. человеческих жертв, катастрофический сход ледника Колка в Геналдонском ущелье в республике Северная Осетия-Алания, РФ – 114 человеческих жертв) меняется геоэкологическая среда обитания, которая регрессирует, теряет многие виды органоминерального состава (абиотические факторы), из-за чего часть биоценоза погибает [Muir Wood, 1987], а часть пытается приспособливаться к новой геоэкологической обстановке (давление, температура, влажность, физические и геохимические поля). При этом происходят локальные изменения ландшафта, которые не подлежат восстановлению или требуются десятилетия на реабилитацию, но в любом случае для микро- и фитоценоза это уже иная геоэкологическая среда, адаптация к которой требует изменения в самой системе организации микроорганизмов и растений [Heads, 2018; Flavio, Ribeiros, 2011; Duvillard et al., 2015; Evans et al., 2009]. Так, например, землетрясение 1906 года в Сан-Франциско сопровождалось смещениями грунта вдоль разлома Сан-Андреас на расстояние до 6,0-8,5 м.

Кинематику в геодинамическом режиме планеты характеризуют литосферные плиты, а их динамику определяет энергетический баланс Земли. Несмотря на то, что внутреннее тепло Земли составляет всего около 0,02% против 99,8% поставляемого Солнцем Земле, вся солнечная энергия расходуется на прогрев первых десятков метров поверхностного слоя (далее солнечное тепло не успевает проникнуть из-за смены дня и ночи, при этом в ночное время Землей вся эта энергия излучается практически полностью обратно в космос [Аплонов, 2001; Хаин, Ломизе, 2005]. Это означает, что энергетический баланс создается самой Землей и источником для этого служит геотермия Земли (наименее верифицированный параметр, характеристики которого определяются на основе теоретических расчетов, математического моделирования физических явлений при сверхвысоких давлениях), однако самый важный из физических полей, так как распределение тепла в Земле прямо или косвенно определяет почти все проявления тектонической, магматической и вулканической активности.

Уточненная модель энергетического обеспечения эндогенной геодинамической активности внутриплитных структур, наблюдаемой на дневной поверхности (разрывные нарушения, вулканизм, сейсмичность, магматизм, рудообразование, термальные источники) [Астафьев, 2016], объясняет природу мелкофокусных очагов землетрясений и тектонические нарушения высоких порядков. Проявление эндо-

генных геодинамических процессов происходит исключительно за счет внутренней энергии Земли, восполняемой за счет теплопотока конвектирующей мантии [Лобковский, Котелкин, 2000; Yuen et al., 2007] либо магмофлюидодинамической системой конвективных ячеек, представляющих собой ансамбли коромантийных плит. Системы пронизывают активные тектонические области и пояса, а также слой D и внешние слои жидкого ядра, обеспечивающие встречный погружению восходящий магматизм в поясах и областях субдукции-дайвинга и под формирующимися рифтами на континентах [Астафьев, 2007; Boyet et al., 2003].

Концепция двухъярусной тектоники плит [Лобковский, Котелкин, 2000; Астафьев, 2016] заключается в обдукции верхнего слоя континентальной коры при субдукции литосферных плит, т. е. одновременном протекании геодинамических обстановок субдукции и континентальной коллизии – первая для литосферных плит по классической схеме субдукции, вторая – для верхнего слоя континентальной плиты. По своей сути концепция двухъярусной тектоники представляет собой альтернативный контракционной гипотезе сценарий горообразования. Концепция объясняет причины утолщения земной коры, формирования горных хребтов и высоких плато, повышенный тепловой поток, миграцию сейсмоактивности, механизм отторжения и аккреции чужеродных блоков (террейнов).

Важнейший источник внутреннего тепла Земли – энергия глубинной гравитационной дифференциации, т. е. выделение тепла при перераспределении вещества Земли по плотности при его химических и фазовых превращениях. Выпадение железоникелевой составляющей жидкого ядра на границе с твердым ядром сопровождается выделением эквивалентного количества тепла [Сорохтин, Ушаков, 1993; Пушаровский, 2004]. Другим источником генерации тепла [Баркин, 1996] представляется вековой дрейф центра масс Земли, обусловленный движением плит и за счет барицентра с Луной, что создает эксцентриситет во внешнем ядре в процессе суточного вращения Земли, что способствует мощной генерации тепловой энергии, отвод которой осуществляется конвективным процессом в группировках коромантийных секторов, и это является важной составляющей силы, движущей литосферные плиты.

Активный тектогенез, дислоцированность, напряженность, трещинообразование, флюидопоступление, сейсмичность, магматизм, теплообмен, геохимические и геофизические поля – это все агенты, нарушающие структурные связи пород, повышающие пористость, способствующие интенсивному выветриванию и активизации эрозионных процессов, влияющие на эволюцию биоты, ограниченной определенным пространством [Trewick, 2017].

Исходя из принципа наименьшей энергии системы, геодинамический процесс следует рассматривать как единственное решение самой системой возникшего энергетического дисбаланса. С этой точки зрения человечество имеет какое-то представление о способах разрядки планетой избыточной своей энергии, но не знает, как проявляется в природе недостаток энергии, и бывает ли вообще недостаток энергии у Земли.

Эндогенная активность является причинным фактором активизации экзогенных процессов и одним из признаков этого является устойчивая приуроченность последних к тектоническим нарушениям и узлам разноранговых разрывных структур, очаговым зонам сейсмической и вулканоплутонической активности [Яроцкий, Чотчаев, 2016; 2019], отмечаемая всеми исследователями на всем пространстве развития Альпийской складчатости.

Состояние активности эндогенной геодинамики проявляется линейными глубинных тектонических нарушений кавказского простирания (контролирующие выходы минеральных источников), проявлениями землетрясений, складчатой дислоцированностью массива, трещиноватостью, геохимическими и геофизическими полями, сейсмичностью и особой индикационной характеристикой активного состояния – сейсмодислокациями.

Уровень воздействия на геоэкологическую среду эндогенных и экзогенных геодинамических процессов характеризуют широко развитые по площади различные генетические типы четвертичных образований, формирующие многочисленные очаги экзогенных опасных геологических процессов [Zaalishvili et al., 2019].

Рельеф местности, являясь структурой эндогенного проявления, отображает многие элементы тектонической деятельности, выраженные в геоморфологии.

Структура геоморфологии дает четкое представление о порядке взаимодействия между элементами поверхности и тектоническими процессами, а также об особенностях влияния климатических условий [Bull, 1991; Bull, McFadden, 1977; Keller, Pinter, 2002; Burbank, Anderson, 2001; Peters, Van Balen, 2007]. На основании этих работ делается вывод, что исчерпывающее изучение геоморфологических характеристик позволяет прогнозировать изменение ландшафта и эволюцию речной системы в результате тектонической деятельности.

Основными энергопроводящими каналами являются межблочные коровые тектонические нарушения, в процессе внедрения по которым магмафлюидная струя может проявиться по-разному: может внедриться интрузией, сместить блоки, создав условия для землетрясений, вырваться наверх и извергнуться вулканом.

Тектонический разлом связывает литосферу с атмосферой со всеми вытекающими последствиями транзита газов и растворенных элементов в восходящем и нисходящем режимах. В нисходящем потоке в литосферу поступает кислород за счет органических веществ биосферы. В восходящем потоке растворенные элементы и летучие компоненты вместе с ювенильными и мантийными водами перемещаются вверх за счет энергии конвективного течения мантийных струй.

По тектоническим нарушениям поднимаются к дневной поверхности растворимые и летучие элементы геохимических ореолов скрытых месторождений, пересекаемых разломом, которые могут содержать пары тяжелых и радиоактивных элементов.

Вся гамма наблюдаемых циклических знакопеременных и трендовых движений свидетельствует, что основным свойством геологической среды, особенно в разломных зонах, является нахождение ее в непрерывном движении. Движение выступает как форма существования геологической среды. В связи с этим роль и место современной геодинамики трудно переоценить в фундаментальной сфере наук о Земле, но еще более важна ее роль в решении практических задач по обеспечению безопасности объектов, связанных с освоением территорий с активной неотектоникой.

Активный разлом означает наличие связи с энергетическим очагом, т. е. проявления напряжений, деформаций, сейсмичности, присутствие изменяющихся по амплитуде импульсных электромагнитных полей, геохимических ореолов, на молекулярном уровне разрушающих геосреду и являющихся абиотическими факторами для фито- и микробиоценоз.

Различные авторы по-разному интерпретируют понятие «активный разлом». Так, к примеру, [Несмеянов, 2004] активность разлома оценивается по степени воздействия на инженерное сооружение, что следует понимать как прикладную интер-

претацию (хотя тектоническое воздействие может быть соизмеримо с гравитационной осадкой сооружения, что не означает отсутствие активности у разлома). Разные исследователи активность разлома оценивают по времени последнего проявления в интервале от голоцена [Allen, 1975] до порядка 400 тыс. лет [Никонов, 1994] или предлагают ограничить интервал активного проявления разлома сроком 100-150 тыс. лет [Трифонов, Караханян, 2008].

Активность разлома, по мнению автора, может выражаться не только динамическим воздействием, но и проявлениями аномальных механических, геофизических и гидрогеодеформационных полей, геохимическим воздействием на современную кору выветривания и ослаблением структурно-текстурных связей, потерей инженерных свойств пород, благоприятствующие интенсивному развитию экзогенных процессов, нарушению ландшафта, созданию очагов опасных экзогенных процессов, оголению склонов, уничтожению растительности.

По оценке новозеландских и южноамериканских экологов негативное воздействие тектонических нарушений на такую важную экосистему, как лесные массивы на территориях Чили и Новой Зеландии, может быть сопоставимо с влиянием пожаров [Veblen et al., 2016].

Продвижение вверх сингенетических и ювенильных вод и летучих компонентов из коровых пород и восходящих мантийных струй по тектоническим нарушениям и зонам трещиноватости происходит до определенного давления, удовлетворяющего уравнению (Менделеева-Клаиперона) состояния идеального газа $p=RT/V$ (p -давление, R -универсальная газовая постоянная, T -температура газа, V -объем газа), где они, смешиваясь с пластовыми водами, временно повышают уровень гидросферы. После разрядки эндогенной энергии происходит обратный отток и восстановление ювенильных вод уже иного минерального состава. Этим достигается их круговорот в системе гидросферы. В этот круговорот вовлекаются поверхностные загрязненные и руднично-скважинные техногенные воды гидросферы. Без эндогенной деятельности такой круговорот был бы невозможен и в этом одна из многих геодинамических экологических функций литосферы.

Подъем уровня подземных вод и изменение их минерального состава в период развития эндогенного воздействия, используемый как способ краткосрочного прогнозирования землетрясений, здесь рассматривается с позиции элементного соотношения минерального состава до и после события, позволяющее увязать энергетический очаг с определенным уровнем литосферы и верхов мантии.

Анализ комплекса динамических и физико-химических показателей, сопровождающих землетрясения как формы проявления геотектонической активности в виде физико-механических, геофизических, геохимических, гидрогеодинамических полей в зонах активных нарушений позволяет прогнозировать площади активизации экзогенных геологических процессов. При этом закономерная приуроченность к активным разломам очагов экзогенных опасных геологических процессов может быть использована для решения обратной задачи трассирования тектонических нарушений на закрытых участках и палеорекоконструкций землетрясений, связанных с определенными разломами по сохранившимся эрозионным накоплениям, что очень важно для прогнозирования эндогенного воздействия.

Прогноз землетрясения на Южном острове Новой Зеландии по Альпийскому глубинному разлому с 85% вероятностью магнитуды 8 единиц по шкале Рихтера должен будет активизировать оползень, площадь воздействия которого достигнет площади на более чем 30000 км², и переместит свыше 1,0 млрд. м³ грунта. Заили-

вание рек на площади более 125 км² может составить 3 м. [Robinson et al., 2013]. Воздействие такого масштаба экзогенного процесса на геоэкологическую среду будет иметь катастрофические последствия для всего острова и реабилитация его затянется на долгие годы.

