

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 7th International Conference

Chengdu, China, 23–27 September 2024



Edited by
S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC
Moscow
2024

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
7-й Международной конференции

Чэнду, Китай, 23–27 сентября 2024 г.



Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева

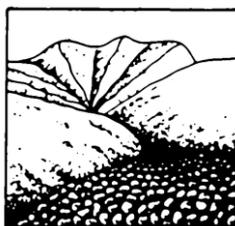
ООО «Геомаркетинг»
Москва
2024

泥石流： 灾害、风险、预测、防治

會議記錄

第七届国际会议

中国成都, 2024年9月23日至27日



編輯者

S.S. Chernomorets, K. Hu, K. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC

莫斯科

2024

УДК 551.311.8
ББК 26.823
С29

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). – Ed. by S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – Moscow: Geomarketing LLC. 622 p.

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – Москва: ООО «Геомаркетинг», 2024. 622 с.

泥石流：灾害、风险、预测、防治。 會議記錄 第七届国际会议. 中国成都。 編輯者 S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – 莫斯科: Geomarketing LLC. 622 p.

ISBN 978-5-6050369-6-8

Ответственные редакторы: С.С. Черноморец (МГУ имени М.В. Ломоносова), К. Ху (Институт горных опасностей и окружающей среды Китайской академии наук), К.С. Висхаджиева (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Edited by S.S. Chernomorets (Lomonosov Moscow State University), K. Hu (Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS), K.S. Viskhadzhieva (Lomonosov Moscow State University).

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).

Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman's book on Debris Flows (Moscow: Geografgiz, 1951, p. 51).

© Селевая ассоциация

© Debris Flow Association



Тенденции изменения селевой опасности, обусловленные климатическими изменениями в субтропическом поясе Кавказа

Л.М. Дзагания¹, Е.В. Дзагания², Г.Н. Сухаржевский³, В.С. Бригида⁴

¹Сочинский институт (филиал) Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Сочи, Россия, dzagluba@gmail.com

²ООО «ГК «Инжзащита», Сочи, Россия, krylenka@gmail.com

³Географическое общество Израиля, Иерусалим, Израиль, gleb.dzag@gmail.com

⁴Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», Сочи, Россия, lz011@inbox.ru

Аннотация. В ходе данной работы выполнялось выявление региональных особенностей развития опасных селевых процессов, обусловленных климатическими изменениями в субтропической зоне Кавказа, в одной из привлекательных для жизни и туризма частей планеты.

Методика исследований заключалась в сборе и обработке данных из открытых источников о климатических и географических параметрах субтропической зоны Кавказа, анализе закономерностей изменений характеристик температуры и атмосферных осадков в зонах сухого и влажного климата. На основании динамики климатических изменений определены тенденции и степень изменения селевой активности в различных областях субтропического пояса Кавказа.

Ключевые слова: субтропический пояс Кавказа, динамика, климатические изменения, температура воздуха, атмосферные осадки, селевой поток, селевой очаг, растительный покров, прогнозы, селевая опасность

Ссылка для цитирования: Дзагания Л.М., Дзагания Е.В., Сухаржевский Г.Н., Бригида В.С. Тенденции изменения селевой опасности, обусловленные климатическими изменениями в субтропическом поясе Кавказа. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2024, с. 580–590.

Trends in changes in debris flow hazard caused by climate change in the subtropical zone of the Caucasus

L.M. Dzaganiia¹, E.V. Dzaganiia², G.N. Sukharzhevskii³, V.S. Brigida⁴

¹Sochi Institute (Branch) of Peoples' Friendship University of Russia, Sochi, Russia, dzagluba@gmail.com

²LLC "GK "Inzhzashchita", Sochi, Russia, krylenka@gmail.com

³Israeli Geographical Association, Jerusalem, Israel, gleb.dzag@gmail.com

⁴Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia, lz011@inbox.ru

Abstract. In the course of this work, the regional features of the development of dangerous debris flow processes caused by climate changes in the subtropical zone of the Caucasus, one of the most attractive parts of the planet for life and tourism, were identified.

The research methodology consisted of collecting and processing data from open sources on the climatic and geographical parameters of the subtropical zone of the Caucasus, analyzing patterns of changes in temperature and precipitation characteristics in dry and humid climate zones. Based on the dynamics of climate change, the trends and degrees of



change in debris flow activity in various areas of the subtropical zone of the Caucasus were determined.

