

## ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 551.435.627

DOI: [10.46698/VNC.2022.48.61.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.48.61.010)

Оригинальная статья

## Управление геоэкологическим риском и проблемы устойчивого развития горных территорий

В. Б. Свалова 

Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН, Россия, 101000, Москва, Уланский  
переулок, 13, к. 2, e-mail: v-svalova@mail.ru;

Статья поступила: 04.02.2022, доработана: 21.02.2022, одобрена в печать: 11.03.2022

**Резюме: Актуальность работы.** Тенденция к повышению опасности и риска природных и техногенных катастроф представляет угрозу человечеству, как на глобальном, так и на национальном и региональном уровнях. В этой связи в качестве приоритетов выдвигается фундаментальная и прикладная наука, призванная на более глубоком научном уровне развивать и разрабатывать новые направления и подходы к решению задач теории безопасности и прикладных методов анализа и управления риском опасных природно-техногенных процессов, чрезвычайных ситуаций, стихийных бедствий и катастроф. **Цель работы.** Прогноз стихийных бедствий и катастроф является одной из важнейших задач научной и народно-хозяйственной деятельности, не решенных до сих пор. Целью работы является разработка комплексного подхода к риск-анализу опасных природных процессов, оценке и управлению риском отдельных и интегральных природных опасностей и рисков; выделение определяющих параметров геоэкологического риска для различных областей, регионов и геологических обстановок; разработка концепции и выделение горячих пятен по геоэкологическому риску. **Методы исследования.** При разработке проблем оценки и управления риском использовались методы и подходы риск-анализа. Одним из основных методов исследования явился Метод анализа иерархий. **Результаты работы.** Разработана концепция и методика унификации, формализации и цифровизации оценки и картографирования природно-экологического риска на базе общей платформы управления риском и выявления определяющих параметров природной опасности для различных территорий и природно-техногенных условий. В Кавказском регионе ярко выделяется горячая полоса Кавказа по степени экологического риска, характеризующая зону коллизии Африканской и Евразийской литосферных плит. Горячая полоса Кавказа проходит от Махачкалы через Грозный, Владикавказ и Краснодар, расширяясь к Черноморскому побережью Кавказа и Азовскому морю. На территории горячей полосы выделяются горячие пятна 1-го ранга риска, связанные с высокой плотностью населения и особо ценными объектами – Дербент, единственный на Кавказе объект культурного наследия ЮНЕСКО, и горный кластер Сочи с Олимпийскими объектами, а также горячие пятна 2-го ранга риска – крупные города и курорты Северного Кавказа. Горячие пятна риска Кавказа требуют повышенного внимания к организации экологического мониторинга, проведения инженерно-защитных мероприятий и информации для населения и принимающих решения организаций о возможных стихийных бедствиях и катастрофах.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, горные территории, риск, природные опасности, ущерб, уязвимость, метод анализа иерархий Саати.

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №19-47-02010, «Natural hazards and monitoring for mountain territories in Russia and India») и темы НИР (№0142-2014-0027 «Развитие теории и методов изучения новейшей тектоники и современной геодинамики платформенных и орогенных территорий применительно к оценке их безопасности»).

**Для цитирования:** Свалова В. Б. Управление геоэкологическим риском и проблемы устойчивого развития горных территорий. *Геология и геофизика Юга России*. 2022. 12 (1): 129–147. DOI: 10.46698/VNC.2022.48.61.010.

DOI: [10.46698/VNC.2022.48.61.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.48.61.010)

Original paper

## Geoecological risk management and problems of sustainable development of mountain territories

V. B. Svalova 

Sergeev Institute of Environmental Geoscience, RAS, 13, building 2 Ulansky per.,  
Moscow 101000, Russian Federation, e-mail: v-svalova@mail.ru;

Received: 04.02.2022, revised: 21.02.2022, accepted: 11.03.2022

**Abstract: Relevance.** The tendency to increase the danger and risk of natural and man-made disasters poses a threat to humanity both at the global and national and regional levels. In this regard, fundamental and applied science is put forward as priorities, designed to develop and develop new directions and approaches to solving problems of safety theory and applied methods for analyzing and managing the risk of hazardous natural and man-made processes, emergencies, natural disasters and catastrophes at a deeper scientific level. **Aim.** The forecast of natural disasters and catastrophes is one of the most important tasks of scientific and national economic activity that has not yet been resolved. The aim of the work is to develop an integrated approach to the risk analysis of hazardous natural processes, risk assessment and management of individual and integral natural hazards and risks; identification of the determining parameters of geoecological risk for various areas, regions and geological settings; development of the concept and identification of hot spots according to geoecological risk. **Methods.** When developing the problems of risk assessment and management, methods and approaches of risk analysis were used. One of the main research methods was the Hierarchy Analysis Method. **Results:** The concept and methodology for unification, formalization and digitalization of the assessment and mapping of natural and environmental risk have been developed based on a common platform for risk management and identification of the key parameters of natural hazard for various territories and natural and technogenic conditions. In the Caucasus region, the hot zone of the Caucasus is clearly distinguished according to the degree of ecological risk, which characterizes the collision zone of the African and Eurasian plates. The hot zone of the Caucasus runs from Makhachkala through Grozny, Vladikavkaz and Krasnodar, expanding to the Black Sea coast of the Caucasus and the Sea of Azov. On the territory of the hot zone, hot spots of the 1st risk rank are distinguished, associated with a high population density and especially valuable objects (Derbent, the only UNESCO cultural heritage site in the Caucasus, and the Sochi mountain cluster with Olympic sites) as well as hot spots of the 2nd risk rank (large cities and resorts of the North Caucasus). Hot risk points in the Caucasus require increased attention to the organization of environmental monitoring, engineering and protective measures and informing the population as well as decision-making organizations about possible natural disasters and catastrophes.

**Keywords:** sustainable development, mountain territories, risk, natural hazards, damage, vulnerability, the analytical hierarchy process developed by Saaty.

**Acknowledgment:** *This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation, (project No. 19-47-02010, "Natural hazards and monitoring for mountain territories in Russia and India") and research topics (No. 0142-2014-0027 "Development of the theory and methods of studying the latest tectonics and modern geodynamics of platform and orogenic territories in relation to the assessment of their safety").*

**For citation:** Svalova V.B. Geoecological risk management and problems of sustainable development of mountain territories. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* (in Russ.). 2022. 12 (1): 129-147. DOI: 10.46698/VNC.2022.48.61.010.

## Введение

Концепция Устойчивого развития горных территорий является составной частью концепции Устойчивого развития территорий, которая в свою очередь является частью общей концепции Устойчивого развития [Безопасность России, 2015].

Комплексный системный подход к решению проблем устойчивого развития территорий может осуществляться на основе концепции управления риском [Природные опасности России, 2003], когда количественно оценивается риск от каждого последующего шага развития территорий и внедрения в экологическую среду и даются рекомендации по снижению такого риска.

Также следует учитывать все многообразие опасных природных процессов на данной территории и возможное усиление их воздействия на геологическую среду и увеличение возможных ущербов при возрастающей экологической нагрузке на систему.

Природный риск горных и равнинных территорий имеет свою специфику и особенности.

Многие геоэкологические проблемы стоят особенно остро на горных территориях.

Если наибольшей природной опасностью для равнинных территорий являются наводнения, то для горных местностей наибольшую опасность представляют землетрясения [Природные опасности России, 2001, 2002]. И проливные дожди, и землетрясения являются триггерами для оползневых процессов – селей, обвалов, осыпей, оползней разного типа, которые также наиболее опасны для горных территорий [Zaalishvili et al., 2021].

Для оценки экологического риска необходимо проанализировать всю сложность геоэкологической и метеорологической обстановки в регионе, а также вычислить возможные потери и ущерб в результате природных бедствий и катастроф. Все параметры природного риска следует формализовать и оценить для перехода от качественного анализа к количественному.