Постледниковый этап активного геодинамического воздействия отчетливо проявляется на участках абляции ледников, где обнажаются активные глубинные разломы. В их пределах, в виде коротких разрывов трещинного типа, возникают нарушения, кулисообразно расположенные к глубинному разлому, и составляющие с ними единые линеаменты, ориентированные согласно орогену. Эти нарушения возникают не за счет землетрясений, а как остаточные деформации в периоды сейсмического затишья. Наблюдения в Швейцарских Альпах показали, что максимальной скорости подъема поверхности (1,6 мм/год), подвержены участки последними сбросившие ледяной панцирь [Persaud, Pfiffner, 2004].

Восстановлением изостатического равновесия за счет таяния ледников, из-за мелкомасштабности ледового фактора, вряд ли можно объяснить процесс подъема поверхности, но согласно принципу всеобщей связи событий исключать его из рассмотрения нельзя.

Другая модель предполагает подъем поверхности (рост гор) за счет активного тангенциального сжатия орогена в меридиональном направлении и его деформируемость, возникающая при сложных превращениях эндогенной энергии Земли в механические перемещения литосферных плит, в региональные глубинные тектонические разрывы земной коры и внутриблоковые нарушения, в катастрофические землетрясения.

В зоне Главного надвига были проведены специальные исследования методом визуальной дендроиндикации нетипичных фенотипических изменений за рядом ценообразующих пород деревьев – береза повисшая (*Betula pendula*), б. Литвинова (*B. litwinowii*) и б. Радде (*B. raddeana*); клён Траутфеттера (*Acer trautvetteri*), бук восточный (*Fagus orientalis*), сосна Коха (*Pinus kochiana*) и фотоиндикация последствий схода ледника Колка [Вьюхина, 2008; Вьюхина и др., 2013; Комжа, Заалишвили, 2014], показавшие присутствие в пределах зон тектонических нарушений аномальные воздействия геофизических полей, выразившиеся в превышении уровня абберации хромосомов (АХр) в клетках меристематической ткани эдификаторов.

Эндемики активных тектонических зон отмечаются в разных частях Земного шара. Приводятся данные, указывающие на обмен ихтиофауной между верховьями реки Рио-Токантинс и ее речными стоками Рио Парагвай, Рио-Парана, Рио-Сан-Франциско и Рио-Сингу. Все виды рыб, встречающиеся в этих притоках и в верховьях самой реки, относятся к родственным таксонам, а сами приведенные водоемы располагаются в активной тектонической зоне [Flavio, Ribeiros, 2011].

На основании исследований ареала распространения растения *Simplecia* делается вывод, что оно является эндемиком для активного тектонического нарушения *Veihemo* (Otaho) между Западной и Восточной провинциями [Heads, 2018].

Влияния землетрясений и извержений вулканов на экосистемы хорошо отслеживается на примере трансформаций деревьев, что может быть использовано для определения палеоземлетрясений [Muir Wood, 1987].

Маркирующими факторами проявления эндогенных геодинамических процессов в первую очередь являются землетрясения, глубинные разломы, зоны трещиноватости, сейсмодислокации, рост гор.

Индикаторами проявления геодинамических процессов являются аномальные отклонения характеристик механических геофизических, геохимических полей, изменчивый состав и содержания минеральных элементов в пластовых водах в пространственно-временной зависимости от эндогенного сеймотектонического события, эманации радона.

Новейшими проявлениями глубинных геодинамических процессов являются сеймотектонические разрывы – прямые признаки 8-10 балльных сейсмоударов, имевших место в голоцене. Часто по новейшим сейсмодислокациям смещаются современные формы рельефа (гребни, контрфорсы, балки, желоба и пр.).

Как правило, сейсмодислокации тяготеют к основным крупнейшим тектоническим разрывам. Максимальная их концентрация на территории Мамисонкого узла фиксируется по Тибскому и Нарскому разломам. По протяженности и ширине полосы развития Нарская зона новейших сеймотектонических разрывов не имеет себе равных на всем Северном Кавказе.

Выводы

1. Существующие модели обеспечения и проявления энергетического баланса Земли разработаны на основе соответствия физическим и химическим законам, основополагающим постулатам геологических наук о геосферном формировании и вещественном содержании Земли, фактических данных о геотектонических, вулканических, магматических структурах, установленных на базе инструментальных наблюдений.

2. Структурами – индикаторами, регистрирующими характерные особенности воздействия глубинной геодинамической энергии на геоэкологическую среду, являются проявления геодинамической обстановки, горообразования, вулканизма, тектонических разрывных нарушений, землетрясений в виде локальных зон возникновения очагов, сейсмодислокаций, динамические воздействия в виде дислокаций, влияние физических полей и геохимических ореолов и, наконец, экзогенные последствия на геоэкологическую среду эндогенной геодинамической активности (практически полный комплекс генетических типов опасных экзогенных геологических процессов, сопровождающих тектоническую структуру). Типичные для горной территории экзогенные опасные геологические процессы: сели, лавины, оползни, сходы ледников, камнепады, обвалы, прорывы открытых и закрытых водонакопителей и пр.).

3. Одним из главных факторов широкого развития четвертичных отложений является длительное воздействие эндогенных процессов на коренные породы и формирование современной коры выветривания, прежде чем в естественном процессе горообразования эта кора не обнажится и не начнется экзогенный процесс ее разрушения и переотложений.

4. Индикаторами проявления активных геодинамических процессов служат аномальные характеристики динамических и геофизических, геохимических полей, изменчивый состав и содержание минеральных элементов в пластовых водах в пространственно-временной зависимости от эндогенного события, эманации радона.

5. Негативные геоэкологические последствия эндогенных процессов, в виде склоновых оползаний лесных массивов и растительного слоя высокогорья, приурочены к зонам активных тектонических нарушений, наносят ущерб экосистеме и ландшафту, активизируют дальнейшее развитие опасных экзогенных процессов в очагах.

2. Методологические основы исследования геодинамического развития. Физические поля как индикаторы геодинамических процессов

Методологической основой геоэкологии являются системный анализ и многофакторный (синергетический) подход к изучению окружающей среды в тесной связи с изучением атмосферы, гидросферы, биосферы и техносферы. Функциональная единица изучения геоэкологии – геоэкологические системы.

Весьма важными являются конечные выводы геоэкологических исследований, которые приводят к рациональному и щадящему подходу к окружающей среде и расширению медико-биологической информации. Это дает возможность при проведении соответствующего картирования определять места локализации тех или иных биотопов и коррелировать их с геодинамическими и геоэкологическими условиями.

В основу методологического обоснования проводимых исследований положены современные теоретические и эмпирические представления о геодинамических процессах, классификационных типах геодинамических процессов на территории, структурно-тектонических и литологических особенностях аккреционной структуры Южной микроплиты-террейна (рис. 1), комплексе свойственных физико-механических, геофизических и геохимических характеристик пород [Заалишвили, Чотчаев, 2016] (рис. 2). Как известно, геологический объект может быть осциллятором микросейсмических колебаний или служит фильтром определенных частот, может создавать естественные электрические поля за счет фильтрационных или диффузионно-адсорбционных процессов в нем, а его отклик на воздействие искусственными полями может служить оценочным параметром состояния объекта. Методологической основой исследований является также геоморфология, влияние которой на интенсивность формирования экзогенных процессов зависит от способности элемента рельефа разрушаться и условий накопления формами рельефа эрозионного материала [Ktern et al., 2012]. Важнейшей характеристикой геодинамических объектов является их напряженно-деформированное состояние, влияющее на физические параметры объекта, петрофизические свойства пород и уровень подземных вод (гидрогеодеформационное (ГГД) поле Земли).

Изменение уровня подземных вод в процессе подготовки землетрясения связывается не только с напряженно-деформированным состоянием среды, но и газогидродинамическим вытеснением глубинных и ювенильных вод восходящими конвективными течениями мантийного субстрата. Механизм такой зависимости требует специального исследования. Мониторинг изменения уровня подземных вод на территории позволяет делать краткосрочный прогноз землетрясений, контролировать событие, управлять рисками.

Следствием глубинной геодинамики являются термальные источники, минеральный состав которых несет информацию о литологических особенностях каналов транзита, о приуроченности энергетического очага эндогенного процесса к литосферным горизонтам или мантийной среде, для чего при наблюдениях за гидрогеодинамическим уровнем подземных вод необходимо отбирать пробы воды до и после события.

Методологически эффективным казался мониторинг сейсмодислокаций методом наблюдения за импульсами электромагнитных излучений, возникающих за счет дислокаций в напряженно-деформированных средах [Малышков, Джумабаев 1987].

Физические и химические основы межмолекулярных связей горных пород одновременно являются предвестниками протекающих нарушений этих связей, причиной которых является увеличение напряжений в породах и последующие упругие или неупругие, остаточные деформации. Исходя из основ формирования межмолекулярных связей, очевидно, что их индикатором являются электромагнитные поля, поскольку деформации кристаллической решетки вызывают изменение расстояний между атомами и квантово-механические флуктуации электронной плотности частиц (молекул, атомов).

Мгновенное распределение электрического заряда молекулы, которому отвечает мгновенный дипольный момент молекулы (или более высокого порядка мультипольный момент), индуцирует электрический мультипольный момент в другой молекуле. Лавинный эффект мгновенных мультипольных моментов создает энергию дисперсионного взаимодействия, которая проявляется в виде электромагнитных импульсов (ЭМИ) E -дисперсионного поля.

Стадии разрушения предшествует возникновение дислокаций, т. е. локальных смещений отдельных атомов кристаллической решетки. Дислокация способна распространяться в кристалле за счет меньшей дополнительной внешней энергии, чем требуется для образования дефекта при совершенной решетке.

Наиболее высокочастотная часть спектра ЭМИ соответствует возникновению таких дислокаций, множество которых приводит к образованию зон трещиноватости и тектонических нарушений [Чотчаев и др., 2018]. Каждый ранг тектонического проявления сопровождается определенным спектром электромагнитных импульсов, при этом низкочастотные импульсы характерны нарушениям относительно низких порядков и наоборот. Это, без всякого сомнения, относится к любому отдельно взятому комплексу, будь то магматический, метаморфический или осадочный, с той лишь разницей, что спектры деформаций каждого комплекса будут индивидуальными.

Для Кавказа характерна корреляционная зависимость периодов наибольшего числа землетрясений и событий с максимальными значениями магнитуд землетрясений с периодами солнечной активности в 11-тилетнем цикле Солнца, что требует дополнительных мер безопасности и ограничений в эти периоды в экстремальных видах туризма и повышенного внимания [Мазуров, 2019].

Наблюдается пространственная приуроченность гравитационных процессов к блокам высокой и очень высокой геодинамической активности, контролируемых крупными разломными зонами кавказского простирания и глубинными региональными разломами меридионального простирания.