Key words: *subtropical belt of the Caucasus, dynamics, climate change, air temperature, precipitation, debris flow, debris flow source, vegetation cover, forecasts, debris flow hazard*

Cite this article: Dzaganiiia L.M., Dzaganiiia E.V., Sukharzhevskii G.N., Brigida V.S. Trends in changes in debris flow hazard caused by climate change in the subtropical zone of the Caucasus. In: Chernomorets S.S., Hu K., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). Moscow: Geomarketing LLC, 2024, p. 580–590.

Введение

Цель данного исследования состояла в изучении динамики климатических изменений последних двенадцати лет, определении трендов режимов температуры воздуха и атмосферных осадков на ближайшие годы, а также в прогнозе влияния этих изменений на проявления опасных селевых процессов в субтропической зоне Кавказа.

Особенности каждого климатического пояса являются весомым фактором в развитии и масштабе геоэкологических процессов. Мониторинг, учет и прогнозирование селевых и других опасных природных процессов производится официальными органами (МЧС России, Росгидромет) обычно в привязке к субъектам Российской Федерации либо к крупным природным комплексам, то есть преимущественно по административному принципу, а не по природным факторам.

В настоящей работе предлагается использовать географический подход изучения динамики селевой опасности на основе климатического и ландшафтного районирования (на примере субтропической зоны Кавказа). Для исследования выделяются области, расположенные в приморских и континентальных частях субтропического пояса Кавказа, на юге и на севере, во влажных и сухих зонах.

Климатический фактор, обуславливающий поверхностный сток (атмосферные осадки, формирующие и температурный режим, вызывающий оттепели и снеготаяние) является одним из трех обязательных условий образования селевых потоков, наряду с крутизной склонов и наличием селевых очагов в виде скоплений рыхлообломочного материала.

В связи с изменениями климата не остаются постоянными и границы климатических поясов. Поэтому в работе было важно определить современные границы субтропической зоны Кавказа, выделить различные по природным условиям области региона и рассмотреть особенности формирования селевых потоков с учетом направленности климатических изменений в каждой из областей.

Изменения климата в течении более десяти лет отражаются на видоизменениях растительных сообществ территории, что также влияет на процессы эрозии, скорость накопления рыхлообломочного материала и является весомым фактором образования селевых потоков.

Краткий обзор проблемы

Уникальность природы Кавказа привлекает миллионы туристов. Благоприятный субтропический климат способствует увеличению численности населения в странах субтропического пояса Кавказа: России, Грузии, Азербайджане, Армении, Турции. Увеличивается необходимость обеспечения безопасности селитебных территорий, территория которых расширяется все выше в горы.

Согласно исследованиям Н.Н. Коршуновой и др. [2023], в Южном федеральном округе Российской Федерации также наблюдается увеличение числа дней с аномально большими осадками во все сезоны. При наложении снеготаяния и дождевых осадков, а



также увеличению числа дней с аномально большими осадками, увеличивается опасность наводнений и схода селевых потоков. На большей части России весной и осенью возрастает число дней с аномально высокими температурами воздуха. С изменением температуры воздуха связано такое явление как оттепели. Оттепели относятся к неблагоприятным явлениям погоды, которые оказывают влияние на снеготаяние и повышение влажности подстилающих грунтов. Большое количество осадков зимой и весной обуславливают высокий уровень весеннего половодья. Образование селевых очагов в руслах рек в результате лавинных, эрозионных, оползневых, обвально-осыпных процессов при выпадении интенсивных осадков (более 30 мм за 12 ч) способствует повышению вероятности формирования селевых процессов. Так, в течение последних десятилетий в пределах территории Муниципального образования (МО) город Сочи в результате природных экзогенных процессов в долинах рек Кепша (Адлерский район Сочи) и Бжижу (Лазаревский район Сочи) естественным образом образовались мощные селевые очаги, вызвавшие сход селевых потоков на села Кепша и Тхагапш (рис. 1).



Рис. 1. Последствия схода природного селевого потока по руслу реки Бжижу на село Тхагапш 05.06.2016

Опасные природные процессы в регионе тесно связаны с климатическими условиями. В данной работе определялись тренды температуры воздуха и атмосферных осадков. Продолжительность периода исследований изменений параметров выбрана примерно равной одному циклу солнечной активности (12 лет). Также продолжительность ряда выбрана с учетом временной достаточности времени для преобразований биоценозов и растительных сообществ территорий.

В данной работе выполнялась задача определения параметров изменения климата и поиск закономерностей их пространственного распределения для региона. По полученным данным можно выявить области, наиболее подверженные опасности формирования селей в ближайшие годы.