Некоторые виды опасностей могут носить определяющий характер, а другие подчиненный. Также некоторые тектонические и геолого-геофизические характеристики территорий носят доминирующий характер в регионе, а другие второстепенный и подчиненный. Для каждой территории необходим комплексный геолого-геофизический и метеорологический анализ с точки зрения возможных природных опасностей. Затем необходимо выделение определяющих и доминирующих опасностей, их количественная оценка на основе сравнительных характеристик параметров опасных природных и техногенных процессов.

Процесс оценки экологического риска носит вероятностно-детерминированный характер, связанный как с экспертными оценками специалистов, анализом физических процессов, так и со статистикой природных и техногенных опасностей и их последствий для регионов. Результатом таких исследований для регионов может служить построение карт экологического риска как по отдельным видам опасностей, так и комплексных экологических карт по ряду признаков с выделением горячих пятен по степени риска с дальнейшими рекомендациями по организации комплексного экологического мониторинга для территории в целом и объектового мониторинга для наиболее опасных и ценных строений и объектов, подверженных опасным экологическим процессам. Специальный интерес представляют особо ценные и охраняемые объекты культурного наследия, заповедные территории

и заказники, а также особо опасные промышленные объекты – атомные станции, плотины, дороги, мосты, трубопроводы, заводы опасного промышленного производства и др.

В этой связи большое значение приобретает экологическая оценка территорий с точки зрения изучения экологической нагрузки, решения проблем рационального природопользования и устойчивого развития для планирования градостроительства и размещения на территории новых объектов, представляющих экологическую опасность, таких, например, как места депонирования и глубокой переработки твердых бытовых и коммунальных отходов, что является крайне актуальной и многоплановой задачей, особо важной в горных и густонаселенных регионах, каждый из которых имеет свою специфику и высокую экологическую нагрузку.

Одним из важных вопросов рационального природопользования и территориального планирования Кавказского региона является развитие санаторно-курортного комплекса, строительство новых объектов для развития внутреннего туризма с выполнением всех критериев и норм устойчивого развития как территорий в целом, так и горных территорий в особенности. Таким образом, оценка, картирование и управление экологическим риском является важной народно-хозяйственной задачей, решение которой должно быть востребовано как научными, так и административными организациями, органами, принимающими решения и ответственными за безопасность в регионе, включая систему МЧС.

**Целью данной работы** является разработка методики унифицированной оценки и картографирования дифференцированного и интегрального природного риска с акцентом на горные территории, выделение определяющих параметров природной опасности, ущерба и риска и расчет весовых вкладов параметров на основе метода анализа иерархий Саати.

Результатом исследований по данной тематике может быть создание комплексного Атласа природных опасностей и рисков Кавказского региона, состоящего из комплекта экологических карт разного назначения, разработка и внедрение геоэкологического рейтинга городов Кавказского региона, а также комплексной системы рекомендаций по организации мониторинга, по системе рационального природопользования и постоянного устойчивого экономического роста.

### Опасные природные процессы, стихийные бедствия и катастрофы

Самыми разрушительными стихийными бедствиями в мире являются землетрясения, наводнения и ураганы. Цунами и извержения вулканов также крайне опасны, но они сравнительно редки.

Основными опасными природными процессами на горных территориях являются землетрясения, оползни и наводнения. На равнинных территориях – наводнения, оползни и карст. На городских равнинных территориях – оползневые процессы, карст и подтопление [Геологический риск..., 2020; Москва, 1997; Рекомендации..., 2002] (Государственные доклады «О состоянии защиты населения и территорий Республики Дагестан от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2008-2014 гг.». Махачкала: Главное управление МЧС РФ по Республике Дагестан, 2009-2015; Государственные доклады «О состоянии защиты населения и территорий Республики Ингушетия от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за 2008-2014 гг.». Магас: Главное управление МЧС РФ

по Республике Ингушетия, 2008-2014; Государственные доклады «О состоянии защиты населения и территорий Кабардино-Балкарской Республики от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2008-2014 гг.». Нальчик: Главное управление МЧС РФ по Кабардино-Балкарской Республике, 2009-2015; Государственные доклады «О состоянии защиты населения и территории Чеченской Республики от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2008-2014 гг.». Грозный: Главное управление МЧС РФ по Чеченской Республике, 2009-2015; Доклады «О состоянии защиты населения и территорий Карачаево-Черкесской Республики от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за 2008-2014 гг.». Черкесск: Главное управление МЧС РФ по Карачаево-Черкесской Республике, 2009-2015; Защита от затопления и подтопления городов, населенных пунктов, объектов народного хозяйства и ценных земель в бассейне р. Терек на территории пяти республик Российской Федерации – Дагестана, Ингушетии, Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Чечни (первоочередные противопожарные мероприятия). Федеральная целевая программа. М.: Роскомвод, 1995. 63 с.; Краевая целевая программа «Экология и природные ресурсы Ставропольского края на 2012-2015 годы. Утверждена постановлением Правительства Ставропольского края от 20 июля 2011 г. №268-п. Ставрополь, 2011. 27 с.; Материалы для ежегодного государственного доклада «О состоянии защиты населения и территории Республики Северная Осетия-Алания от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2008-2014 гг.». Владикавказ: Главное управление МЧС РФ по Республике Северная Осетия-Алания, 2008-2014; Материалы для подготовки ежегодного государственного доклада «О состоянии защиты населения и территории Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» по Ставропольскому краю за 2008-2014 гг.». Ставрополь: Главное управление МЧС РФ по Ставропольскому краю, 2009-2015).

Землетрясения и ливни являются триггерами для оползневых процессов.

Не существует опасного природного процесса, напрямую выражающего тектоническую опасность, параметрами которой являются глубинные разломы, скорости движения поверхности и литосферных плит региона, трещиноватость пород, повышенный тепловой поток, напряженно-деформированное состояние среды.

Но многие опасные природные процессы – землетрясения, оползни, вулканы, цунами – вызваны именно тектоническими и геодинамическими причинами [Милуков и др., 2015; Моисеенко, Негров, 1993; Хулелидзе, 2010; Чотчаев и др., 2020; Ganapathy et al., 2018; Rogozhin et al., 2015; Zaalishvili et al., 2021].

Оползни и карст на городских территориях более опасны, чем подтопление, вследствие большей неожиданности и непредсказуемости события. Опасность от подтопления более распределена по времени, но ущерб от разрушенного здания может быть одинаков от воздействия оползня, провала земной поверхности или перекоса фундамента и обрушения здания вследствие подтопления.

### Геоэкологический риск

Существуют различные определения геоэкологического риска [Безопасность России, 2015; Геологический риск..., 2020; Природные опасности России, 2003; Рекомендации..., 2002; Шныпарков и др., 2013; Knight, 1921; Corominas et al., 2014; Vranken et al., 2015]. Наиболее распространенными определениями являются: 1) Риск есть математическое ожидание ущерба; 2) Риск равен произведению

вероятности возможного опасного события на произведенный в случае события ущерб:

$$R = P \times D,$$

где R – риск, P – вероятность, D – ущерб.

Для оценки опасности, ущерба и риска следует формализовать параметры, их определяющие, и адекватно их оценивать на основе экспертных и статистических характеристик.

Для построения карт риска необходимо найти пересечение карты интегральной природной опасности и интегральной карты (объединения карт) возможного ущерба, т. е. для каждого *i*-того фрагмента карты риска  $R_i$  найти произведение вероятности интегрального опасного события  $P_i$  на сумму различных *k*-тых возможных ущербов от опасных процессов:

$$R = P \times D,$$

где R – риск, P – вероятность, D – ущерб.

$$R_i = P_i \times D_i$$

$$R_i = \sum_j \alpha_j P_{ij} \sum_k \beta_k D_{ik}, \quad (1)$$

где  $\alpha_j$  – вес отдельной природной опасности,  $\beta_k$  – вес ущерба для отдельного параметра.