В Центральной части Большого Кавказа активизация эндогенных геодинамических процессов четко увязывается с зонами пересечения крупных тектонических разломов субширотного направления с меридиональными разломами более низкого порядка. Одним из таких нарушений регионального масштаба 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 потухшего 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, наиболее катастрофического и с многочисленными

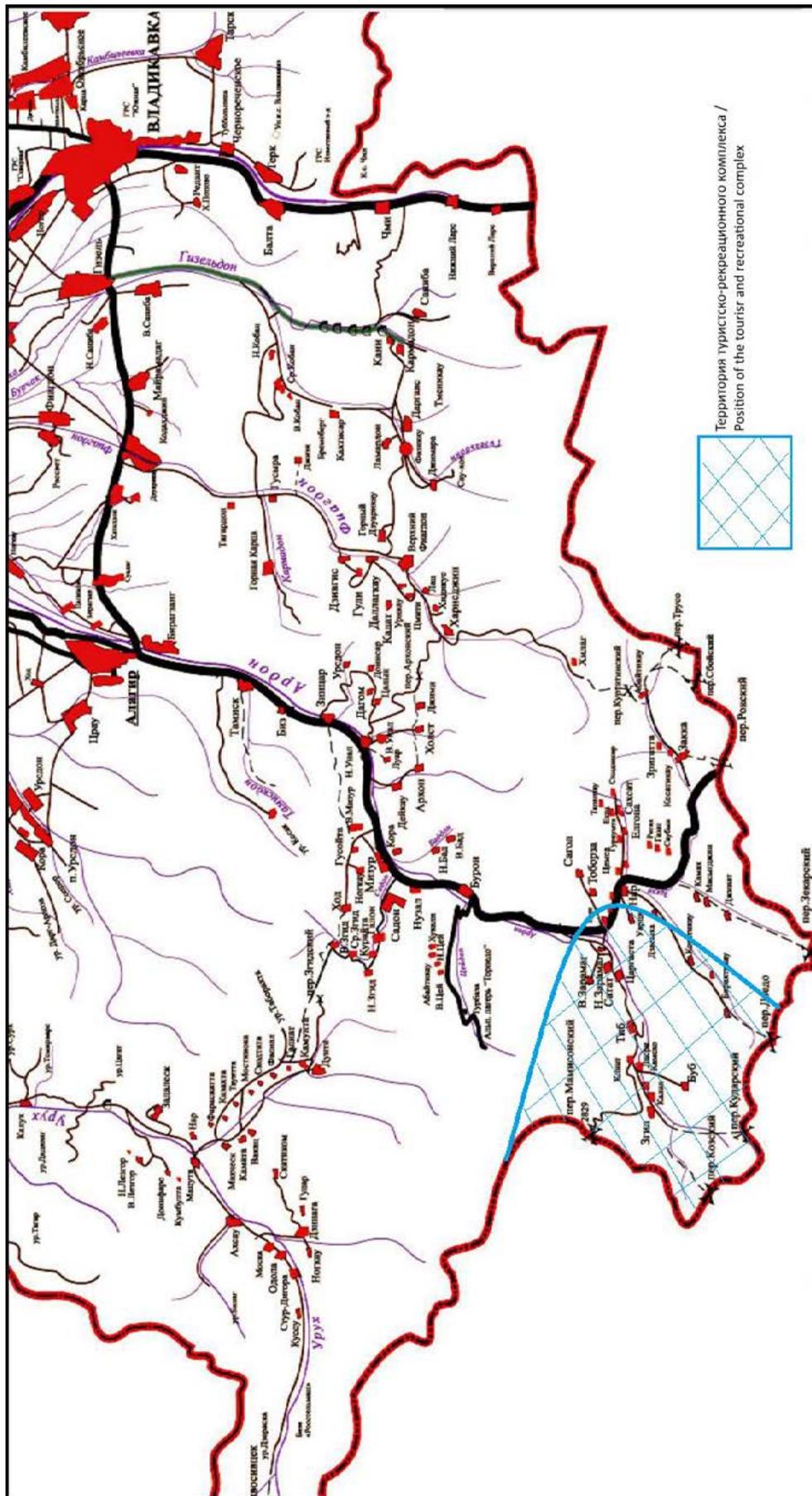


Рис. 1. Положение территории туристско-рекреационного комплекса «Мамисон» Республики Северная Осетия-Алания. / Fig. 1. The position of the tourist and recreational complex "Mamison" of the Republic of North Ossetia-Alania.

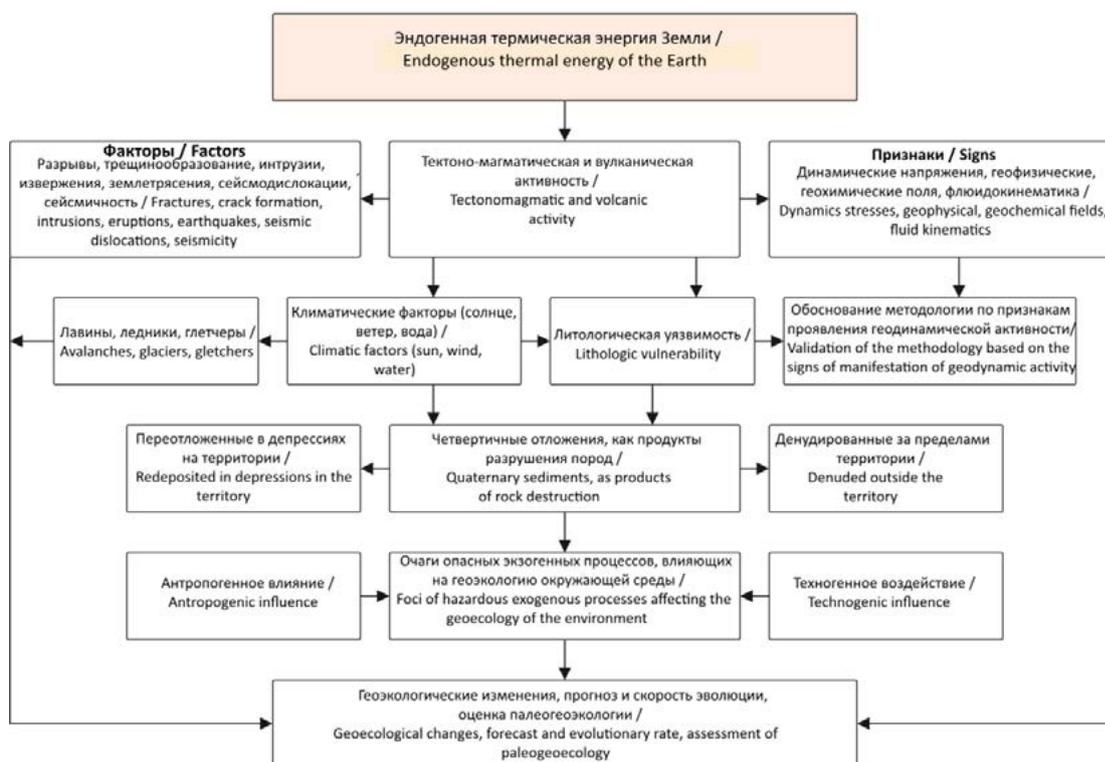


Рис. 2. Причинно-следственная зависимость активизации эндогенных и экзогенных опасных геологических процессов. Факторы и признаки геоэкологического воздействия на окружающую среду. /

Fig. 2. Causal dependence for activation of endogenous and exogenous dangerous geological processes. Factors and signs of geoecological impact on the environment (Chotchaev Kh. O., 2020).

ми людскими жертвами, оценивается как экологическая катастрофа [Norris, 1995; Zaalishvili, Melkov, 2014].

Методологическая эффективность контроля состояния геологического объекта, вовлеченного в экзогенный геодинамический процесс, определяется соответствием режима мониторинга и скорости изменения динамических и кинематических характеристик контролируемых объектов.

Важным методологическим фактором исследования и оценки состояния объектов опасных экзогенных геологических процессов является зависимость петрофизических свойств рыхлых покровных отложений от механических напряжений. Влияние петрофизических изменений на геофизические поля в зависимости от пространственных параметров объекта, магнитной восприимчивости материнских пород, плотности грунта, его влагонасыщенности и гранулометрического состава, контрастности по физическим характеристикам относительно подстилающих коренных пород. Эти свойства использованы при исследовании методами электрографических и сейсмических методов.

Важным методологическим фактором исследования и оценки состояния объектов опасных экзогенных геологических процессов является зависимость петрофизических свойств рыхлых покровных отложений от механических напряжений, влияние петрофизических изменений на геофизические поля в зависимости от пространственных параметров объекта, магнитной восприимчивости материнских пород, плотности грунта, его влагонасыщенности и гранулометрического состава,

контрастности по физическим характеристикам относительно подстилающих коренных пород. Степень изменения петрофизических свойств рыхлых отложений даже при незначительных вариациях напряженного состояния настолько значительна, что легко фиксируется геофизическими методами.

Обвальнo-осыпные и оползневые массивы характеризуются собственными частотами колебаний, отличающимися от микросейсмического фона подстилающих коренных пород. Если частотный спектр возникшего землетрясения будет иметь полосу частот собственных колебаний массива, в последнем возникнет эффект резонирования, опасный по достижению амплитуды более трехкратного уровня микросейсмического фона. Наблюдения важны за массивами, имеющими признаки статической неустойчивости типа трещин, поперечных продвижению оползня, следы тылового отрыва, увеличение высоты массива по фронту, поддвигание подошвенной части под массив.

При стабилизовавшемся уровне землепользования определяется срок, по истечении которого карты районирования четвертичных образований на территорию обновляются или корректируются. Режим мониторинга отдельных объектов предусматривает учет влияния единичного эндогенного геодинамического процесса на состояние объекта.

Методологическое решение достигается соответствием используемого комплекса геофизических полей физическим параметрам геологических сред. Так, при оценке характеристик каменных глетчеров и накоплений склонового генетического ряда (десерпций, дерупций, оползневые и осыпные накоплениями, солифлюкция) мощностью до 10-12 м, оперативным и эффективным оказался метод геолокационного зондирования, поскольку параметр диэлектрической проницаемости указанных геологических объектов резко контрастен относительно величины диэлектрической проницаемости коренных пород.

В случае больших мощностей объектов опасных экзогенных геологических процессов на аналогичных высокогорных площадях (Транскам, трасса газопровода, большой Хампаладагский и Луарский оползни) применялись электроразведочные методы вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) и дипольного электропрофилирования на двух разносах.

Алгоритмы распознавания опасных геодинамических и атмосферно-климатических процессов, воздействующих на геоэкологическое состояние высокогорных ландшафтов, приведены на рисунке 3.

Перспективные направления методологического решения пространственно-временных интервалов эндогенных событий, их динамических и кинематических характеристик, масштабов и особенностей протекания рассматриваются как возможность создания верифицированной базы данных, используемых совместно с данными о геологических, гидрогеологических, сеймотектонических и техногенных процессах для комплексного обобщения степени их воздействия на объекты строительства и элементы инфраструктурного обеспечения.

Методология обеспечения геологической информацией предусматривает учет результатов инженерных изысканий – региональные, площадные и локальные, так и специализированные исследования (геологические съемки масштаба 1:50000, 1:10000, материалы многолетнего мониторинга опасных геологических процессов на сопредельных территориях, а также отдельных поисково-разведочных работ на разные виды сырья). При этом важная роль отводится дешифрированию дистанционных материалов.



Рис. 3. Алгоритмы распознавания опасных геодинамических процессов, воздействующих на геоэкологическое состояние высокогорных ландшафтов. /

Fig. 3. Recognition algorithms of dangerous geodynamic processes affecting the geoecological state of high mountain landscapes (Chotchaev Kh. O., 2020).

Методологические разработки комплексной геолого-геофизической оценки влияния геодинамических процессов на объекты социально-экономической инфраструктуры и геоэкологического состояния окружающей среды обобщались и уточнялись на основе данных многолетних экспериментальных, прикладных и научных исследований.

Выводы

1. Важнейшей характеристикой геодинамических объектов является их напряженно-деформированное состояние, влияющее на физические параметры объекта, петрофизические свойства пород и уровень подземных вод (гидрогеодеформационное (ГГД) поле Земли).
2. Методологическим обоснованием исследований сейсмодислокационных зон и напряженно-деформированного состояния среды стал эффект электрострикции в виде импульсов электромагнитных излучений, возникающих за счет дислокаций в деформированных средах.
3. При оценке характеристик каменных глетчеров и накоплений склонового генетического ряда (десерпция, дерупция, оползневые и осыпные накоплениями, со-

лифлюкция) мощностью до 10-12 м, оперативным и эффективным является метод геолокационного зондирования за счет контрастности параметра диэлектрической проницаемости объектов и коренных пород.

