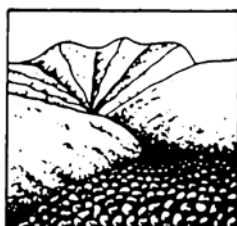


СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
8-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 6–10 октября 2025 г.



Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили, К.С. Висхаджиева

ООО «Геомаркетинг»
Москва
2025

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 8th International Conference

Tbilisi, Georgia, 6–10 October 2025



Edited by
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili, K.S. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC
Moscow
2025

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა

მე-8 საერთაშორისო კონფერენციის
მასალები

თბილისი, საქართველო, 6-10 ოქტომბერი, 2025



რედაქტორები
ს. ს. ჩერნომორეც, გ. ვ. გავარდაშვილი, კ. ს. ვისხაჯიევა

შპს „გეომარკეტინგი“
მოსკოვი
2025

УДК 551.311.8
ББК 26.823
С29

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 8-й Международной конференции (Тбилиси, Грузия). – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили, К.С. Висхаджиева. – Москва: ООО «Геомаркетинг», 2025. 496 с.

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 8th International Conference (Tbilisi, Georgia). – Ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili, K.S. Viskhadzhieva. – Moscow: Geomarketing LLC, 2025. 496 p.

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა. მე-8 საერთაშორისო კონფერენციის მასალები. თბილისი, საქართველო. – პასუხისმგებელი რედაქტორები ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი, კ.ს. ვისხაჯიევა. – მოსკოვი: შპს „გეომარკეტინგი“, 2025. 496 ს.

Ответственные редакторы: С.С. Черноморец (МГУ имени М.В. Ломоносова), Г.В. Гавардашвили (Институт водного хозяйства имени Цотне Мирцхулава Грузинского технического университета), К.С. Висхаджиева (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Edited by S.S. Chernomorets (M.V. Lomonosov Moscow State University), G.V. Gavardashvili (Tsotne Mirtskhulava Institute of Water Management, Georgian Technical University), K.S. Viskhadzhieva (M.V. 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).

ISBN 978-5-6053539-4-2

© Селевая ассоциация
© Институт водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава
Грузинского технического университета

© Debris Flow Association
© Ts. Mirtskhulava Water Management Institute
of Georgian Technical University

© ღვარცოფების ასოციაცია
© საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა
მეურნეობის ინსტიტუტი



Метеорологические условия формирования селей на Черноморском побережье России

В.С. Воронцова, П.А. Торопов

Институт географии РАН, Москва, Россия, vrn.vorontsova@mail.ru

Аннотация. Исследование посвящено анализу метеорологических условий, способствующих формированию селевых потоков на Черноморском побережье России, являющегося одним из селеопасных регионов. Актуальность работы обусловлена увеличением частоты и силы селей в условиях глобального изменения климата, что требует совершенствования методов их прогнозирования. В основе подхода данной работы лежит физико-статистический метод оценки пороговых значений параметров осадков, необходимых для возникновения селевых ситуаций, в значимом радиусе корреляции совместно с характеристиками крупномасштабной атмосферной динамики. Результаты исследования могут быть использованы для улучшения систем раннего предупреждения, минимизации ущерба инфраструктуре и населенным пунктам. Работа вносит вклад в понимание региональных особенностей селеобразования в условиях меняющегося климата.

Ключевые слова: селевое событие, экстремальные осадки, Черноморское побережье, прогнозирование, пороговые значения

Ссылка для цитирования: Воронцова В.С., Торопов П.А. Метеорологические условия формирования селей на Черноморском побережье России. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 8-й Международной конференции (Тбилиси, Грузия). – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили, К.С. Висхаджиева. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2025, с. 449–454.

Meteorological conditions for the debris flow formation on the Black Sea coast of Russia

V.S. Vorontsova, P.A. Toropov

*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
vrn.vorontsova@mail.ru*

Abstract. The study is devoted to the analysis of meteorological conditions contributing to the formation of debris flows on the Black Sea coast of Russia, which is one of the debris flow-prone regions. The relevance of the work is due to the increase in the frequency and strength of debris flows in the context of global climate change, which requires improved forecasting methods. The approach of this work is based on a physico-statistical method for estimating the threshold values of precipitation parameters necessary for the occurrence of mudslides in a significant radius of correlation with the characteristics of large-scale atmospheric dynamics. The results of the study can be used to improve early warning systems, minimize damage to infrastructure and human settlements. The work contributes to understanding the regional features of debris flow formation in a changing climate.