Город в сейсмоопасной зоне является источником повышенного риска вследствие больших потенциальных жертв и разрушений.

Там, где на фоне высокой сейсмической опасности существует еще оползневая опасность, риск существенно повышается.

И если сейсмическая опасность на территории города одинакова, то оползневая опасность в сейсмоопасном городе дифференцирована и увеличивает опасность и риск.

Следует понимать, что параметры опасности и риска тесно связаны между собой. Где больше население, там больше жилья, дорог и коммуникаций.

Как правило, цена земли и жилья выше там, где выше плотность населения. Там же выше плотность застройки и коммуникаций. Таким образом, плотность населения может рассматриваться как показатель и определяющий параметр для оценки потенциального ущерба в случае опасного события. Карты плотности на-

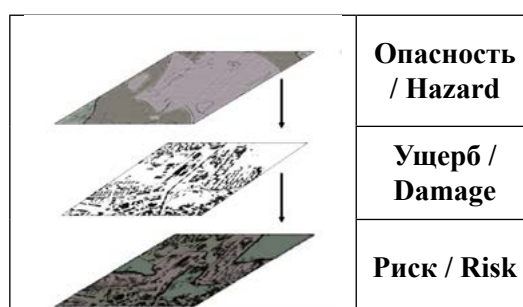


Рис. 1. Информационные слои карты риска [Геологический риск..., 2020, с изменениями] /

Fig. 1. Information layers of the risk map [Geological risk..., 2020, as amended]

селения очень показательны для оценки потенциального ущерба при стихийных бедствиях и катастрофах.

На картах риска отражается пространственная распространенность различных природных опасностей с выделением территорий с различной степенью ущерба по отношению к действию опасных процессов.

Расчетными параметрами являются данные о вероятности развития опасных процессов, а также показатель ущерба для территорий. При наложении данных параметров на топографическую основу можно получить величину риска для любого участка карты (рис. 1).

Составляются карты дифференцированного и интегрального риска. Карты дифференцированного риска отражают риск от какой-либо одной природной опасности – сейсмической, оползневой, карстовой и т.д. Карты интегрального риска показывают суммарный эффект от нескольких опасностей на заданной территории за определенную единицу времени, обычно, 1 год.

По отношению к реципиенту риски могут быть социального, экономического, экологического и др. характера. Карты имеют различный масштабный уровень: глобальный, федеральный, региональный, локальный и объектовый.

Опасные природные процессы Кавказского региона.

Анализ фактического материала и методы исследования

### **1. Сейсмичность**

Северный Кавказ является частью протяженной Крым-Кавказ-Копетдагской зоны Иран-Кавказ-Анатолийского сейсмоактивного региона.

Северный Кавказ характеризуется самой высокой сейсмической активностью в европейской части России [Атлас..., 2007, 2010; Уломов и др., 2007].

Ему свойственны очень крупные землетрясения.

В сейсмическом отношении наиболее активны территории Дагестана, Чечни, Ингушетии и Северной Осетии.

Наиболее сейсмоопасной является территория в полосе шириной 200-300 км вдоль южной государственной границы, где возможны землетрясения интенсивностью 8-10 баллов (рис. 2).

### **2. Оползневой риск на Северном Кавказе**

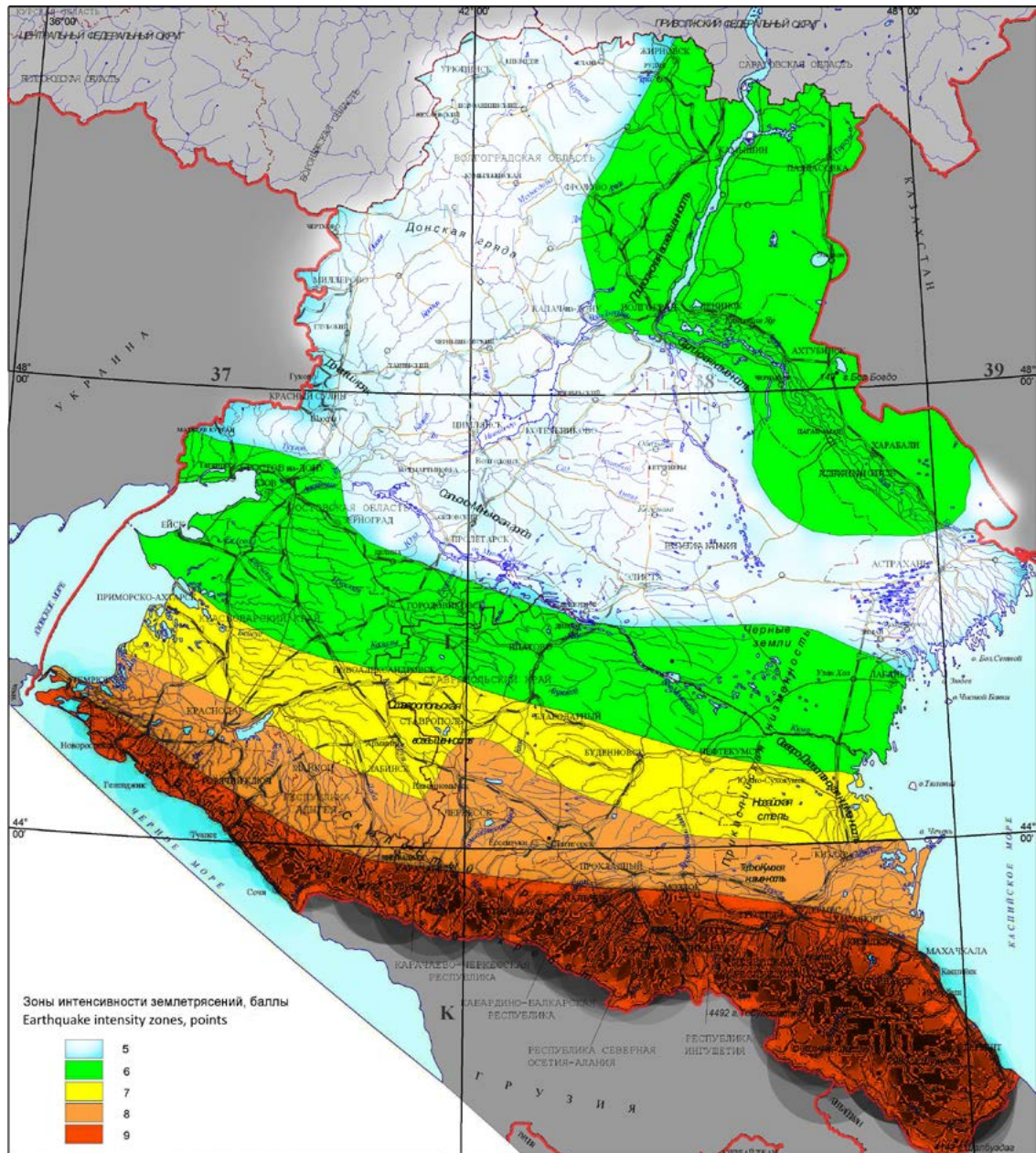
Оползневые процессы встречаются практически на всей территории Северного Кавказа.

Территории с чрезвычайно опасными районами распространены в двух субъектах Северного Кавказа – Краснодарском крае и Республике Дагестан [Атлас..., 2007, 2010; Добрев и др., 2019; Шныпарков и др., 2013; Бабурин и др., 2014].

Практически во всех субъектах Северного Кавказа получили распространение районы с высокой и весьма высокой степенью оползневой опасности (рис. 3).

Воздействию оползней на Северном Кавказе подвержены такие крупные города как Новороссийск, Краснодар, Сочи, Майкоп, Армавир, Ставрополь, Черкесск, Кисловодск, Нальчик, Владикавказ, Грозный, Махачкала.