4. Оползневые массивы характеризуются собственными частотами колебаний, отличающимися от микросейсмического фона подстилающих коренных пород. Если частотный спектр возникшего землетрясения будет иметь полосу частот собственных колебаний массива, в последнем возникнет эффект резонирования, опасный по достижению амплитуды более трехкратного уровня микросейсмического фона.

5. Методологические основы исследования отражают собой динамические, геофизические, геохимические характеристики геологической среды, определяя макропроявления геодинамических процессов, формируя алгоритмы причинно-следственного проявления геодинамических процессов и связанных с ними геоэкологических изменений окружающей среды через активизацию опасных экзогенных геологических процессов.

3. Состояние развития опасных экзогенных процессов

Роль четвертичных образований для биоценоза трудно переоценить, потому что они являются почвообразующими грунтами, на которых современные фитоценоз и микробиоценоз эволюционировали от мхов и микробов, а человек использует в качестве основной среды своего жизнеобеспечения. Рассматривая четвертичные образования с этой точки зрения, отдельные устойчивые массивы можно использовать в созидательных целях, но основная часть локальных образований требует периодической оценки динамических и кинематических изменений для прогнозирования развития опасных экзогенных процессов и предупреждения геоэкологических изменений.

Четвертичные образования характеризуют литологический состав материнских пород, уровень эндогенной геодинамической активности, развитие опасных экзогенных геологических процессов и геоэкологическое состояние территории. Их картографирование в масштабе 1:10000 и выделение очагов развития опасных геологических процессов позволяют прогнозировать сценарии негативного развития, своевременно разрабатывать структурами управления безопасностью упреждающие меры защиты и минимизации риска.

Основной состав четвертичных образований относится к позднему голоцену, верхнему неоплейстоцену-голоцену, верхнему и среднему неоплейстоцену и представлены ледниковыми накоплениями, пролювием крупных конусов и моренами.

Определяющее значение при формировании четвертичного покрова и рельефа территории на протяжении неоплейстоцена-голоцена имели процессы ледниковой экзарации и связанной с ней аккумуляции разновозрастных ледниковых, склоновых и аллювиально-пролювиальных накоплений в троговых долинах.

Механизмами возникновения генетических типов экзогенных геологических процессов, характерных для территории, являются высокая сейсмическая активность, расчлененный высокогорный рельеф и густая гидросеть. Сейсмичность нарушает устойчивость грунтов и слабосцементированных трещиноватых пород, расчлененный рельеф способствует гравитационному сползанию, а густая гидросеть служит накопителем и последующим путепроводом, когда в качестве движителя выступает аккумулятивная вода ливневых дождей или талые воды ледников.

Наиболее интенсивные геоэкологические изменения отмечаются за счет плоскостного смыва развитого повсеместно. Склоны в результате постоянного смыва дерна и почвы при крутизне всего 25-30° на отдельных участках полностью обнажены на высоту 120-150 м. Активно плоскостной смыв происходит во время весенних и осенних дождей и ливней, когда склоны менее защищены растительным покровом.

Формирование и взаимосвязь эрозионных опасных геологических процессов, и их влияние на геоэкологию высокогорных территорий представлено на рисунке 4.

Расположение территории экономического развития в зоне альпийской тектономагматической активизации Большого Кавказа определяет свойственные горноскладчатым областям сложные инженерно-геологические условия, вызванные разнообразием литологического состава пород, их интенсивной тектонической нарушенностью, активной неотектоникой и сейсмичностью, многообразием геоморфологических форм и широким развитием современных экзогенных геологических процессов. [Чотчаев и др., 2017; Бурдзиева и др., 2016].

Из экзогенных геологических процессов на территории распространены: выветривание, эрозионные, селевые и гравитационные (оползневые, обвальные), лавинные, солифлюкция, суффозия. Территория характеризуется большой степенью опасности развития экзогенных геологических процессов.

Выветривание. Особенно интенсивно выветриваются сланцы лейаса и породы флишевой формации. При физическом выветривании аргиллиты и мергели под влиянием переменного высыхания и увлажнения теряют монолитность, дезинтегрируясь до дресвы и мелкой щебенки. Песчаники, алевролиты и известняки распадаются на отдельные глыбы и куски. Этот вид опасного процесса широко развит по всей изучаемой площади, как на гребневых ее участках, так и на склонах, особенно проявлен по разрывным тектоническим нарушениям и зонам их влияния. Это основной источник обломочного материала для очагов формирования селей,

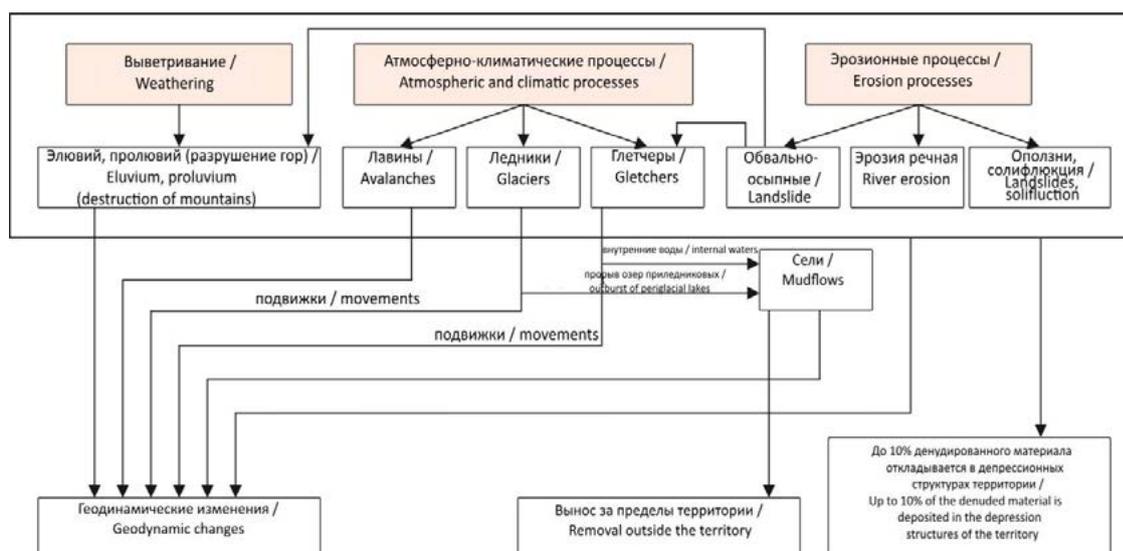


Рис. 4. Характерные природные опасные экзогенные геологические процессы воздействия на геоэкологическое состояние высокогорных территорий. /
Fig. 4. Typical natural hazardous exogenous geological processes of impact on the geoecological state of high mountain areas (Chotchaev Kh. O., 2020).

оползней и образования склоновых отложений разных генетических типов и элювиальных на гребневых и пригребневых частях территории.

Эрозионные процессы. Проявляются очень часто и наносят значительный ущерб объектам экономики и особенно линейным сооружениям. К эрозионным процессам относятся плоскостной смыв, овражная эрозия, боковая и донная эрозия рек. Активизация процессов эрозии в региональном масштабе обусловлена тем, что в настоящее время ороген Большого Кавказа захвачен тектоническим поднятием со скоростями от 2 до 14 мм/год.

На площади изучения отмечены все виды эрозионных процессов: плоскостной смыв, струйная эрозия, боковая эрозия и вертикальная (овражная).

Селевые потоки. Территория является одним из наиболее селеопасных районов Центрального Кавказа за счет расчлененного рельефа, современного оледенения, высокой сейсмичности, огромных запасов рыхлообломочного материала, высокой увлажненности, создающих благоприятные условия для селеобразования. Пораженность территории составляет около 50%, на границе категорий весьма опасных и опасных [Шеко, 1980]

Всего классифицировано 183 селевых очага всех генетических групп и морфологических типов с потенциалом разового выброса твердой массы в объеме до 100 тыс. м³, из них по руслам основных рек и по водотокам селевых очагов отмечено 45 участков оползневого и селевого потенциального перекрытия русел подпорно-заторного типа с образованием кратковременных водонакопителей (до 10-25 т. м³) и последующим их прорывом с мощным одномоментным ударным воздействием.

Количество селевых сходов в основных бассейнах рек Мамисондон и Зруг за период последних регулярных наблюдений с 2004 по 2014 гг. показывают устойчивый рост числа селей и их общего объема (рис. 5.).

Зависимость объема селей от их числа и рассматриваемого года (период 2004-2014 гг.) можно описать следующей формулой:

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

где V – объем селя, в тыс. м³;

N – число селей в год;

t – время, год.

Обвально-осыпные процессы. Около 80% всей площади исследования перекрыта рыхлообломочными отложениями, значительная часть которых является продуктом именно обвально-осыпных процессов. Причинами обвалов в условиях резко расчлененного рельефа и наличие интенсивно дислоцированных пород являются:

активные геодинамические процессы, весьма характерные для территорий расположенных на стыках мегаплит;

явления накопленного сейсмического воздействия (природного и техногенного), когда эффект обрушения проявляется не от одного мощного сейсмоудара, а от множества слабых в течение длительного времени;

сейсмовоздействие – мощные сейсмоудары до 7-9 баллов, разрядка которых в горных условиях происходит в пригребневых и привершинных частях рельефа, приводящих к обрушению крупных блоков скальных и рыхлых пород;

механизм работы трещин бортового отпора, особенно эффективный в высокогорной зоне с резкими суточными перепадами температур. При этом главную роль

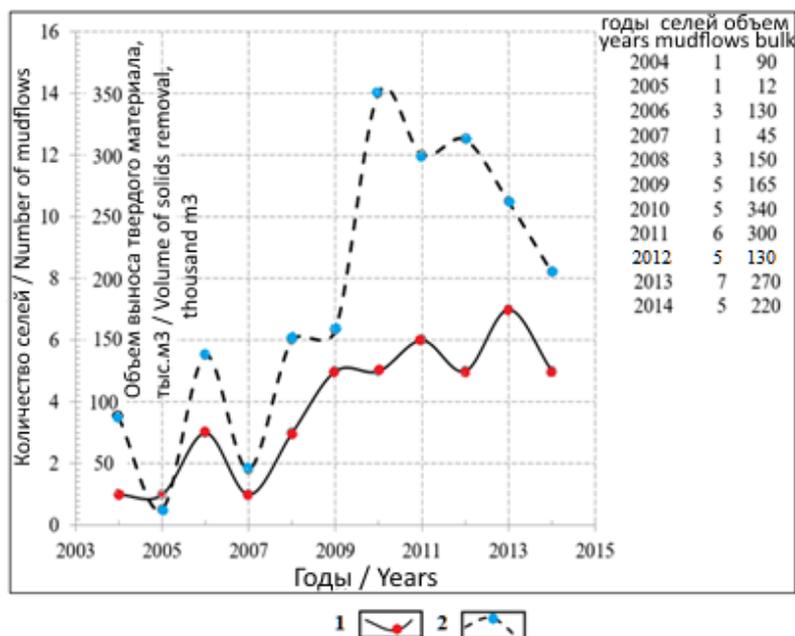


Рис. 5. Частота схода селей в бассейнах рек Мамисондон и Зруг по годам 2004-2014 (составил Чотчаев Х. О., 2020 г.).

1 – количество селей в году; 2 – объем (тыс. м³) выноса твердого материала. /

Fig. 5. Frequency of mudflows in the basins of the Mamisondon and Zrug rivers by years 2004-2014 (developed by Chotchaev Kh. O., 2020).

1 – the number of mudflows per year; 2 – volume (thousand m³) of solid material eluviation.

играют именно микротрещины, в которых воздействие замерзающей влаги особенно сильно.