Субтропическая зона Кавказа

Высокогорная система Кавказ является естественной границей поясов умеренного и субтропического климата. Северный склон Кавказа относят к умеренному поясу, а Закавказье - к субтропическому [Батхиев, 2008].

Согласно работе М.И. Давыдовой и др. [1966], горная система Кавказа занимает перешеек между Черным и Каспийским морями. Северная граница Кавказа проводится



по Кумо-Маньчской впадине, которая в четвертичное время являлась проливом, соединявшим Каспийское море с Азовским морем.

Условная южная граница Кавказа проводится от Черного моря южнее устья реки Чорох. Далее на восток она идет по средневысотным хребтам и Карскому плоскогорью до реки Ахурян (Арпачай), левого притока реки Аракс. Затем она проходит по крупному естественному рубежу - эрозионно-тектонической долине реки Аракс. От нижнего течения реки Аракс граница идет по гребню Талышского хребта и выходит к побережью Каспийского моря у пункта Астара.

Согласно классификации климатов Земли, распределение осадков обуславливает принципиальное отличие субтропиков от умеренного климата, где по количеству преобладают летние осадки. По данному признаку, для уточнения климатических границ субтропического климата, может быть использовано соотношение осадков за тёплое и холодное полугодия.

Относительный индекс осадков представляет собой частное сумм осадков за теплое и холодное полугодия, которое в субтропической зоне, как правило, меньше единицы.

Нормированный индекс осадков равен частному разности сумм осадков теплое и холодного полугодия и годовой суммы осадков. Субтропическую зону выделяют по отрицательному значению этой величины.

По температурным параметрам территорию относят к субтропикам, если среднегодовая температура составляет более чем 14°C, а средняя температура наиболее холодного месяца (в северном полушарии – января, иногда февраля) превышает 0°C.

Для исследования климатических условий субтропического пояса Кавказа авторами выделены следующие области (таблица 1).

Таблица 1. Метеостанции климатических зон и областей субтропического пояса Кавказа, для которых выполнялись расчеты

Зона	Название области	Метеостанции			
		Пункт	Широта	Долгота	Высотные отметки, м
Влажная зона	Восточного Черноморского побережья	Туапсе	44°06'	39°04'	63
		Сочи	43°36'	39°43'	142
	Колхидской низменности	Кутаиси	42°10'	42°29'	68
	Ленкоранской низменности	Ленкорань	38°45'	48°49'	15
Сухая зона	Северо-Восточного Черноморского побережья	Анапа	44°54'	37°20'	32
		Новороссийск	44°45'	37°46'	3
		Геленджик	44°33'	38°4'	14
	Куринской низменности	Тбилиси	41°42'	44°45'	425
	Среднего течения реки Аракс	Ыгдыр	39°56'	44°02'	858
	Западного Каспийского побережья	Махачкала	42°58'	47°30'	18
		Дербент	42°03'	48°18'	19
	Баку	40°25'	49°47'	60	

Так как климат меняется во времени, то и границы субтропического пояса могут расширяться или сокращаться. Помимо климатических показателей, при определении границ пояса целесообразно учитывать особенности растительного покрова территорий [Дзаганя, 2020]. Для влажной зоны пояса характерно произрастание вечнозеленых лиственных пород деревьев, кустарников и лиан. Видовое многообразие растительности (около 6000 видов) значительно превышает количество видов растений умеренного пояса (3500 видов). В сухих субтропиках распространен средиземноморский тип растительности [Давыдова, 1966].



Современные изменения климата в субтропической зоне Кавказа

Температура воздуха

Для оценки и анализа современных климатических изменений были определены количественные значения изменений климатических параметров (температуры атмосферного воздуха и осадков) за период 2012–2023 гг. для субтропиков Кавказа в пунктах, представленных в таблице 1. Для расчетов использовались исходные данные метеонаблюдений, опубликованные в открытом источнике.

Климатические параметры температуры атмосферного воздуха в различных областях субтропической зоны Кавказа за указанный период представлены в таблице 2. Среднегодовые температуры в пунктах наблюдений составляли по поясу от +13,7 до +16,0°C. Максимальная температура (+16,0°C) наблюдалась во влажной зоне в Кутаиси (Колхидская область). Минимальные температуры наблюдались на северной границе субтропического пояса Кавказа в условиях сухого климата в Анапе (+14,0°C) на Черноморском побережье (44°54' с.ш.) и в Махачкале (+13,7°C) на Каспийском побережье (42°58' с.ш.).

Таблица 2. Показатели температуры атмосферного воздуха и ее трендов за год в различных областях субтропической зоны Кавказа за период 2012–2023 гг.