В средне- и низкогорье в наибольшей степени проявляется оползневая опасность и сосредоточена значительная часть инфраструктуры, что определяет наибольший оползневой риск.



*Рис. 2. Северо-Кавказский и Южный федеральный округа. Карта общего сейсмического районирования со степенью сейсмической опасности (Rosstat) / Fig. 2. North Caucasian and Southern Federal Districts. Map of general seismic zoning with the degree of seismic hazard (Rosstat)*

### 3. Наводнения на Северном Кавказе

Весенние половодья и летне-весенние паводки являются источниками наиболее опасных и разрушительных наводнений на Северном Кавказе.

Реки Северного Кавказа характеризуются различными видами формирования стока. Реки подразделяются на два типа [Разумов и др., 2000, 2013]: 1) Реки с максимальным стоком от таяния снегов и ледников. 2) Реки с максимальным стоком, обусловленным выпадением интенсивных осадков. К первому типу относится часть рек Ставропольского края и реки республик Северного Кавказа. Ко второму типу – равнинные реки Ставропольского края.



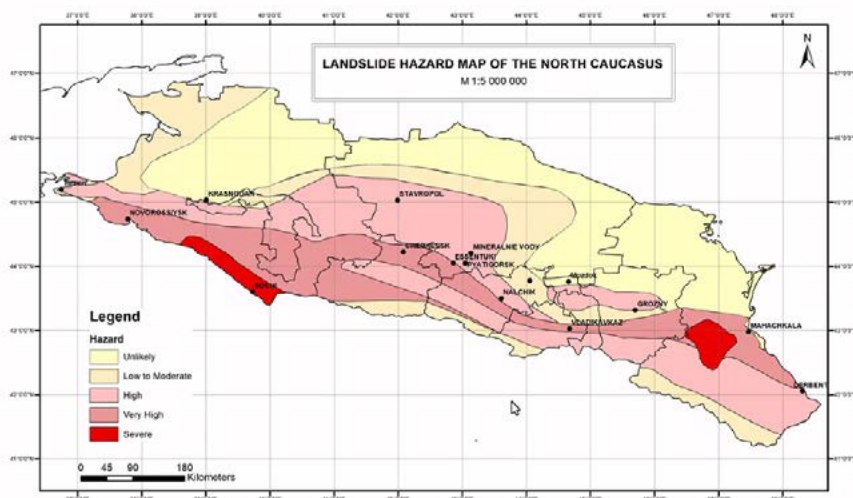


Рис. 3. Опасность оползней Северного Кавказа [Атлас..., 2007] /  
 Fig. 3. Hazard of landslides in the North Caucasus [Atlas..., 2007]

Степень опасности наводнений определяется превышением максимального уровня воды в реках во время затопления над исходным уровнем.

Максимальный уровень воды определяет площадь затопления. Выделяются 4 зоны с разной степенью опасности наводнений (рис. 4) [Разумов и др., 2000, 2013].

1) Зона чрезвычайно опасных наводнений. При этом максимальные уровни воды превышают исходный уровень более чем на 3,2 метра (район в бассейне р. Кубань.)

2) Зона весьма опасных (2,1-3,2 м) и опасных (1,5-2,0 м) наводнений (районы в среднем и нижнем течении р. Терек).

3) Зона умеренно опасных наводнений (0,8-1,4 м) (бассейны рек Сулак, Сунжа, Малка, Баксан, Чегем, Черек, Кума).

4) Зона мало опасных наводнений. Подъем воды менее 0,8 м. Распространены на большей части региона.

Наибольшей угрозе наводнений подвержена самая густонаселенная предгорная и равнинная часть региона. В горных и предгорных районах наблюдается высокая вероятность прохождения по руслам рек селевых потоков, что является результатом совместного действия талых вод и проливных дождей. Процесс сопровождается стремительным подъемом уровня воды в узких речных долинах. Паводки редкой повторяемости с максимальным расходом наносят наибольший урон экономике и населению.

#### Потенциальный ущерб от природных опасностей и катастроф. Анализ фактического материала

При оценке потенциального ущерба в случае наступления катастрофического события в качестве определяющих параметров могут рассматриваться плотность населения, плотность застройки, плотность коммуникаций, стоимость жилья, стоимость земли. На основе экспертных оценок в качестве основных определяющих параметров оценки интегрального ущерба можно рассматривать плотность населения, плотность коммуникаций и плотность застройки (рис. 5).

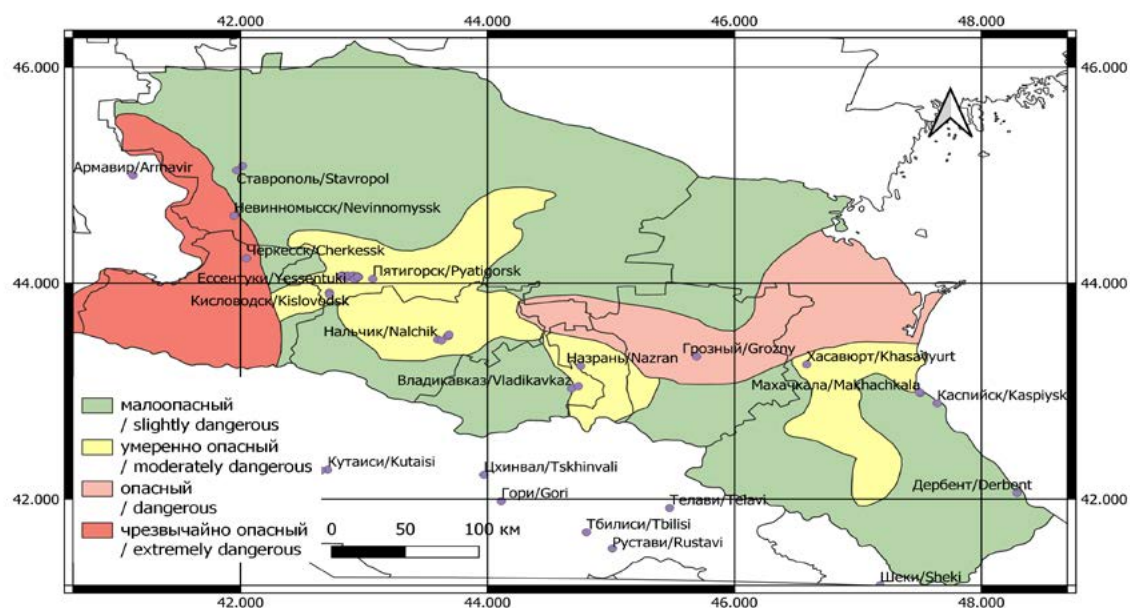


Рис. 4. Опасность наводнений [Разумов и др., 2000, 2013]. Тип процесса по уровню опасности: 1) черный – чрезвычайно опасный, 2) темный – опасный / очень опасный, 3) белый – умеренно опасный, 4) светлый – малоопасный /

Fig. 4. Flood hazard [Razumov et al., 2000, 2013]. Type of process by hazard level: 1) black – extremely dangerous, 2) dark – dangerous / very dangerous, 3) white – moderately dangerous, 4) light – slightly dangerous