На территории к обвалоопасным можно отнести любой крутосклонный (до 50-90) участок, но наиболее вероятными считаются участки развития мощных тектонических нарушений (Цейский надвиг и серия тектонических разломов южного склона – Северный и Нарский разломы, Тибский, Халацинский, Згильский, Саухохский), а также зоны развития новейших разрывных сейсмодислокаций, как проявления разрядки эндогенных тектономагматических напряжений.

Интенсивные обвально-осыпные процессы протекают в зонах концентрации тектонических нарушений, отчетливо проявляющихся в сейсмических и электрических полях (рис. 6.).

В зоне реликтового рубца и южного склона отдельные участки земной коры перемещаются относительно друг друга до 12-15 мм в год на фоне 2-3 мм/год в целом по Большому Кавказу. Что создает огромные напряжения и вызывает не только землетрясения, но и обвалы.

Оползни. Из более чем 200 изученных оползневых массивов 120 классифицируются как активные, наибольшее количество из которых приходится на бассейны рек Ардон, Закадон, Мамисондон, Адайкомдон и Цейдон. Четко прослеживается связь оползневых накоплений с литологией коренных пород: наибольшее распространение они имеют в пределах песчано-глинистых отложений юры в бассейнах р. р. Бубудона, Ручатдона, Лагаткома. Максимального развития оползневые накопления достигают в бассейне Ручатдона, в долине Лагаткома и на водоразделе между ними. Преобладают консистентные оползни-потоки, в том числе слившиеся друг с другом из песчанисто-глинистых пород юры. Протяженность потоков

0,2-0,4-0,6 км и до 0,8 км. Оползни скольжения повсеместно имеют резко очерченные в рельефе оползневые цирки.

Ими поражены оба склона долин Мамихдона и Зруга с образованием участков потенциального подпруживания русла оползневыми накоплениями встречного характера, создавая условия для образования водонакопителей прорывного типа во время селевой активизации. Широко развиты оползневые накопления в средней части долины Гибитандона.

Лавины. Лавинную опасность территории характеризует среднестатистическое количество осадков по месяцам и высотам (табл. 1).

В условиях узких циркообразных долин, когда имеет место переброс снежной массы на другой борт, лавины представляют опасность людям, жилым комплексам, канатным дорогам, горнолыжным трассам. Высокогорный ландшафт Главного Кавказского хребта с типичным эрозионно-денудационным и ледниково-экзарационным рельефом с редколесьем, субальпийскими и альпийскими лугами на горнолесных бурых оподзоленных почвах с содержанием гумуса до 5-7% благоприятствует лавинному воздействию.

Всего на территории выделено 388 очагов лавин лоткового типа с потенциалом выброса 5 тыс. куб. м и выше, из которых 27 будут угрожать жилым комплексам. Как наиболее масштабные и опасные приводятся краткие характеристики 14 лавинных очагов, имеющие свои номера в кадастре лавинной службы. Потенциал выброса снежных масс некоторых может достигать 150 тыс. куб. м.

Установлена пространственная приуроченность экзогенных процессов к блокам высокой и очень высокой геодинамической активности, контролируемых крупными разломными зонами кавказского направления и региональными глубинными разломами меридионального направления. Активизация экзогенных процессов зафиксирована в зонах пересечения крупных тектонических шовных зон субширотного направления меридиональными разломами более низкого порядка. Дополнительно к прочим причинам проявления оползневых процессов имеет место широкое развитие боковой эрозии за счет действия паводков, периодически возникающих в результате интенсивного таяния ледников.

Восходящие движения увеличивают общую энергию рельефа, которая и так достаточно высока. Об этом свидетельствуют большая эрозионная расчлененность рельефа и очень большой перепад высот (глубина) до местных базисов эрозии. В высокогорных районах длина эрозионной сети составляет 2,5-3,4 км/км², а глубина местных базисов эрозии 1000-1500 м. В этих условиях водные потоки характеризуются большой скоростью (до 3 м/сек и более) и выполняют значительную эрозионную работу.

Отмечено, что наиболее интенсивно линейная эрозия развивается в обвальнo-осыпных, делювиально-гравитационных и оползневых отложениях, глинистых сланцах и аргиллитах Северной и Южной межгорных депрессий. Это проявляется в образовании многочисленных промоин и оврагов глубиной до 4 м и резком увеличении их роста.

Проведена оценка масштабов развития опасных экзогенных геологических процессов в сравнении с охватом площади сетью инженерных сооружений развлекательного назначения, включая четыре жилые деревни на 10000 тыс. мест ежедневного пребывания (Лисри, Зруг, Козыком-Згил и Земегон), которая составляет около 170 кв. км. Предусматривается строительство тоннеля, длиной 10,5 км, соединяющего деревню в долине р. Зруг с комплексом деревень долины р. Мамихдон.

Таблица 1. / Table 1.

Распределение среднего многолетнего (1986-1990 гг.) количества осадков (в мм) по месяцам и высотам (Кулаев И. Г., фонды «Сеосгеологоразведка» 1997 г.). / Distribution of the average long-term (1986-1990) precipitation amount (in mm) by months and heights (Kulaev I. G., “Seosgeologorazvedka” funds 1997)

Метеостанция / Weather station	Абс. высота (м) / Absolute height (m)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XI- III	IV- X	Год / Year
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Н. Зарамаг / Lower Zaramag	1730	31	32	39	59	86	77	68	60	63	53	40	33	175	466	641
Цей (1800 м) / Tsey (1800 m)	1910	20	54	50	122	107	136	107	96	101	45	49	22	195	714	909
Калак (2400 м) / Kalak (2400 m)	2020	42	42	51	76	119	103	93	76	85	68	51	42	228	620	848
Мамисонский перевал (2854 м) / Mamison Pass (2854 m)	2830	73	76	81	82	110	109	86	85	77	65	59	65	354	611	918

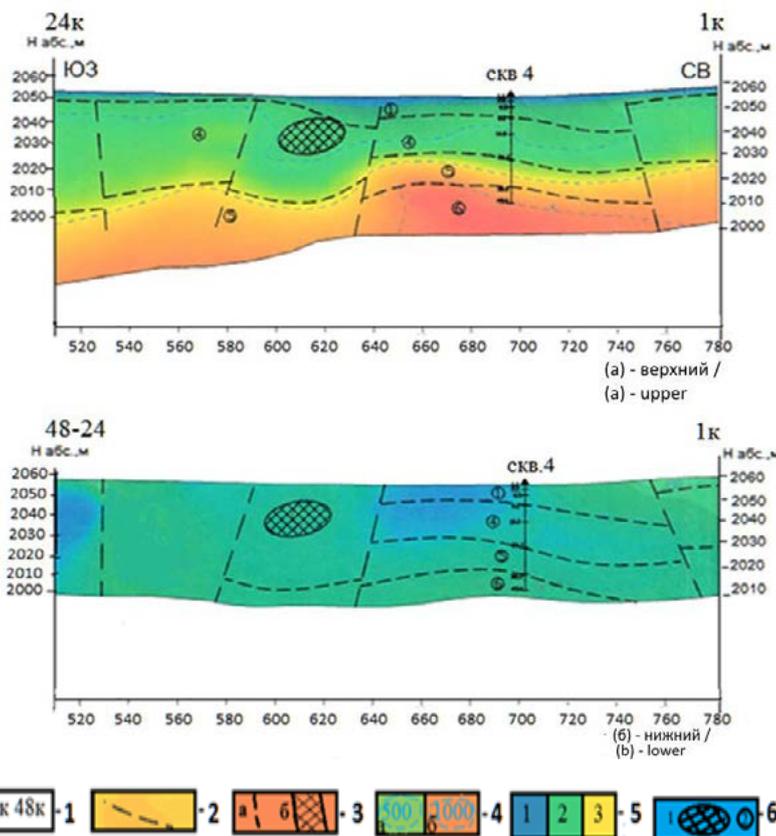


Рис. 6. Блоковое тектоническое дробление дочетвертичного основания и карстовое проявление по материалам методов сейсмопрофилирования (МРВ) (а) верхний и электротомографии (б) нижний. Участок Козыком-Згил, профиль 2-200-1. /

Fig. 6. Block tectonic crushing of the pre-Quaternary basement and karst manifestation based on the materials of seismic profiling methods (seismic-refraction method) (a) upper and electro-tomography (b) lower. Kozykom-Zgil section, profile 2-200-1 (drawing and interpretation by Kh. O. Chotchaev, 2020).

Всю площадь, включающая 6 спортивно-развлекательных центра, планируется связать железной дорогой и окутать канатными дорогами, на всех центрах сооружаются горнолыжные трассы.

Охваченность территории очагами опасных экзогенных геологических процессов следующая: 80% указанной площади перекрыта рыхлообломочными отложениями обвально-осыпного типа с поражаемостью 30% всей территории. Подверженность территории селевому воздействию достигает 50%. По объему селевых разовых выносов все бассейны распределены на четыре группы: мощные с единовременным выбросом более 100000 м³ твердого материала; средние – от 10000 до 100000 м³; слабые – от 1000 до 10000 м³; микросели (склоновые) – менее 1000 м³.

Наиболее распространены и активны сели в области высокогорного рельефа в зоне Бокового и Главного хребтов, где сосредоточено около 50% всех селевых очагов.

Площадь, занятая ледниками, активными каменными глетчерами и древними каменными глетчерами составляет 19 кв. км или 13% всей территории. В количественном выражении это 36 ледников, 46 активных каменных глетчеров и 34 древних каменных глетчера, 39 озер ледниковой природы.

Ледники, каменные глетчеры и приледниковые озера. Площадь, занятая ледниками, активными каменными глетчерами и древними каменными глетчерами составляет 19 кв. км или 13% всей территории. В количественном выражении это 36 ледников, 46 активных каменных глетчера и 34 древних каменных глетчера, 39 озер ледниковой природы. Ледниковые подвижки крайне опасны для биоценоза и разрушительны для геоэкологии.

В условиях глобального потепления и отступления ледников на обнаженных приледниковых площадях вдоль основного нарушения кулисообразно ему развивается трещинная тектоника. Такого рода активность может угрожать сходом ледника или активного глетчера. Подвижка ледника в условиях геоморфологии Южной микроплиты вызовет вспахивание долин, сползание со склонов и перемещение глыбового материала, большой объем массопереноса, негативное преобразование ландшафта. Последствия, при этом, для геоэкологии будут сопоставимы с последствиями схода ледника Колка в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 г.

Выводы

1. Масштабы распространения и разнообразие генетических типов четвертичных отложений, характеризуют неустойчивый к физико-механическим нагрузкам литологический состав пород, дифференцированную геоморфологию территории, высокую активность эндогенных (обвалы, сейсмодислокации) и экзогенных (эрозионные аквальные, гляциальные, мерзлотные) геологических процессов. Рыхлообломочный чехол занимает около 70% всей рассматриваемой территории, в ряде мест достигая мощностей до 100 м.

2. Определяющее значение при формировании четвертичного покрова и рельефа территории на протяжении неоплейстоцена-голоцена имели процессы ледниковой экзарации и, связанной с ней аккумуляции разновозрастных ледниковых, склоновых и аллювиально-пролювиальных накоплений, сохранившихся во вложенных друг в друга троговых долинах.

3. Комплексное воздействие эндогенных и экзогенных геодинамических процессов на геоэкологическое состояние территории выражается в широком развитии

четвертичного покрова и многочисленных очагов различных генетических типов опасных экзогенных геологических процессов.

4. Высокая лавинная опасность территории определяется большим количеством лавинных очагов и их непредсказуемостью.

5. Неотектоническая активность в приледниковых зонах в виде кулисообразных трещин сходом ледника или активного глетчера.