Метеостанция	Показатели среднегодовой температура воздуха, °С		Показатели средней месячной температура воздуха января, °С		Разность температур среднегодовой и января, °С	
	Средняя $T_{\text{год}}$	Тренд $\Delta T_{\text{год}}$	$T_{\text{январь}}$	Тренд $\Delta T_{\text{январь}}$	Средняя $T_{\text{год}} - T_{\text{январь}}$	Тренд $\Delta(T_{\text{год}} - T_{\text{январь}})$
Зона влажного субтропического климата						
Туапсе	15,4	0,03	6,2	0,12	9,2	-0,09
Сочи	15,1	0,06	6,9	0,10	8,2	-0,04
Кутаиси*	16,0	-0,005	5,5	-0,18	10,5	0,17
Ленкорань*	15,6	0,03	5,1	-0,04	10,5	0,07
Зона сухого субтропического климата						
Анапа	14,0	0,06	4,0	0,18	9,9	-0,12
Новороссийск	14,4	0,18	5,4	0,16	9,5	-0,03
Геленджик	14,6	0,17	5,6	0,14	8,8	0,06
Тбилиси	14,4	0,07	3,4	0,04	11,0	0,03
Ыгдыр*	15,6	0,25	0,0	-0,23	15,6	0,49
Махачкала*	13,7	0,01	2,5	0,16	11,2	-0,18
Дербент	14,6	0,08	3,8	0,20	10,9	-0,12
Баку	15,6	0,07	5,2	0,25	10,4	-0,17
Среднее	15,2	0,08	4,6	0,08	10,8	0,00
Мин.	13,7	-0,01	0,00	-0,23	8,80	-0,18
Макс.	16,0	0,25	6,9	0,25	15,6	0,49

Условные обозначения (степень изменения характеристики)

Понижение	Описание	Баллы	Повышение	Описание	Баллы
0	отсутствует	0	0	отсутствует	0
$0 > \Delta T > -0,10$	Слабое	-1	$0 < \Delta T < 0,10$	слабое	1
$-0,10 \geq \Delta T > -0,20$	умеренное	-2	$0,10 \leq \Delta T < 0,20$	умеренное	2
$-0,20 \geq \Delta T > -0,30$	среднее	-3	$0,20 \leq \Delta T < 0,30$	среднее	3
$-0,30 \geq \Delta T$	сильное	-4	$0,30 \leq \Delta T$	сильное	4

Примечание*: период наблюдений отличается.

Линейный тренд температуры в среднем по поясу был положительным и составлял в 0,08°C/год. Максимальный тренд наблюдался в сухой зоне: на континентальном юге – в Ыгдыре (+0,25°C/год), на Черноморском побережье в Новороссийске и Геленджике (+0,18 и +0,17°C/год). Слабый отрицательный тренд наблюдался в Кутаиси (-0,005°C/год), в условиях влажного континентального климата.

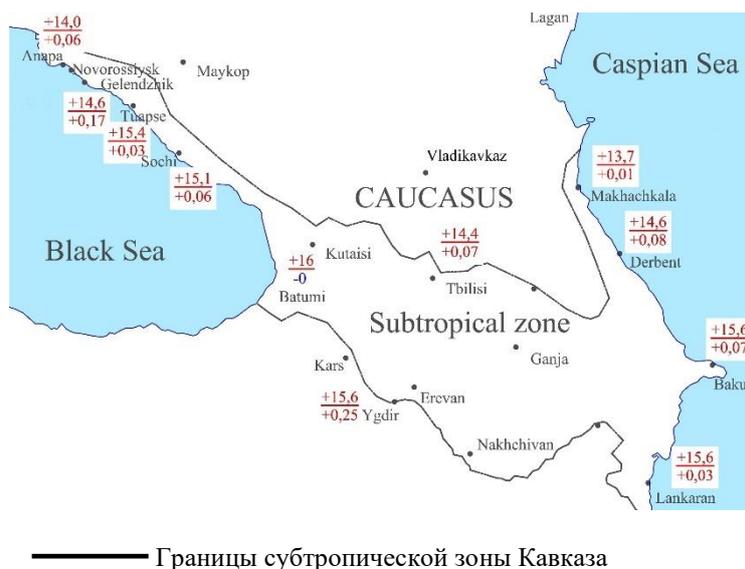


Рис. 2. Среднегодовая температура (в числителе) и ее среднее изменение за 1 год (в знаменателе) (° C) за период 2012–2023 гг.