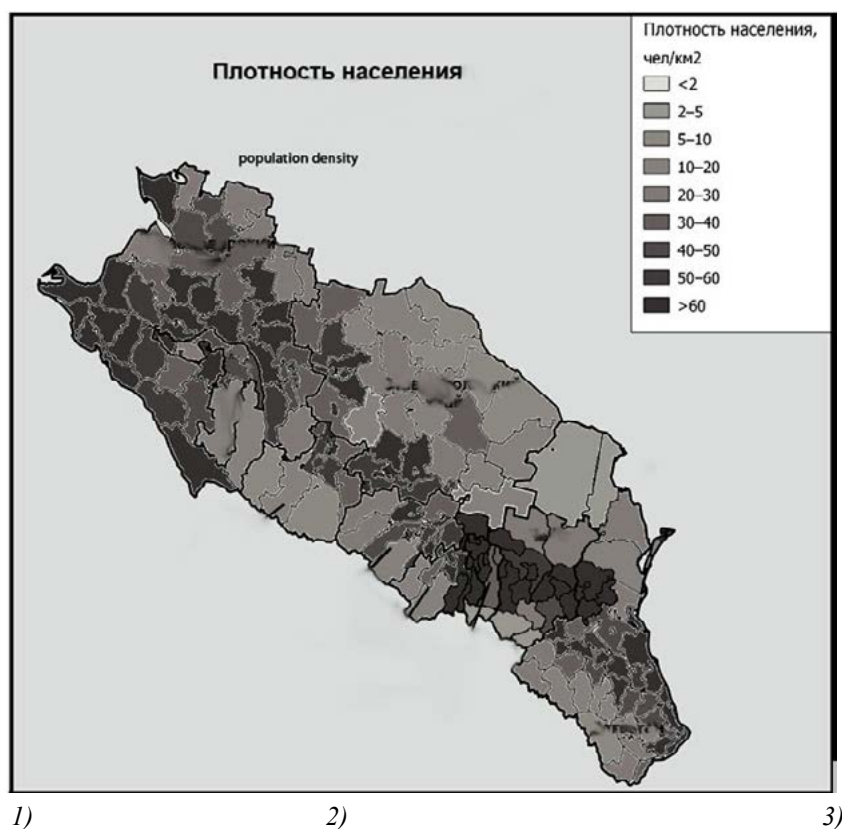


Рис. 5. Плотность населения Северного Кавказа (Росстат) / Fig. 5. Population density of the North Caucasus (Rosstat)

## Методы исследования Метод анализа иерархий

Существуют две основные проблемы при оценке и картографировании геоэкологического риска:

1) Унификация количественной оценки природного риска от разного вида опасностей при наличии различных качественных и количественных параметров опасных природных процессов и различных параметров и значений оценки ущерба.

2) Унифицированный подход к построению пересечения карт интегральной опасности и интегрального ущерба, включая построение интегральных карт различных опасных природных процессов и интегральных карт различного вида потенциальных ущербов.

Количественными параметрами оценки опасности служат:

- Для землетрясений – сейсмичность в баллах,
- Для наводнений и подтоплений – высота подъема воды,
- Для ураганов – скорость ветра,
- Для ливней – количество выпавших осадков,
- Для засухи – температура и влажность воздуха и почвы.
- Для оползней таким количественным параметром может служить устойчивость оползневого склона, но это расчетный параметр. А измеряемыми параметрами оценки оползневой опасности могут служить угол склона, высота склона, прочностные свойства пород, обводненность (близость реки), а триггерами – сейсмичность и метеорология (ливни, таяние снега). Также результат оползневого процесса оценивается объемом и массой оползневого тела.
- Для снежных лавин и селей для характеристики опасного процесса используются скорости движения потока масс, длина склона, плотность и состав пород, объем движущихся масс. Оценивается и рассчитывается область поражения движущимся потоком.

По каждому из выбранных параметров устанавливается количественная шкала и делится на 5 градаций: очень малое значение, малое, среднее, умеренно большое, очень большое. Каждой градации присваивается численный параметр, например: 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9. Этот параметр рассматривается как оценка вероятности опасного природного события.

Ущерб также оценивается по 5 градациям: очень малое значение, малое, среднее, умеренно большое, очень большое. Каждой градации также присваивается численный параметр: 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9.

Чтобы учесть все эти параметры, необходима также весовая оценка вклада каждого параметра в процесс.

Аналогично, весовая оценка вклада потребуется при оценке интегрального риска как суммы рисков от различных опасных процессов. Что в свою очередь требует экспертной оценки специалистов, статистических данных и разработки математических методов и подходов.

Так одним из наиболее продуктивных методов оценки весовых характеристик вклада природных опасностей от каждого из опасных природных процессов в оценку интегрального риска может служить метод анализа иерархий, разработанный Томасом Саати (США) в 1970 г. [Саати, 1993].

Основу метода Саати составляют попарные сравнения альтернатив по каждому из критериев и попарное сравнение критериев с точки зрения важности для поставленной цели. Т. е. все сравнения производятся попарно самым простым методом.

Метод позволяет получить объективные математические соотношения между альтернативами на основе субъективного взгляда лица, принимающего решение.

Метод предлагает использовать для сравнения качественные признаки, переводимые в количественные по 9-тибалльной шкале (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

**Качественные варианты сравнения и соответствующие им количественные баллы. / Qualitative comparison options and their corresponding quantitative scores.**

Качественное сравнение/ Qualitative comparison	Количественный аналог/ Quantitative analogue	Качественное сравнение/ Qualitative comparison	Количественный аналог/ Quantitative analogue
равно / equals	1	равно / equals	1
немного лучше / a little better	3	немного хуже / a little bit worse	1/3
лучше / better	5	хуже / worse	1/5
значительно лучше / much better	7	значительно хуже / much worse	1/7
принципиально лучше / fundamentally better	9	принципиально хуже / fundamentally worse	1/9

Можно использовать промежуточные баллы 2, 4, 6, 8, если трудно определиться между двумя качественными признаками.

**Построение матрицы попарных сравнений критериев по цели**

Основными опасными природными процессами на горных территориях являются землетрясения, оползни и наводнения. На равнинных территориях – наводнения, оползни и карст. На городских равнинных территориях – оползневые процессы, карст и подтопление.

Согласно экспертным оценкам, можно считать, что для горных территорий землетрясения являются самыми опасными процессами, опаснее, чем оползни, и значительно опаснее, чем наводнения. А оползни опаснее, чем наводнения.

Тогда можно получить матрицу попарных сравнений критериев для землетрясений (ЗТ), оползней (О) и наводнений (Н) (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

**Матрица попарных сравнений критериев. / Pairwise Criteria Comparison Matrix.**

	Землетрясения / Earthquakes	Оползни / Landslides	Наводнения / Floods
Землетрясения / Earthquakes	1	5	7
Оползни / Landslides	1/5	1	5
Наводнения / Floods	1/7	1/5	1

Достаточно составить только часть матрицы над главной диагональю. Под главной диагональю записываются числа, обратные к числам над диагональю. На диагонали ставятся единицы, так как одинаковые критерии равны между собой.

Далее, согласно методике Саати, проводится нормировка матрицы:

1. Находится сумма элементов каждого столбца (табл. 3).
2. Все элементы матрицы делятся на сумму элементов соответствующего столбца (табл. 4).
3. Определяются веса строк. Для этого определяется среднее значение в каждой строке полученной матрицы (табл. 5).

Полученный столбец определяет веса строк матрицы – веса критериев с точки зрения поставленной цели. Этот столбец называется **весовым столбцом критериев по цели** (см. табл. 5).