4. Результаты исследований и их обсуждение

Пространственные и физические характеристики четвертичных образований, участки их локализации в массивы опасных геологических процессов и развитие тектонических нарушений под их покровами, прослеженные геофизическими методами сейсмического профилирования и электротомографии, вынесены на схемы районирования по степени опасности геологических процессов участков территории, где планируется строительство деревень и инженерной инфраструктуры.

Ниже приводятся схемы районирования двух объектов (участков Земегон и Зарамаг) с элементами тектоники и кратким описанием особенностей. На схемах районирования голубыми линиями показаны канатные дороги, вдоль части из которых (по возможности безопасного маневрирования с геофизическими установками) проведены геофизические исследования.

Поскольку в работе концептуальным является зависимость активизации экзогенных геологических процессов от тектономагматического проявления эндогенной геодинамической активности, выраженной на границе литосфера-атмосфера тектоническими нарушениями различных рангов и дислокациями, на схемы дополнительно вынесены региональные нарушения (Главный, Саухохский, Адайком-Казбекский).

Участок Земегон (рис. 7.). Участок характеризуется обвальными, обвальн-осыпными и широко развитыми на всей южной половине площади оползневыми процессами. Для северной половины площади характерно развитие плоскостного смыва, концентрированного по обоим бортам реки Земегон и ее правого притока, создающего оползневые массивы в особенности на левом борту р. Земегон, угрожающие временной запрудой водотока. Основной материал пролювий крупных конусов выноса боковых притоков, состав щебенисто-дресвянный с суглинистым заполнителем. К югу от Саухохского разлома выделяются большие скопления обвальных, обвальн-осыпных, каменных и каменно-землянных глетчеров.

В пределах площади, изученной геофизическими методами, тектоника под покровом четвертичных отложений интерпретируется как кулисообразно сочетающаяся с региональным разломом Саухохский, расположенным на западе и востоке под ледниками. Выявленные кулисообразные нарушения высоких порядков классифицируются как постледниковые, проявленные в приледниковой зоне.

Участок Зарамаг (рис. 8.). Северо-западная часть площади Зарамагского участка занята одноименным ледником, на который обрушиваются с севера современные обвальные крупноглыбовые (до 15-20 м в поперечнике) продукты обрушения крутых скальных склонов, сейсмогравитационные оползни-срывы с правого борта приустьевой части долины р. Бубудон. Четвертичный комплекс отложений представляет собой дерупций голоценового возраста, деляпсий в виде оползней-блоков и оползней-потоков с признаками вязкопластичного течения и десерпций незакрепленных, полужакрепленных осыпных конусов и шлейфов скальных подножий дресвяно-щебенистого состава.

Опасным экзогенным геологическим процессам, в основном, подвержена юго-восточная часть площади, где наблюдается обвально-осыпной процесс с севера и запада с аккумуляцией продуктов обрушения в верховьях р. Зарамаг, образуя эрозионные уступы, бровки отрыва оползневых цирков. При интенсивных таяниях льдов, затяжных дождях или ливневых осадках аккумулярованный материал в виде оползневых блоков угрожают подвижками, запрудами и далее селевым потоком.

Из региональных тектонических нарушений участок Зарамаг субширотно пересекают Главный Кавказский надвиг на севере и Адайком-Казбекский взброс на юге, оба падающие на северо-восток.

Инструментально полученные данные развития тектонической активности под покровом четвертичных образований показывают приуроченность аномальных отклонений геофизических параметров к региональным нарушениям.

На основе пространственной связи активных глубинных тектонических нарушений и неотектоническое проявление в виде кулисообразно развитой трещиной тектоники, контролирующей тектономагматические события (землетрясения, локальное и зональное проявление сейсмодислокаций, выходы минерализованных источников, динамические и геофизические поля, концентрацию очагов развития

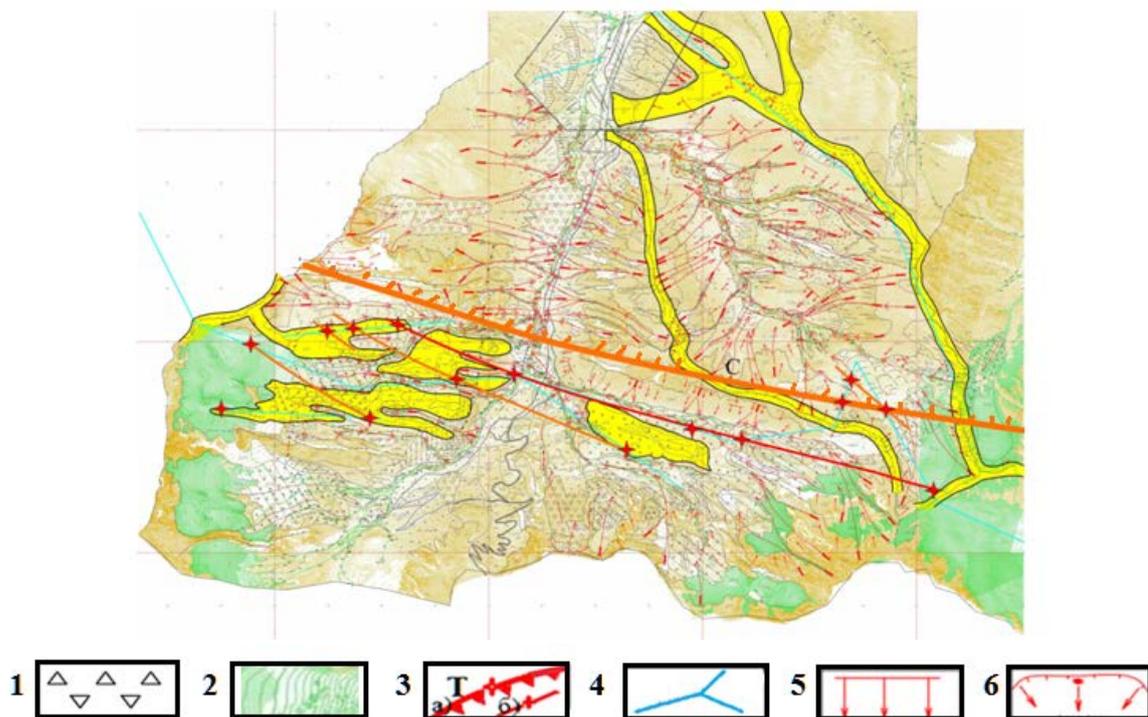


Рис. 7. Участок Земегон. Схема районирования по степени опасности геологических процессов с элементами тектонической накладкой по геофизическим данным Чотчаева Х. О.). М 1:10000
1 – обвальные накопления; 2 – ледники; 3 – тектонические нарушения: а – региональные, б – нарушения трещинного типа, выявленные геофизическими методами; 4 – линии канатных дорог; 5 – обвально-осыпные процессы; 6 – очаги постоянного формирования обвалов. /

Fig. 7. Site Zemegon. Zoning scheme according to the degree of danger of geological processes with elements of tectonic overlay (according to geophysical data Chotchaeva Kh. O.). Scale 1: 10000.
1 – landslide accumulations; 2 – glaciers; 3 – tectonic faults: a – regional, b – fracture-type faults identified by geophysical methods; 4 – cable car lines; 5 – landslide processes; 6 – foci of permanent formation of landslides.

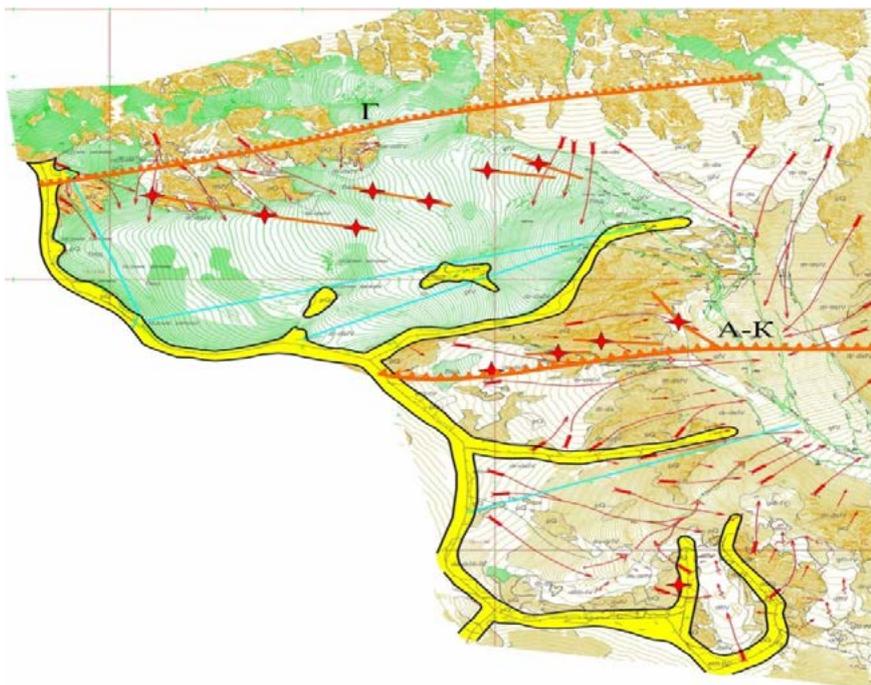


Рис. 8. Схема районирования по степени опасности геологических процессов по канатным дорогам участка Зарамаг с элементами тектоники по геофизическим данным Чотчаева Х. О., 2020 (Гончаренко О. А., 2012). М 1:10000. /

Fig. 8. Scheme of zoning according to the degree of danger of geological processes along ropeways of the Zaramag section with tectonic elements according to geophysical data Chotchaeva Kh. O., 2020 (Goncharenko O. A., 2012.). Scale 1: 10000.

опасных экзогенных процессов) делается утверждение о причинно-следственной связи эндогенных и экзогенных геологических процессов, где основной тренд геоэкологической эволюции определяют геодинамические процессы и в первую очередь эндогенные.

Четвертичные образования элювиального ряда, осыпные, пролювиальные, а также генетические типы смешанного генезиса, представленные обвальными-осыпными, делювиально-осыпными и пролювиальными накоплениями относятся к позднеплейстоцен-голоценовому возрасту (400-300 тыс. лет назад).

В раннем неоплейстоцене (2,2-2,3 млн. лет назад) в условиях геодинамической обстановки коллизии Большой Кавказ уже обрел современный облик (Растворова, 1973), сохраняя средний по орогену темп роста 1,5-5,0 мм в год до настоящего времени. За период с позднеплейстоцена (четвертичные образования в основном имеют такой возраст накопления) горы прирастили дополнительно к достигнутым высотам 1200-1300 м, которые эродированы, транспортированы водными потоками и эоловым выветриванием далеко за пределы территории, часть перемещена в межгорные рифтогенные депрессии. При этом максимальная мощность четвертичных накоплений в долинах рек и межгорных впадинах на территории не превышает 100-120 м. Исходя из среднестатистической скорости прироста гор, возраста наиболее ранних четвертичных образований и мощности денудированного материала в долинах рек и межгорных депрессиях, скорость накопления не превышает 0,3-0,4 мм в год.

Стабилизация роста гор и скорости эрозионного сноса за позднеплейстоцен-голоценовый период развития предопределили медленное накопление в геоморфо-

логических понижениях рельефа остаточного материала, не вынесенного водными потоками и эоловым выветриванием по морфологическим причинам.

Потенциальные очаги опасных геологических процессов характеризуют геоэкологическую эволюцию за период их накопления (верхний неоплейстоцен-голоцен) и находятся в состоянии разной степени неустойчивого равновесия, выход из которого дополнительно требует определенного спускового фактора.