Как следует из таблицы 2 и рис. 3, средние температуры января за последние 12 лет наблюдений составляли по региону от +0°C до +6,9°C. Максимальная средняя температура января наблюдалась в Сочи (западная морская влажная область). Минимальная среднемесячная температура января за период наблюдалась на южной границе субтропического пояса Кавказа в условиях сухого климата в Ыгдыре (+0°C, континентальная область). Средняя температура января субтропической зоны Кавказа за расчетный период составила +4,6°C.

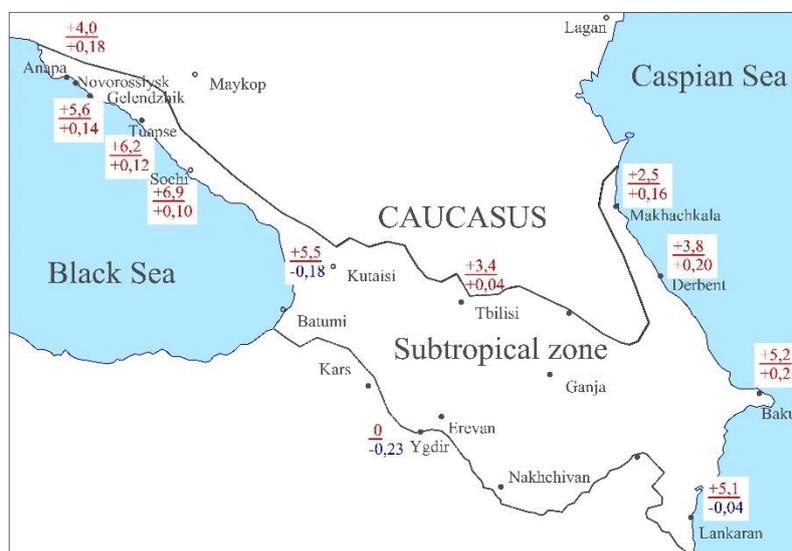


Рис. 3. Средняя температура января (в числителе) и ее среднее изменение за 1 год (в знаменателе) (° C) за период 2012–2023 гг.

В субтропическом поясе Кавказа за последние 12 лет наблюдалось повышение средней температуры января в среднем по региону на +0,08°C/год. Наибольшее повышение средней температуры января наблюдалось в Баку в условиях сухого морского климата Каспийского побережья (+0,25°C/год). Значительный рост средней температуры января отмечен в Дербенте, Анапе (+0,20, +0,18°C/год), в приморских северных сухих областях пояса. Максимальное понижение температуры января



происходило в южных областях в Ыгдыре ($-0,23^{\circ}\text{C}/\text{год}$). Также похолодание происходило в Кутаиси ($-0,18^{\circ}\text{C}/\text{год}$) и Ленкорани ($-0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$).

Разность между среднегодовой температурой и температурой января в среднем по субтропическому поясу не изменялась. Уменьшалась разность среднегодовой и январской температур на морских побережьях (Махачкала $+0,18^{\circ}\text{C}/\text{год}$), Дербент, Баку, Анапа, Туапсе, Сочи) и увеличивалась – в континентальной области в Ыгдыре $+0,49^{\circ}\text{C}/\text{год}$), Кутаиси, Геленджике, Тбилиси.

Атмосферные осадки

Для определения категории селевой опасности в условиях высотной поясности предлагается использовать универсальный ландшафтный метод, который заключается в реализации шагов согласно приведенному ниже алгоритму.

В формировании значительной части опасных природных процессов одним из определяющих климатических воздействий является фактор степени увлажнения (количества осадков). Поэтому выполнены расчеты следующих климатических параметров: суммы осадков за год, суммы осадков за теплый период года, суммы осадков за холодный период года и изменений этих величин за период 2012–2023 гг. и, в среднем за один год.

В таблице 3 представлены показатели количества атмосферных осадков в различных областях субтропической зоны Кавказа за расчетный период с оценкой степени величины изменений. Из нее следует, что в субтропическом поясе Кавказа наблюдается весьма неоднородное увлажнение с разнонаправленными тенденциями.

Таблица 3. Показатели количества атмосферных осадков, дней с атмосферными осадками и трендов за год в различных областях субтропического пояса Кавказа за период 2012 – 2023 гг.