Таблица 3 / Table 3

**Матрица суммы элементов каждого столбца. /  
Sum matrix of elements of each column.**

	Землетрясения / Earthquakes	Оползни / Landslides	Наводнения / Floods
Землетрясения / Earthquakes	1	5	7
Оползни / Landslides	1/5	1	5
Наводнения / Floods	1/7	1/5	1
$\Sigma$	1,343	6,2	13

Таблица 4 / Table 4

**Матрица элементов, деленных на сумму элементов соответствующего столбца. / Matrix of elements divided by the sum of the elements of the corresponding column.**

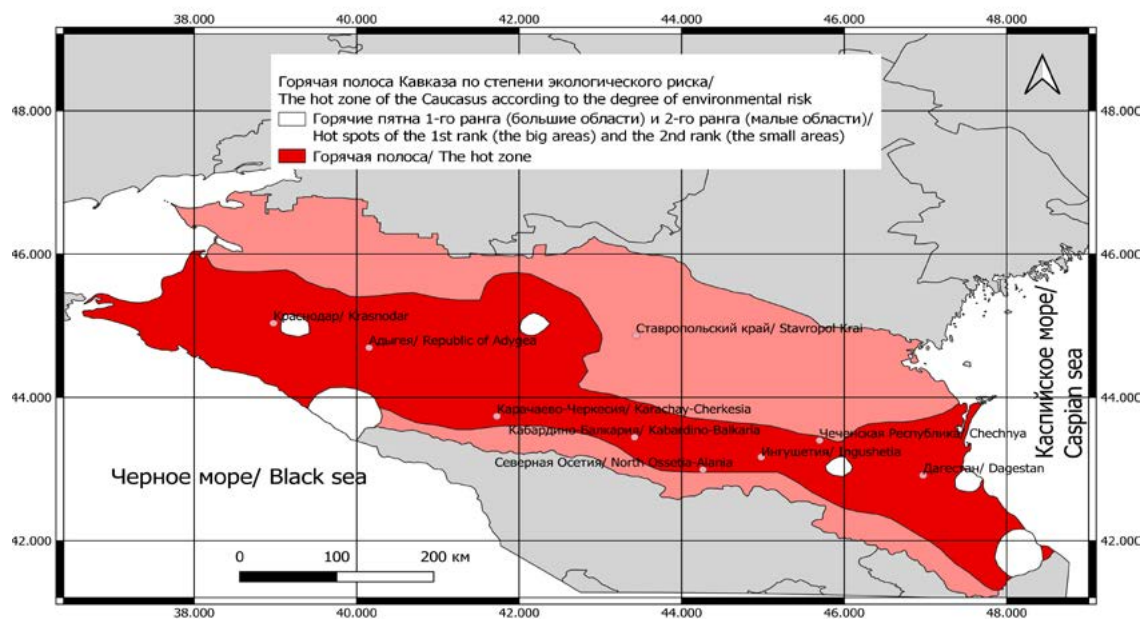
	Землетрясения / Earthquakes	Оползни / Landslides	Наводнения / Floods
Землетрясения / Earthquakes	0,745	0,8	0,56
Оползни / Landslides	0,15	0,16	0,38
Наводнения / Floods	0,1	0,03	0,08
$\Sigma$	1,343	6,2	13

Таблица 5 / Table 5

**Матрица с весовым столбцом критериев по цели. /  
Matrix with a weighted column of criteria by goal.**

	Землетрясения / Earthquakes	Оползни / Landslides	Наводнения / Floods	$\Sigma_{\text{стр}}/3$
Землетрясения / Earthquakes	0,745	0,8	0,56	0,7
Оползни / Landslides	0,15	0,16	0,38	0,23
Наводнения / Floods	0,1	0,03	0,08	0,07
$\Sigma$	1,343	6,2	13	

Полученный столбец {0,7; 0,23; 0,07} задает веса строк матрицы – веса критериев с точки зрения поставленной цели.



*Рис. 6. Горячая полоса Кавказа по степени экологического риска: горячие пятна риска на горячей полосе Кавказа (темная полоса) [Атлас..., 2007, 2010]; большие белые круги – горячие пятна 1-го ранга, малые белые круги – 2-го ранга. (Большие города и курорты Северного Кавказа) / Fig. 6. The hot zone of the Caucasus according to the degree of environmental risk: Risk hot spots in the Caucasus hot zone (dark band) [Atlas..., 2007, 2010]. Large white circles are hot spots of the 1st rank, small white circles are of the 2<sup>nd</sup> rank. (Big towns and Resorts of the North Caucasus)*

Тогда вес землетрясений при оценке интегральной опасности 0,7, оползневых процессов 0,23, а наводнений 0,07.

Что отражает наибольший вклад сейсмической опасности в интегральную природную опасность. Таким образом получен весовой вектор природных опасностей  $\alpha_j$ :

$$\alpha_j = \{0,7; 0,23; 0,07\}$$

Составив аналогичную матрицу попарных сравнений критериев по цели для оценки ущерба, считая плотность населения значительно важнее плотности коммуникаций, а плотность коммуникаций важнее плотности застройки, в качестве основного параметра с наибольшим весом можно выделить плотность населения, которая определяет все остальные параметры. Тогда можно получить весовой вектор потенциальных ущербов  $\beta_k$ :

$$\beta_k = \{0,7; 0,23; 0,07\}$$

Затем интегральный риск рассчитывается по формуле (1):

$$R_i = \sum_j \alpha_j P_{ij} \sum_k \beta_k D_{ik} \quad (1)$$

Исторически сложилось так, что именно на горячей полосе Кавказа по степени природной опасности сконцентрирована наибольшая плотность населения (Рис. 5), плотность коммуникаций и застройки, техногенной нагрузки (Рис. 6), а это определяет горячую полосу Кавказа по экологическому риску, на которой выделяются горячие пятна риска 1-го и 2-го ранга (Рис. 7).

В Кавказском регионе таким образом можно выделить горячую полосу Кавказа по степени экологического риска, характеризующую зону коллизии Африканской

и Евразийской литосферных плит, которая проходит от Махачкалы через Грозный, Владикавказ и Краснодар, расширяясь к Черноморскому побережью Кавказа и Азовскому морю. На территории горячей полосы выделяются горячие пятна 1-го ранга риска, связанные с высокой плотностью населения и особо ценными объектами – Дербент, единственный на Кавказе объект культурного наследия ЮНЕСКО, и горный кластер Сочи с олимпийскими объектами, а также горячие пятна 2-го ранга риска – крупные города и курорты Северного Кавказа (рис. 7).

Горячие пятна риска Кавказа требуют повышенного внимания к организации экологического мониторинга, проведения инженерно-защитных мероприятий и информации для населения и принимающих решения организаций о возможных стихийных бедствиях и катастрофах.

### Результаты исследования и их обсуждение

Несмотря на развитие цивилизации, опасные природные процессы, стихийные бедствия и катастрофы являются постоянным источником больших человеческих жертв и огромных разрушений. Ущерб и жертвы от землетрясений, наводнений, штормов, ураганов, цунами, извержений вулканов, оползней, селей, лавин и других опасных природных процессов и явлений не только не уменьшаются, но продолжают расти. Человечество живет в условиях возрастающего риска стихийных бедствий и катастроф. За последние 20 лет в катастрофах и стихийных бедствиях в мире погибло свыше 3 миллионов человек, пострадало свыше 800 миллионов [Basher, 2006; Brikmann, 2007; Blaikie, 1994; Cutter, 2014; Cutter, Finch, 2008; Dirk, 2007].

Интересно отметить, что существуют 2 концепции горячих пятен – в геодинамике и в оценке риска [Свалова, 2021; Dilley et al., 2005; Birch, 1975; Burke, Wilson, 1981]. Важным и интересным следствием работ является рассмотрение двух концепций горячих пятен: в геодинамике в связи с подъемом мантийных плюмов и диапиров (горячих пятен hot spots) и в оценке геоэкологического риска – мест максимального риска (hot spots). Области подъема мантийных диапиров на фоне коллизии литосферных плит являются областями повышенной тектонической опасности и напряженности. Горячими областями на Земном шаре являются Тихоокеанское огненное кольцо и Альпийско-Тихоокеанский пояс, где происходит наибольшее число землетрясений и извержений вулканов. Кавказский регион является частью Альпийского пояса. Не существует опасного природного процесса, напрямую выражающего тектоническую опасность, параметрами которой являются глубинные разломы, скорости движения поверхности и литосферных плит региона, трещиноватость пород, повышенный тепловой поток, геотермальные проявления (гейзеры, фумаролы, газовые эманации), повышенное напряженно-деформированное состояние среды. Но многие опасные природные процессы – землетрясения, оползни, вулканы, цунами – вызваны именно тектоническими и геодинамическими причинами.