Заключение

Проведенные в рамках диссертационной работы исследования экспериментального и теоретического характера, позволили установить общие принципы энергетического обеспечения эндогенных процессов за счет гравитационной дифференциации силикатной мантии, люфта вращения твердого ядра, радиоактивного распада и незначительной энергии за счет преодоления приливных сил Луны и Солнца. Внутренняя энергия Земли представляется термической и ее избыток в РТ-условиях на границе слоя D проявляется восходящими мантийными плюмами и струями по конвективным ячейкам мантии. Попадая в трансформные разломы литосферных плит, энергия термическая преобразуется в механическое напряжение, по-видимому, за счет падения давления и соответствующего расширения, вызывая литосферный дрейф. В случае тектонических нарушений имеющих продолжение в мантию, часть плюма или мантийной струи продавливаются во внутрикоровые нарушения, проявляясь тектономагматическими, вулканическими процессами.

Определяющей последующие особенности структурно-тектонического развития взаимодействующих литосферных плит и характера тектогенеза является геодинамическая обстановка (для рассматриваемой территории это коллизия) с горообразованием, напользанием, торошением, субмеридиональным сжатием и развитием трещинной тектоники и землетрясениями деформационного характера. Взаимодействие плит происходит по трансформным разломам (Главный Кавказский надвиг, Южный надвиг), принимающих форму листрических за счет столкновения континентальных сред примерно равных плотностей, в результате чего на крутом участке фронта отмечается интенсивная дислокация и деформация пород, что и наблюдается на территории. Тектономагматическую активность определяют глубинные внутриплитные разломы (Ардонский, Владикавказский, Тибский, Цесский), которые совместно с коровыми разломами образуют ансамбли конвективных каналов восходящих мантийных струй. Динамические действия мантийных струй проявляются внедрением в жесткую среду коры, интрузией, смещением или разрывом внутрикоровых блоков за счет высокого давления или расширения при остывании, из-за чего происходит столкновение коровых блоков, вызывающее сколы (нарушения), дислокации, соскальзывание в исходное положение динамичного блока. В каждом из этих случаев будут проявляться землетрясения и тектонические преобразования.

Первопричинность проявлений эндогенных геодинамических процессов в активизации экзогенных геологических процессов и негативных изменений в геоэкологической эволюции является в диссертационной работе концептуальной. Геодинамическая активность проявляется эндогенными и экзогенными процессами при четко выраженном их единстве в пространственном проявлении.

1. Влияние эндогенных геодинамических процессов проявляется в сильнейшей дислоцированности пород в зоне коллизии, дифференцированной геоморфологии, высокой скорости прироста горообразования (относительные колебания отдельных

блоков достигает 15 мм/год), интенсивных землетрясениях, развитии трещинной тектоники с геоэкологическими последствиями крупных обвалов и осыпей коренных пород, широком накоплении покровов четвертичных отложений, питающих оползни.

2. Параметры сопутствующих факторов динамического, физико-химического, геофизического, гидрогеологического характера, являющиеся индикаторами эндогенных процессов и используются в качестве методологических признаков для прослеживания тектонических структур.

3. Сопутствующие геодинамическим факторам признаки физико-химического, геофизического, гидрогеологического характера, являющиеся индикаторами эндогенных процессов в течение длительного (в геологическом исчислении) времени, являются абиотическими факторами геоэкологической среды, к которым определенные виды фитоценоза и микробоценоза проявляют эндемическую зависимость.

4. Активные тектонические нарушения являются структурами связи атмосферы и литосферы, каналами: нисходящими для кислорода через биосферу и восходящими для многих летучих компонент литосферы в растворенном или газообразном состоянии. Состав восходящих элементов зависит от источника формирования конвективного течения, состава пород, пересекаемых разломом, месторождений, омываемых флюидами.

5. Естественная среднестатистическая геоэкологическая эволюция протекает в режиме примерного равновесия двух факторов: прироста гор и равнозначной приросту денудации; объем транзита эродированного материала за пределы территории водно-воздушными агентами составляет до 90%. переотложение остальных 10% происходит на месте в межгорных впадинах и долинах рек. Скорость накопления за период 300-400 тыс. лет составляет 0,3-0,4 мм в год.

6. Разработана методика контроля состояния объектов экзогенных геологических процессов сейсмическими наблюдениями за микросейсмическим режимом подстилающих коренных пород и объекта инструментальными средствами. При стабильной генерации в частотный спектр сейсмического события частот, совпадающих с собственными частотами колебаний объекта, последний может войти в резонанс. Трехкратное и более превышение резонансной амплитуды объекта над амплитудой микросейсмического фона, подстилающих коренных пород, представляет опасность нарушения статической устойчивости и перехода в режим неустойчивого равновесия или подвижки.

7. Полученные геофизические данные о тектоническом состоянии пород под четвертичным покровом характеризуют неотектоническую активность и ужесточают инженерно-геологические условия, установленные без учета этих данных, что рекомендуется учесть при проектных решениях.

8. Исследованный классификационный комплекс опасных эндогенных и экзогенных процессов определяет геоэкологическое состояние территории с точки зрения геоморфологических изменений и экологической эволюции, в целом, опасной.

Литература

1. Аплонов С. В. Геодинамика. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2001. – С. 74.
2. Астафьев Д. А. Группировки коромантийных плит в современной геодинамике Земли. Фундаментальные проблемы геотектоники. // Материалы XL Тектонического совещания Межведомственного тектонического комитета РАН. – М.: ГЕОС, 2007. – С. 31-35.

3. Астафьев Д. А. Уточнение основных положений концепции геодинамики Земли. Материалы XLVIII Тектонического совещания. // Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ. 2 февраля-6 февраля 2016 г. Т. 1. – М.: ГЕОС. – С. 30-34.
4. Баркин Ю. В. Вековой дрейф центра масс Земли, обусловленный движением плит. // Вестник МГУ. Сер. 3. Физика, астрономия. – 1996. – Т. 37. № 2. – С. 79-85.
5. Бурдзиева О. Г., Чотчаев Х. О., Маммадли Т. Я. Модель поддерживаемого развития горных территорий Северного Кавказа. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2016. – Т. 8. № 4. – С. 348-358. DOI: 10.21177/1998-4502-2016-8-4-348-358.
6. Вьюхина А. А. Биологическое действие локальных геомагнитных полей в зоне тектонического разлома. // Проблемы электромагнитной экологии в науке, технике и образовании: материалы VII Междунар. науч.-практ. семинар. – Ульяновск. – 2008. – С. 63-70.
7. Вьюхина А. А., Омельченко Г. В., Шиманская Е. И., Чохели В. А., Вардунни Т. В. Применение методов биотестирования для индикации закономерностей варьирования фенотипических и цитогенетических изменений растений индикаторов в зависимости от степени тектонической нарушенности зоны произрастания. // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2013. – С. 45-51.
8. Заалишвили В. Б., Чотчаев Х. О. Классификация естественных электромагнитных полей. Исследования методом Теллурических токов. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 2. – С. 27-35.
9. Комжа А. Л., Заалишвили В. Б. Фитоиндикация последствий схода ледника Колка 20.09.2002 г. – инструмент долгосрочного прогнозирования гляциальных катастроф в долине р. Геналдон. // Геофизические процессы и биосфера. – 2014. – Т. 13. № 1. – С. 74-80.
10. Лобковский Л. И., Котелкин В. Д. Двухъярусная термохимическая модель конвекции и ее геодинамические следствия. // Проблемы глобальной геодинамики. – М. – 2000. – С. 29-30.
11. Мазуров, Б. Т. Математическое моделирование при исследовании геодинамики. // Монография. – Новосибирск: Агентство «Сибпринт», 2019. – С. 13.
12. Малышков Ю. П., Джумабаев К. Б. Прогнозирование землетрясений по параметрам естественного импульсного электромагнитного поля Земли. // Вулканология и сейсмология. – 1987. – № 1. – С. 97-103.
13. Несмеянов С. А. Инженерная геотектоника. – М.: Наука, 2004. – С. 13-15.
14. Никонов А. А. Признаки молодой тектонической активности в зонах Южно-Азовского и Керченского разломов. // Геотектоника. – 1994. – № 5. – С. 16-27.
15. Пушаровский Д. Ю. Минеральные перестройки в глубинных геосферах. // Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология. – 2004. – № 2. – С. 3-10.
16. Растворова В. А. Формирование рельефа гор. – Л.: Издательство «Наука», 1973. – С. 78.
17. Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Природа тектонической активности Земли. // Итоги науки и техники. Сер. Физика Земли. – 1993. – Т. 12.
18. Трифионов В. Г., Караханян А. С. Динамика Земли и развитие общества. // ОГИ. – М. – 2008. – С. 8-9.
19. Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики: 2-е изд., испр. и доп. – М.: КДУ, 2005. – С. 534.
20. Чотчаев Х. О., Колесникова А. М., Майсурадзе М. В., Шепелев В. Д. Физические поля как производные деформации горного массива и технология их мониторинга. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – № 4. – С. 179-190.
21. Чотчаев Х. О., Оганесян С. М., Гончаренко О. А. Опасные геологические процессы на территориях экономического освоения в горной части Республики Северная Осетия-Алания. Изд-во: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет) (Владикавказ). DOI: 10.21177/1998-4502-2017-9-3-195-210. – 2017. – Т. 9. № 3.
22. Шеко А. И. Закономерности формирования и прогноз селей. – М.: Недра, 1980. – 296 с.

23. Яроцкий Г. П., Чотчаев Х. О. Тектоническая предопределенность Хаилинского землетрясения на Юго-Западе Корякского нагорья. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 4. – С. 129-140.
24. Яроцкий Г. П., Чотчаев Х. О. Вулканогены окраинных орогенных поясов Северо-Западного сектора Северо-Восточной Азии. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 3. – С. 18-35.
25. Allen C. R. Geological criteria for evaluating seismicity. // *Bul. Geol. Soc. Amer.* – 1975. – Vol. 86. No. 8. – pp. 1041-1057.
26. Boyet M, Blichert-Toft J., Rosing M, Storey M, Telouk P., Albarede F. 142Nd evidence for early Earth differentiation. // *Earth and Planet. Sci. Lett.* – 2003. – Vol. 214. – pp. 427-442.
27. Bull W. B. *Geomorphic responses to climatic change.* – New York: Oxford University Press, 1991. – p. 326.
28. Bull W. B., McFadden L. Tectonic geomorphology North and South of the Garlock fault, California. In: Doehring, D. O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions.* // *Publ. in Geomorphology, State University of New York, Binghamton.* – 1977. – pp. 115-138.
29. Burbank D. W., Anderson R. S. *Tectonic Geomorphology.* // Blackwell Science. – 2001. – Vol. 43. – pp. 105-129.
30. Peters G., Van Balen R. T. Tectonic geomorphology of the northern Upper Rhine Graben, Germany. // *Glob. Planet. Chang.* – 2007. – Vol. 58. – pp. 310-334.
31. Duvillard P-A, Ravanel L., Deline Ph. Risk assessment of infrastructure destabilisation due to global warming in the high French Alps. // *Journal of Alpine Research. Revue de géographie alpine.* – 2015. – Vol. 103-2. – pp. 1-15.
32. Evans S. G., Bishop N. F., Smoll L. F., Murillo P. V., Delaney K. B., Oliver-Smith A. A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascarán, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970. // *Engineering Geology.* – 2009. – Vol. 108. No. 1-2. – pp. 96-118.
33. Flavio C. T. Lima, Alexandre C. Ribeiros. Continental Scale Tectonic Controls of Biogeography and Ecology. // *Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes.* – 2011. – pp. 164.
34. Ktern K., Lieb G. K., Seier G., Kellerer-Pirkibaue A. Modelling geomorphological hazards to assess the vulnerability of alpine infrastructure: The example of the Großglockner-Pasterze area, Austria. // *Austrian Journal of Earth Sciences.* – 2012. – Vol. 105/2.
35. Keller E. A. Pinter N. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape.* – New York: Prentice Hall, 2012. – pp. 432.
36. Heads M. The New Zealand grass *Simplicia*: biogeography, ecology and tectonics. // *Australian Systematic Botany.* – 2018. – Vol. 31. – pp. 281-295.
37. Muir Wood R. Tectonic ecology. // *Trends Ecol Evol.* – 1987. – No. 2 (9). – pp. 276-279. doi:10.1016/0169-5347 (87) 90036-X.
38. Persaud M., Pfiffner O. A. Active deformation in the eastern Swiss Alps: post-glacial faults, seismicity and surface uplift. // *Tectonophysics.* – 2004. – Vol. 385. – pp. 59-84.
39. Robinson T. R., Davies T. R. H. Review article: Potential geomorphic consequences of a future great (Mw $\frac{1}{4}$ 8.0b) Alpine Fault earthquake, South Island, New Zealand. // *Natural Hazards and Earth System Sciences.* – 2013. – Vol. 13. – pp. 2279-2299.
40. Trewick S. A. Plate Tectonics in Biogeography. *The International Encyclopedia of Geography.* / Edited by Douglas Richardson, Noel Castree, Michael F. Goodchild, Audrey Kobayashi, Weidong Liu, and Richard A. Marston. // Published 2017 by John Wiley & Sons, Ltd. – 2017. DOI: 10.1002/9781118786352. wbieg 0638.
41. Veblen T. T., González M. E., Stewart G. H., Kitzberger T. & Brunet J. Tectonic ecology of the temperate forests of South America and New Zealand. // *New Zealand Journal of Botany.* – 2016. – Vol. 54 (2). – pp. 1-24. DOI: 10.1080/0028825X. 2015.1130726.
42. Yuen D. A., Maruyama Sh., Karato Sh-i., Windley B. F. *Superplumes: Beyond Plate Tectonics.* // Eds. The Netherland: Springer. – 2007. – 569 p.