Станция	Количество осадков за год, $R_{\text{год}}$, мм		Количество осадков за теплый период года (апрель – октябрь), мм		Количество осадков за холодный период года (ноябрь – март), мм		Количество дней с осадками	
	Средняя	Тренд	Среднее	Тренд	Среднее	Тренд	За год	Тренд
Зона влажного субтропического климата								
Туапсе	1383	21	693	-11	691	31	168	2,6
Сочи	1389	62	644	23	473	39	130	6,9
Кутаиси	1347	46	696	27	651	19	154	0,4
Ленкорань*	1602	24	733	24	869	-0,1	142	5,1
Зона сухого субтропического климата								
Анапа	622	14	348	16	274	2	114	3,1
Новороссийск	664	32	350	16	313	16	139	14,3
Геленджик*	588	30	320	13	268	17	111	5,6
Тбилиси	262	-1	198	-1	63	-0,1	73	-0,1
Ыгдыр*	236	-3,3	159	-2,2	77	-1,1	106	-1,1
Махачкала*	404	-18	225	-9	179	-9	116	0,3
Дербент	412	2	212	0,3	197	1,6	104	-0,8
Среднее	810	19	416	9	369	10	123	3
Мин.	236	-18	159	-11	63	-9	73	-1,1
Макс.	1602	62	733	27	869	39	168	14,3

Условные обозначения (степень изменения характеристики)

Понижение	Описание	Баллы	Повышение	Описание	Баллы
0	отсутствует	0	0	отсутствует	0
$0 > \Delta R > -1$	слабое	-1	$0 < \Delta R < 1$	слабое	1
$-1 \geq \Delta R > -10$	умеренное	-2	$1 \leq \Delta R < 10$	умеренное	2
$-10 \geq \Delta R > -20$	среднее	-3	$10 \leq \Delta R < 20$	среднее	3
$-20 \geq \Delta R$	сильное	-4	$20 \leq \Delta R$	сильное	4

Примечание: знак «*» означает, что расчетный период отличается.



На рис. 4 представлено пространственное распределение показателей количества осадков (мм) среднего за год и дней с осадками в году, и их изменений за один год в среднем в течение расчетного периода.

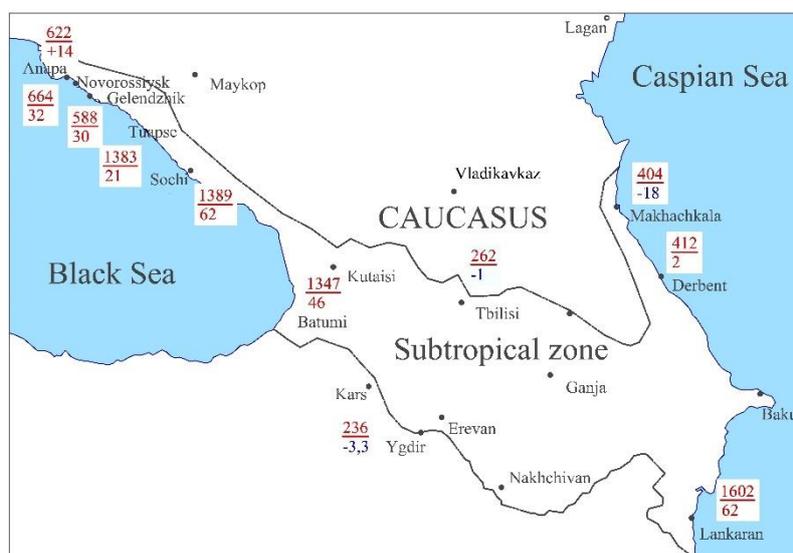


Рис. 4. Среднегодовое количество (мм) осадков (в числителе) и тренд за 1 год (в знаменателе), по наблюдениям за период 2012–2023 гг.

Величина годовой суммы осадков за последние 12 лет наблюдений (2012–2023 гг.) составляла по региону от 232 мм (Ыгдыр) до +1602 мм (Ленкорань). В областях влажного субтропического климата средняя сумма осадков составила 1375 мм (от 1285 мм до 1602 мм), в областях сухого субтропического климата – 470 мм (от 232 мм до 663 мм).

При этом повсеместно наблюдается, за исключением юго-восточной части пояса (в Баку – минус 26 мм/год, в Игдыре – минус 8 мм/год) прирост среднегодовой суммы осадков в среднем на 24 мм/год (от 8 мм в Махачкале до 72 мм – в Сочи). Средний прирост сумм осадков за год для влажной зоны составил +41 мм / год, для сухой зоны – +14,5 мм/год.

Таким образом, во влажных зонах пояса повсеместно наблюдалось увеличение количества осадков и дней с осадками, которые вызывают паводки, в том числе и селевые. В континентальных областях и Каспийского побережья сухой зоны наблюдалось сокращение количества осадков и дней с осадками. На Черноморском побережье в сухой зоне отмечено увеличение количества осадков и дней с осадками.