Разработана концепция и методика унификации, формализации и цифровизации оценки и картографирования природно-экологического риска на базе общей платформы управления риском и выявления определяющих параметров природной опасности для различных территорий и природно-техногенных условий. А также разработана методика расчета интегрального ущерба и риска и расчет весовых вкладов параметров на основе метода анализа иерархий Саати.

## Выводы

Разработана концепция горячей полосы Кавказа и горячих пятен Кавказа различного ранга по риску, а также методика риск-анализа унифицированной оценки и картографирования дифференцированного и интегрального геоэкологического риска. Разработана методика оценки весовых параметров и интегрального геоэкологического риска на основе метода сравнения иерархий Саати.

Аналогичный подход может быть использован при выборе площадок для строительства особо важных и опасных объектов промышленности и культуры, мест депонирования и переработки твердых бытовых и коммунальных отходов, мусоросжигательных заводов, строительства дамб и плотин, атомных электростанций и др. Методика дает возможность увеличивать детальность оценки риска, делать научно-технические выводы и давать рекомендации для населения и лиц и организаций, принимающих решения и обеспечивающих безопасность жизнедеятельности и устойчивое развитие регионов.

## Литература

1. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций. Российская Федерация. / Под общей редакцией С. К. Шойгу. – М.: Феория, 2010. – 696 с.
2. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций РФ. Южный федеральный округ. – М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2007.
3. Бабурин В. Л., Данилина А. В., Гаврилова С. А., Грязнова В. В., Шныпарков А. Л. Оползневой риск на Северном Кавказе. // В сборнике Снежные лавины, сели и оценка риска. Выпуск 3. – М.: Изд-во «Перо», 2014. – С. 41-49.
4. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Системные исследования чрезвычайных ситуаций. / Под ред. Махутова Н. А. – М.: МГОФ «Знание», 2015. – 864 с.
5. Геологический риск урбанизированных территорий. / Под ред. Осипова В. И. – М.: РУДН, 2020. – 316 с.
6. Добрев Н. Б., Иванов П. Г., Свалова В. Б., Заалишвили В. Б., Дзеранов Б. В. Опасные экзогенные процессы в горных районах Северного Кавказа и Болгарии. // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2019. – Т. 18. №4. – С. 5-14.
7. Милоков В. К., Миронов А. П., Рогожин Е. А., Стеблов Г. М. Оценки скоростей современных движений Северного Кавказа по GPS наблюдениям. // Геотектоника. – 2015. – №3. – С. 56-65.
8. Моисеенко У. И., Негров О. Б. Геотермические условия Северо-Кавказской сейсмоопасной зоны. // В кн.: Геотермия сейсмичных и асейсмичных зон. – М.: Наука, 1993. – С. 32-40.
9. Москва. Геология и город. / Под ред. Осипова В. И. и Медведева О. П. – М.: Московские учебники и картолитология, 1997. – 400 с.
10. Природные опасности России. Оценка и управление природными рисками. / Под ред. А. Л. Рагозина. – М.: Изд. фирма «КРУК», 2003. – 320 с.
11. Природные опасности России. Экзогенные геологические опасности. / Под ред. В. М. Кутепова, А. И. Шеко. – М.: Изд. фирма «КРУК», 2002. – 348 с.
12. Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности. / Под ред. Г. С. Голицина, А. А. Васильева. – М.: Издательская фирма «КРУК», 2001. – 296 с.
13. Разумов В. В., Перекрест В. В., Стрешнева Н. П., Кюль Е. В. Атлас природных опасностей и стихийных бедствий Кабардино-Балкарской Республики. – СПб.: Гидрометеоздат, 2000. – 66 с.
14. Разумов В. В., Аджиев А. Х., Разумова Н. В. и др. Опасные природные процессы Северного Кавказа. / Под ред. проф. В. В. Разумова. – М.: Изд-во «Феория», 2013. – 320 с.



15. Рекомендации по оценке геологического риска на территории г. Москвы. / Под ред. А.Л. Рагозина. Москомархитектура, ГУ ГО ЧС г. Москвы. – М.: Изд-во ГУП НИИЦ, 2002. – 59 с.
16. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Decision making. Method of hierarchy analysis]. Пер. с англ. – М.: изд-во «Радио и связь», 1993. – 278 с.
17. Свалова В.Б. Сравнительная геодинамика и геотермия Альпийского и Тихоокеанского поясов. Механико-математическое моделирование. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №3. – С. 76-92. DOI: 10.46698/VNC.2021.52.15.007.
18. Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П., Шумилина Л.С. К оценке сейсмической опасности на Северном Кавказе. // Физика земли, 2007. – №7. – С. 31-45.
19. Хулелидзе К.К. Анализ опасных природных процессов на территории Северной Осетии. // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. – Вып. 1. – С. 48-49.
20. Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №4. – С. 70-100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005.
21. Шныпарков А.Л., Колтерман П.К., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Перов В.Ф. Селевой риск на Черноморском побережье Кавказа. // Геориск. – 2013. – №4. – С. 20-25.
22. Birch F.S. Conductive heat flow anomalies over a hot spot in a moving medium. // J. Geophysical Research. – 1975. – Vol. 80. – pp. 4825-4827.
23. Brikmann J. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications, // Environment Hazards. – 2007. – No. 7. – pp. 20-31.
24. Burke K. C., Wilson J. T., Hot spots on the Earths surface. // Sci., Amer. – 1981. – Vol. 235. No. 2. – pp. 46-60.
25. Basher R. Global early warning systems for natural hazards: systematic and people-centred. // Philosophical Transactions of the Royal Society A 364 (1845). – 2006. – pp. 2167-2182.
26. Blaikie P.M., Cannon T., Davis I., Wisner B. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. – Routledge, London. – 1994.
27. Corominas J., van Westen C., Frattini P., Cascini L., Mallet J.-P. et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. // Bulletin of Engineering Geology and Environment. – 2014. – Vol. 73. No. 2. – pp. 209-263.
28. Cutter S.L. Building disaster resilience: steps toward sustainability. // Challenges in Sustainability. – 2014. – Vol. 1 (2). – pp. 72-79.
29. Cutter S.L., Finch C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. // Proc. Natl. Acad. Sc. – 2008. – Vol. 105 (7). – pp. 2301-2306.
30. Dilley M., Chen R. S., Deichmann W., Lerner-Lam A. L., Arnold M. Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis. – Washington D. C.: The World Bank, 2005.
31. Dirk Proske. Catalogue of risks. // Natural, Technical, Social and Health Risks. Springer. – 2007. ISBN 978-3540795544.
32. Ganapathy G.P., Zaalishvili V.B., Mel'kov D. A., Svalova V.B., Nikolaev A.V. GIS approach geospatial application for seismic microzonation study. // Geology and Geophysics of the South of Russia. – 2018. – No. 3. – pp. 116-136.
33. Knight F.H. Risk, Uncertainty and Profit. – Chicago: Houghton Mifflin Company, 1921.
34. Rogozhin E.A., Gorbatikov A. V., Stepanova M. Y., Ovsyuchenko A. N., Andreeva N. V., Kharazova Y.V. The structural framework and recent geodynamics of the greater Caucasus meganticlinorium in the light of new data on its deep structure. Geotectonics. 2015. Vol. 49. No. 2. pp. 123-134.
35. Saaty T.L. Decision making with dependence and feedback. The Analytic Network Process. RWS Publications, 2001. – 370 p.
36. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. // Int.J. Services Sciences. – 2008. – Vol. 1. No. 1. – pp. 83-98.