43. Zaalishvili V., Chotchaev Kh., Melkov D., Burdzieva O., Dzeranov B., Kanukov A., Archireeva I., Gabaraev A. and Dzobelova L. Geodetic, geophysical and geographical methods in landslide investigation: Luar casestudy. // Web of Conferences Volume 164 Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering. TPACEE. – 2019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016401014>.

References

1. Aplonov S. V. Geodynamics. St. Petersburg. Publishing house of St. Petersburg. University, 2001. p. 74. (In Russ.)
2. Astaf'ev D. A. Groupings of crust-mantle plates in the modern geodynamics of the Earth. Fundamental problems of geotectonics. In: Proceedings of the XL Tectonic Meeting of the Interdepartmental Tectonic Committee of the Russian Academy of Sciences. Moscow. GEOS. 2007. pp. 31-35. (In Russ.)
3. Astaf'ev D. A. Clarification of the main provisions of the concept of Earthgeodynamics. In: Proceedings of XLVIII Tectonic Meeting. Tectonics, geodynamics and ore genesis of fold belts and platforms. February 2-February 6, 2016 Moscow. GEOS. Vol. 1. pp. 30-34. (In Russ.)
4. Barkin Yu. V. The secular drift of the Earth's center of mass due to plate movement. Moscow State University Bulletin. Ser. 3. Physics, astronomy. 1996. Vol. 37, No. 2. pp. 79-85. (In Russ.)
5. Burdzieva O. G., Chotchaev Kh. O., Mammadli T. Ya. A model for the supported development of mountainous areas in the North Caucasus. Sustainable Development of Mountain Territories. Vol. 8 No. 4. 2016. pp. 348-358. DOI: 10.21177/1998-4502-2016-8-4-348-358. (In Russ.)
6. V'yukhina A. A. Biological action of local geomagnetic fields in the tectonic fault zone. In: Proceedings of the VII Intern. scientific-practical seminar. Problems of electromagnetic ecology in science, technology and education. Ulyanovsk, 2008. pp. 63-70. (In Russ.)
7. V'yukhina A. A., Omel'chenko G. V., Shimanskaya E. I., Chokheli V. A., Varduni T. V. Application of biotesting methods to indicate the patterns of variation in phenotypic and cytogenetic changes in indicator plants depending on the degree of tectonic disturbance of the growth zone. Izvestiya VUZov. North Caucasian region. Natural Sciences. 2013. pp. 45-51. (In Russ.)
8. Zaalishvili V. B., Chotchaev Kh. O. Classification of natural electromagnetic fields. Research by the method of Telluric currents. Geology and geophysics of Russian South. 2016. No. 2. pp. 27-35. (In Russ.)
9. Komzha A. L., Zaalishvili V. B. Phytoindication of the consequences of the Kolka glacier collapse on 20.09.2002 is a tool for long-term forecasting of glacial disasters in Genaldon. Geophysical processes and biosphere. 2014. Vol. 13. No. 1. pp. 74-80. (In Russ.)
10. Lobkovskii L. I., Kotelkin V. D. Two-tier thermochemical model of convection and its geodynamic consequences. Problems of global geodynamics. Moscow, 2000. pp. 29-30. (In Russ.)
11. Mazurov B. T. Mathematical modeling in the study of geodynamics. Monograph. Novosibirsk. Agency "Sibprint", 2019. P. 13. (In Russ.)
12. Malyshev Yu. P., Dzhumabaev K. B. Prediction of earthquakes by the parameters of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth. Volcanology and seismology. 1987. No. 1. pp. 97-103. (In Russ.)
13. Nesmeyanov S. A. Engineering geotectonics. Moscow, Nauka, 2004. pp. 13-15. (In Russ.)
14. Nikonov A. A. Signs of young tectonic activity in the zones of the South Azov and Kerch faults. Geotektonika. 1994. No. 5. pp. 16-27. (In Russ.)
15. Pushcharovskii D. Yu. Mineral changes in deep geospheres. Vestnik. Moscow State University. Ser. 4, Geology. 2004. No. 2. pp. 3-10. (In Russ.)

16. Rastvorova V. A. Formation of the mountainrelief. Leningrad. Publishing house "Nauka". 1973. pp. 78. (In Russ.)
17. Sorokhtin O. G., Ushakov S. A. The nature of tectonic activity of the Earth. Results of Science and Technology. Ser. Physics of the Earth. Moscow, 1993. Vol. 12. (In Russ.)
18. Trifonov V. G., Karakhanyan A. S. Dynamics of the Earth and the development of society. OGI. Moscow. 2008. pp. 8-9. (In Russ.)
19. Khain V. E., Lomize M. G. Geotectonics with the basics of geodynamics: 2nd ed., Revised. and add. Moscow. KDU, 2005. pp. 534. (In Russ.)
20. Chotchaev Kh. O., Kolesnikova A. M., Maisuradze M. V., Shepelev V. D. Physical fields as derivatives of rock mass deformation and technology for their monitoring. Geology and geophysics of Russian South. 2018. No. 4. pp. 179-190. (In Russ.)
21. Chotchaev Kh. O., Oganesyanyan S. M., Goncharenko O. A. Dangerous geological processes in the territories of economic development in the mountainous part of the Republic of North Ossetia – Alania. Vol. 9. Issue 3 (33). 2017. North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (In Russ.) DOI: 10.21177/1998-4502-2017-9-3-195-210.
22. Sheko A. I. Regularities of formation and forecast of mudflows. Moscow. Nedra, 1980, 296 p. (In Russ.)
23. Yarotskiy G. P., Chotchaev Kh. O. Tectonic predetermination of the Khailin earthquake in the Southwest of the Koryak Upland. Geology and geophysics of Russian South. 2016. No. 4. pp. 129-140. (In Russ.)
24. Yarotskiy G. P., Chotchaev Kh. O. Volcanogens of the marginal orogenic belts of the Northwestern sector of Northeast Asia. Geology and geophysics of Russian South. 2019. Vol. 9. No. 3. pp. 18-35. (In Russ.)
25. Allen C. R. Geological criteria for evaluating seismicity. Bul. Geol. Soc. Amer. 1975. Vol. 86. No. 8. pp. 1041-1057.
26. Boyet M, Blichert-Toft J., Rosing M, Storey M, Telouk P., Albarede F. 142Nd evidence for early Earth differentiation. Earth and Planet. Sci. Lett. 2003. Vol. 214. pp. 427-442.
27. Bull W. B. Geomorphic responses to climatic change. New York. Oxford University Press. 1991. p. 326.
28. Bull W. B., McFadden L. Tectonic geomorphology North and South of the Garlock fault, California. In: Doehring, D. O. (Ed.), Geomorphology in Arid Regions. Publ. in Geomorphology, State University of New York, Binghamton. 1977. pp. 115-138.
29. Burbank D. W., Anderson R. S. Tectonic Geomorphology. Blackwell Science. 2001. Vol. 43. pp. 105-129.
30. Peters G., Van Balen R. T. Tectonic geomorphology of the northern Upper Rhine Graben, Germany. Glob. Planet. Chang. 2007. Vol. 58. pp. 310-334.
31. Duvillard P-A, Ravanel L., Deline Ph. Risk assessment of infrastructure destabilisation due to global warming in the high French Alps. Journal of Alpine Research. Revue de géographie alpine. 2015. Vol. 103-2. pp. 1-15.
32. Evans S. G., Bishop N. F., Smoll L. F., Murillo P. V., Delaney K. B., Oliver-Smith A. A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascarán, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970. Engineering Geology. 2009. Vol. 108. No. 1-2. pp. 96-118.
33. Flavio C. T. Lima, Alexandre C. Ribeiros. Continental Scale Tectonic Controls of Biogeography and Ecology. Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes. 2011. pp. 164.
34. Ktern K., Lieb G. K., Seier G., Kellerer-Pirkibaue A. Modelling geomorphological hazards to assess the vulnerability of alpine infrastructure: The example of the Großglockner-Pasterze area, Austria. Austrian Journal of Earth Sciences. 2012. Vol. 105/2.
35. Keller E. A. Pinter N. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. New York. Prentice Hall. 2012. pp. 432.

36. Heads M. The New Zealand grass *Simplicia*: biogeography, ecology and tectonics. *Australian Systematic Botany*. 2018. Vol. 31. pp. 281-295.
37. Muir Wood R. Tectonic ecology. *Trends Ecol Evol*. 1987. No. 2 (9). pp. 276-279. doi:10.1016/0169-5347(87)90036-X.
38. Persaud M., Pfiffner O. A. Active deformation in the eastern Swiss Alps: post-glacial faults, seismicity and surface uplift. *Tectonophysics*. 2004. Vol. 385. pp. 59-84.
39. Robinson T. R., Davies T. R. H. Review article: Potential geomorphic consequences of a future great (Mw $\frac{1}{4}$ 8.0b) Alpine Fault earthquake, South Island, New Zealand. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2013. Vol. 13. pp. 2279-2299.
40. Trewick S. A. Plate Tectonics in Biogeography. *The International Encyclopedia of Geography*. Edited by Douglas Richardson, Noel Castree, Michael F. Goodchild, Audrey Kobayashi, Weidong Liu, and Richard A. Marston. Published 2017 by John Wiley & Sons, Ltd. 2017. DOI: 10.1002/9781118786352. wbieg 0638.
41. Veblen T. T, González M. E., Stewart G. H., Kitzberger T. & Brunet J. Tectonic ecology of the temperate forests of South America and New Zealand. *New Zealand Journal of Botany*, 2016. Vol. 54 (2). pp. 1-24. DOI: 10.1080/0028825X.2015.1130726.
42. Yuen D. A., Maruyama Sh., Karato Sh-i., Windley B. F. *Superplumes: Beyond Plate Tectonics*. Eds. The Netherland: Springer. 2007. 569 p.
43. Zaalishvili V., Chotchaev Kh., Melkov D., Burdzieva O., Dzeranov B., Kanukov A., Archireeva I., Gabaraev A. and Dzobelova L. Geodetic, geophysical and geographical methods in landslide investigation: Luar case study. *Web of Conferences Volume 164 Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering*. TPACEE. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016401014>.