Влияние климатических изменений на селевые процессы

По сочетанию темпов и направленности климатических изменений авторами выделено несколько типов и подтипов изменений климата в субтропической зоне Кавказа (таблица 4).

Таблица 4. Типизация изменений климата в субтропическом поясе Кавказа за 2012–2023 гг.

Тип изменения климата	Зона	Область	Станция	Характеристика изменений климатических параметров
1	1a	Побережья Черного моря	Туапсе	Умеренное потепление с сокращением разности $T_{год}$ и $T_{январь}$ и сильное увлажнение (наибольшее в Сочи: +62 мм/год)
			Сочи	
			Анапа	
			Новороссийск	



Тип изменения климата		Зона	Область	Станция	Характеристика изменений климатических параметров
	1б	ческого климата		Геленджик	-/- с увеличением разности $T_{год}$ и $T_{январь}$
2		Влажного субтропического климата	Колхидской низменности	Кутаиси	Слабое похолодание с увеличением разности $T_{год}$ и $T_{январь}$ и с сильным увлажнением
3			Ленкоранской низменности	Ленкорань	Среднегодовое потепление, похолодание в январе с увеличением разности $T_{год}$ и $T_{январь}$, значительным ростом количества осадков в теплый период и понижением – в холодный период
4	4а	Сухого субтропического климата	Каспийского побережья	Махачкала Дербент	Потепление с сокращением разности $T_{год}$ и $T_{январь}$ и с ростом засушливости климата (незначительное увеличение количества осадков в Дербенте)
	4б		Куринской низменности	Тбилиси	
5			Долины реки Аракс	Ыгдыр	Среднегодовое потепление, похолодание в январе с увеличением разности $T_{год}$ и $T_{январь}$ и ростом засушливости климата

Оценим влияние климатических изменений на увеличение селевой опасности. Для этого оценим влияние изменений климата на основные факторы формирования селевых потоков по пятибалльной шкале на селеформирующие факторы.

При определении направленности изменений селевой опасности приняты допущения, что в областях исследования возможно образование селевых потоков. Начальные селевые условия областей не оценивались и не сравнивались. Также в настоящей работе не учитывалось антропогенное воздействие на территории.

Выделены основные факторы образования селей, на которые влияет климат: осадки и снеготаяние, которые вызывают склоновый сток, паводки и половодье, смерчи, обвалы и осыпи, оползни, эрозия склонов, растительный покров.

Предполагается, что при увеличении количества осадков в теплом субтропическом климате создаются благоприятные условия для роста и распространения растительности, в результате чего сокращается эрозия склонов.

Обвальные и осыпные процессы при увеличении увлажнения могут усиливаться. Заращение склонов лесом при достаточном увлажнении в теплом климате может укреплять склоны [Дзаганя, 2020] и препятствовать развитию разрушительных гравитационных процессов, в результате которых происходит скопление рыхлообломочного материала.

Смерчи наблюдаются в приморских областях.

Результаты определений влияния климата и среднее обобщенное значение по типу климата представлено в таблице 5.

Таблица 5. Оценка динамики селевой опасности, вызванной колебаниями климата в субтропическом поясе Кавказа за период 2012–2023 гг. для выделенных типов климатических изменений по пятибалльной шкале (0 баллов – без увеличения, 4 балла – сильное воздействие)

Тип изменения климата (по таблице 4)	Дождевые осадки	Снеготаяние	Смерч	Обвалы, осыпи	Оползни	Эрозия склонов	Растительный покров	Оценка изменений селевой опасности (балл)	
1	1а	4	4	1	2	4	-4	-4	1,0
	1б	4	2	4	3	4	-3	-3	1,6
2	4	3	0	2	4	-3	-3	1,0	
3	4	-1	2	2	4	-3	-3	0,7	
4	4а	-3	-2	1	4	-3	4	4	0,7
	4б	-2	-1	0	2	-2	3	2	0,3



Тип изменения климата (по таблице 4)	Дождевые осадки	Снего-таяние	Смерч	Обвалы, осыпи	Оползни	Эрозия склонов	Растительный покров	Оценка изменений селевой опасности (балл)
5	-2	1	0	2	-2	2	2	0,4

В таблице 6 представлена характеристика тенденций селевой опасности по областям субтропического пояса Кавказа в соответствии с выделенными типами изменений климата за последние 12 лет.