37. Vranken L., Vantilt G., Van Den Elekhaut M., Vandekerckhove L., Poesen J. Landslide risk assessment in densely populated hilly area. // *Landslides*. – 2015. – Vol. 12. No. 4. – pp. 787-798.

38. Zaalishvili V.B., Chotchaev Kh.O., Berger M.G., Burdzieva O.G., Dzeranov B.V., Melkov D.A., Kanukov A.S., Svalova V.B., Nikolaev A.V. Endogenous and exogenous manifestations of geodynamic activity in the Central Caucasus. // In: *Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. "Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering"*. Switzerland. – 2021. – pp. 499-532.

## References

1. Atlas of natural and man-made hazards and emergency risks. The Russian Federation. Ed. S. K. Shoigu. Moscow. Feoria, 2010. 696 p. (In Russ.)

2. Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergency situations in the Russian Federation. Southern Federal District. Moscow. IPTs Design. Information. Cartography, 2007. (In Russ.)

3. Baburin V.L., Danilina A. V., Gavrilova S. A., Gryaznova V. V., Shnyarkov A. L. Landslide risk in the North Caucasus. In: *Proceedings Snow avalanches, mudflows and risk assessment*. Issue 3. Pero, Moscow, 2014. pp. 41-49. (In Russ.)

4. Security of Russia. Legal, socio-economic and scientific and technical aspects. System research of emergency situations. Ed. Makhutova N.A. Moscow. MGOF Znanie, 2015. 864 p. (In Russ.)

5. Geological risk of urbanized territories. Ed. Osipova V.I. Moscow. RUDN, 2020. 316 p. (In Russ.)

6. Dobrev N.B., Ivanov P.G., Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Dzeranov B.V. Dangerous exogenous processes in the mountainous regions of the North Caucasus and Bulgaria. *Grozny Natural Science Bulletin*. 2019. Vol. 18. No. 4. pp. 5-14. (In Russ.)

7. Milyukov V.K., Mironov A.P., Rogozhin E.A., Steblov G.M. Estimates of the velocities of modern movements of the North Caucasus from GPS observations. *Geotectonics*. 2015. No. 3. pp. 56-65. (In Russ.)

8. Moiseenko U.I., Negrov O.B. Geothermal conditions of the North Caucasian seismically hazardous zone. *Geothermy of seismic and aseismic zones*. Moscow. Nauka, 1993. pp. 32-40. (In Russ.)

9. Osipova V.I. and Medvedeva O.P. (ed.) Moscow. *Geology and city*. Moscow. Moscow textbooks and cartolithography, 1997. 400 p. (In Russ.)

10. Ragozin A.L. (ed.) *Natural hazards in Russia. Assessment and management of natural risks*. Moscow. KRUK, 2003. 320 p. (In Russ.)

11. Kutepova V. M., Sheco A.I. (ed.) *Natural hazards in Russia. Exogenous geological hazards*. Moscow. KRUK, 2002. 348 p. (In Russ.)

12. Golitsina G. S., Vasiliev A. A. (ed.) *Natural hazards in Russia. hydrometeorological hazards*. Moscow. KRUK, 2001. 296 p. (In Russ.)

13. Razumov V.V., Perekrest V.V., Streshneva N.P., Kul E. V. *Atlas of natural hazards and natural disasters of the Kabardino-Balkarian Republic*. St. Petersburg. Gidrometeoizdat, 2000. 66 p. (In Russ.)

14. Razumov V. V., Adzhiev A. Kh., Razumova N. V. et al. *Dangerous natural processes of the North Caucasus*. Ed. V. V. Razumova. Moscow. Feoria, 2013. 320 p. (In Russ.)

15. *Recommendations for the assessment of geological risk in the territory of Moscow*. Ed. A. L. Ragozin. Moskomarchitectura, GU GO EMERCOM of Moscow. Moscow. NIATs, 2002. 59 p. (In Russ.)

16. Saati T. *Decision making. Method of hierarchy analysis*. Moscow. Radio and Communication, 1993. 278 p. (In Russ.)

17. Svalova V.B. Comparative geodynamics and geothermy of the Alpine and Pacific belts. *Mechanical and mathematical modeling. Geology and geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 3. pp. 76-92. (In Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2021.52.15.007.

18. Ulomov V.I., Danilova T.I., Medvedeva N.S., Polyakova T.P., Shumilina L.S. On the assessment of seismic hazard in the North Caucasus. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 2007. No. 7. pp. 31-45. (In Russ.)
19. Khulelidze K.K. Analysis of dangerous natural processes in the territory of North Ossetia. *Scientific and educational problems of civil protection*. 2010. Issue 1. pp. 48-49. (In Russ.)
29. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Influence of geodynamic processes on the geocological state of high mountain territories. *Geology and geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10. No. 4. pp. 70-100. (In Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005.
21. Shnyparkov A.L., Kolterman P.K., Seliverstov Yu.G., Sokratov S.A., Perov V.F. Mudflow risk on the Black Sea coast of the Caucasus. *Georisk*. 2013. No. 4. pp. 20-25. (In Russ.)
22. Birch F.S. Conductive heat flow anomalies over a hot spot in a moving medium. *J. Geophysical Research*. 1975. Vol. 80. pp. 4825-4827.
23. Brikmann J. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environment Hazards*. 2007. No. 7. pp. 20-31.
24. Burke K.C., Wilson J.T., Hot spots on the Earths surface. *Sci., Amer*. 1981. Vol. 235. No. 2. pp. 46-60.
25. Basher R. Global early warning systems for natural hazards: systematic and people-centred. *Philosophical Transactions of the Royal Society A 364 (1845)*. 2006. pp. 2167-2182.
26. Blaikie P.M., Cannon T., Davis I., Wisner B. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Routledge, London. 1994.
27. Corominas J., van Westen C., Frattini P., Cascini L., Mallet J.-P. et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*. 2014. Vol. 73. No. 2. pp. 209-263.
28. Cutter S.L. Building disaster resilience: steps toward sustainability. *Challenges in Sustainability*. 2014. Vol. 1. No. 2. pp. 72-79.
29. Cutter S.L., Finch C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. In: *Proc. Natl. Acad. Sc*. 2008. Vol. 105, No. 7. pp. 2301-2306.
30. Dilley M., Chen R.S., Deichmann W., Lerner-Lam A.L., Arnold M. *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*. Washington D.C. The World Bank, 2005.
31. Dirk Proske. *Catalogue of risks. Natural, Technical, Social and Health Risks*. Springer. 2007. ISBN 978-3540795544.
32. Ganapathy G.P., Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Svalova V.B., Nikolaev A.V. GIS approach geospatial application for seismic microzonation study. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2018. No. 3. pp. 116-136.
33. Knight F.H. *Risk, Uncertainty and Profit*. Chicago: Houghton Mifflin Company, 1921.
34. Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Stepanova M.Y., Ovsyuchenko A.N., Andreeva N.V., Kharazova Y.V. The structural framework and recent geodynamics of the greater Caucasus meganticlinorium in the light of new data on its deep structure. *Geotectonics*. 2015. Vol. 49. No. 2. pp. 123-134.
35. Saaty T.L. *Decision making with dependence and feedback. The Analytic Network Process*. RWS Publications, 2001. 370 p.
36. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*. 2008. Vol. 1. No. 1. pp. 83-98.
37. Vranken L., Vantilt G., Van Den Elckhaut M., Vandekerckhove L., Poesen J. Landslide risk assessment in densely populated hilly area. *Landslides*. 2015. Vol. 12. No. 4. pp. 787-798.
38. Zaalishvili V.B., Chotchaev Kh.O., Berger M.G., Burdzieva O.G., Dzeranov B.V., Melkov D.A., Kanukov A.S., Svalova V.B., Nikolaev A.V. Endogenous and exogenous manifestations of geodynamic activity in the Central Caucasus. In: *Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering*. Switzerland. 2021. pp. 499-532.