Таблица 6. Оценка динамики селевой опасности, вызванной климатическими изменениями в субтропическом поясе Кавказа по областям и типам климатических изменений за 2012–2023 гг.

Тип изменения климата	Зона	Область	Станция	Характеристика динамики селевой опасности
1	1a	Побережья Черного моря	Туапсе	умеренный рост
	1б		Сочи	
2		Влажного субтропического климата	Колхидской низменности	Анапа
	Новороссийск			
3	Сухого субтропического климата	Ленкоранской низменности	Геленджик	умеренный рост
2	Влажного субтропического климата	Колхидской низменности	Кутаиси	умеренный рост
3			Ленкорань	слабый рост
4	Сухого субтропического климата	Каспийского побережья	Махачкала	слабый рост
			Дербент	
5		Долины реки Аракс	Куриной низменности	слабый рост
			Тбилиси	
5		Долины реки Аракс	Ыгдыр	слабый рост

Выводы

По результатам проведенных исследований климатических данных в субтропическом поясе Кавказа за период 2012–2023 гг., авторами выделено пять основных сценариев изменения режимов температуры воздуха и атмосферных осадков (таблицы 2–4) с их пространственным распределением по семи областям пояса и двум климатическим зонам (сухой и влажной). Наиболее сильное повышение количество осадков имело место на Черноморском побережье, независимо того, сухая или влажная зона. Повсеместно, кроме Колхидской и Ленкоранской низменностей, повысилась температура воздуха, более всего в среднем течении Куры (Ыгдыр).

Выявлено две основные тенденции изменения селевой опасности в субтропическом поясе Кавказа под воздействием изменений климата: умеренный рост и слабый рост (таблицы 5, 6).

Наибольший рост селевой опасности отмечен в области Черноморского побережья субтропического пояса Кавказа в зоне морского сухого климата (Геленджик), где происходило сильное увлажнение, умеренное потепление с увеличением разности среднегодовой температуры воздуха и температуры января. Несколько ниже умеренный рост селевой опасности выявлен во влажных и сухих зонах областей Черноморского побережья (Новороссийск, Туапсе, Сочи). В этих местностях резко увеличились осадки, происходили умеренный рост температуры воздуха и сокращение разности среднегодовой температуры воздуха и средней температуры января.

Тенденции слабого увеличения активизации селевых процессов отмечены во влажных и сухих областях Каспийского побережья и Ленкоранской низменности. Наименьший слабый рост селевой опасности определен в континентальных областях Куриной низменности, долины реки Аракс.



Для поиска закономерностей тенденций селевой опасности в зависимости от изменений климата авторами применена оригинальная методика, которая может быть усовершенствована и апробирована для различных по длительности метеорологических циклов. В дальнейшем, для оценки достоверности и определения длительности обнаруженных тенденций и совершенствования методики, может быть проведен ретроспективный сравнительный анализ аналитических выводов и фактических событий. Полученные данные могут быть использованы для предупреждения чрезвычайных ситуаций, вызванных селевыми процессами.

Благодарности

Авторы благодарят руководство и преподавателей Сочинского института (филиала) РУДН за полученные знания, научную и методическую поддержку и помощь. Также выражаем признательность руководству и коллективу ООО «ГК «Инжзащита» – за содействие и предоставленную возможность выполнения исследований.

Список литературы

- Батхив А.М. Своеобразие физико-географических условий Кавказа как основа дифференциации природных экосистем / А.М. Батхив // Рефлексия. – 2008. – № 2. – С. 3-13. – EDN WFRZQJ.
- Давыдова М.И. Физическая география СССР / М.И. Давыдова [и д.р.]. – М.: Просвещение, 1966 – 847 с.
- Дзаганя Л.М. Применение лесомелиорации для селезащиты на Черноморском побережье Западного Кавказа / Л.М. Дзаганя // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Труды 6-й Международной конференции, Душанбе–Хорог, Таджикистан, 20–26 сентября 2021 года / Отв. редакторы С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. Том 1. – Душанбе–Хорог, Таджикистан: Общество с ограниченной ответственностью "Промоушн", 2020. – С. 405–417. – EDN JKEEUX.
- Интернет-ресурс <https://rp5.ru/> Copyright © ООО «Расписание Погоды», 2004–2023.
- Коршунова Н.Н. Региональные особенности изменения норм основных климатических параметров на территории России / Н.Н. Коршунова, Н.В. Швець // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2023. – № 1(387). – С. 131–147. – DOI 10.37162/2618-9631-2023-1-131-147. – EDN ZNTUYS.