Key words: debris flow event, extreme precipitation, Black Sea coast, forecasting, thresholds values

Cite of this article: Vorontsova V.S., Toropov P.A. Meteorological conditions for the debris flow formation on the Black Sea coast of Russia. In: Chernomorets S.S., Gavardashvili G.V., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 8th International Conference (Tbilisi, Georgia). Moscow: Geomarketing LLC, 2025, p. 449–454.



Введение

Сели являются одним из наиболее опасных природных явлений, способных нанести значительный ущерб инфраструктуре, включая жилые зоны, сельскому хозяйству и объектам туристической инфраструктуры. Эта проблема становится особенно актуальной в условиях глобального климатического изменения, которое приводит к увеличению частоты и интенсивности экстремальных погодных условий, включая ливневые дожди, которые являются основным триггером для формирования селей. Изучение метеорологических условий, способствующих формированию селей, крайне важно для предотвращения катастрофических последствий и минимизации ущерба.

Территория Черноморского побережья России характеризуется сложной орографией, интенсивными осадками и высокой влажностью, что создает благоприятные условия для возникновения селей. В последнее десятилетие в регионе наблюдается увеличение частоты и интенсивности экстремальных метеорологических явлений, таких как сильные дожди и шквальные ветры, что подчеркивает необходимость исследования факторов, влияющих на формирование селевых потоков и разработка методов их прогнозирования.

Обзор проблемы

С увеличением общего числа опасных явлений погоды (экстремальных осадков и наводнений) по всей планете увеличилось число опасных селевых ситуаций. Однако прогнозирование селей остается трудной задачей настоящего, так как для прогноза необходимо большое количество региональных, труднодоступных данных, различающихся для каждого водосборного бассейна.

Методика

В основе подхода лежит статистический анализ характеристик осадков в районе селевого события в значимом радиусе корреляции в сочетании с синоптическим анализом на основе данных реанализа ERA5.

Данные

В работе были использованы данные о селях на Черноморском побережье Кавказа, собранные в рамках работы Лаборатории Лавин и Селей Географического факультета МГУ в последние десятилетия. Также используются данные срочных наблюдений (использовались суммы осадков, мм) на метеорологических станциях архива ВНИИГМИ–МЦД. Были проанализированы данные плевниографа по интенсивности, мм/10 мин и продолжительности, ч осадков. Использовались данные реанализа высокого разрешения ERA5 (сумма осадков, мм; приземное давление; ветер; геопотенциал; температура AT850; влагосодержание столба атмосферы).

Анализ

По данным плевниографа метеостанции Сочи за период 1997–2022 гг. были рассчитаны параметры: максимальная интенсивность за событие дождя (мм/10 мин), продолжительность дождя в часах и процент дождя. Для анализа временной изменчивости характеристик осадков были построены диаграммы распределения за два подпериода: 1997–2006 и 2013–2022 гг. (рис. 1).

Наблюдается увеличение интенсивности осадков в последние десять лет (2013–2022) по сравнению с предыдущим периодом (1997–2006). В частности, зафиксирован рост частоты случаев с интенсивностью осадков, превышающей 12 мм/10 мин. В то же время, на функции распределения продолжительности дождя отмечается тенденция к сокращению продолжительности осадков в последние десять лет.



Для оценки статистической значимости изменений в характеристиках осадков между двумя периодами (1997–2006 и 2013–2022 гг.) был применен непараметрический критерий Колмогорова – Смирнова (таблица 1). Результаты теста показали, что для большинства параметров различия между периодами не являются статистически значимыми ($p > 0,05$).

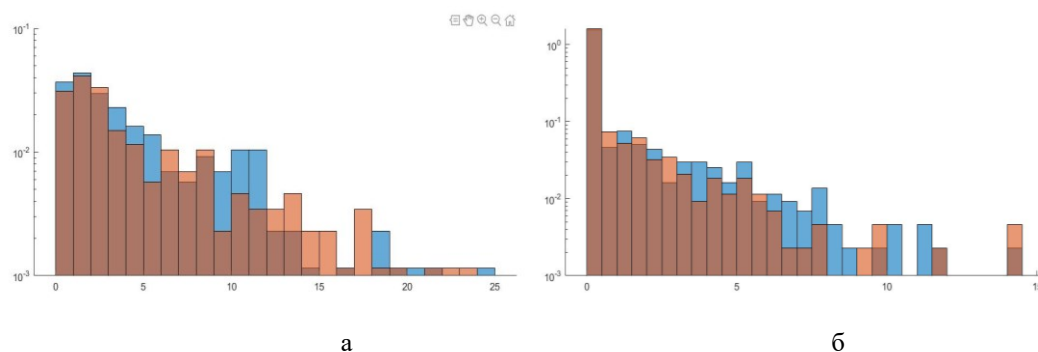


Рис. 1. Диаграммы распределения параметров осадков: а) Максимальная интенсивность, мм/10 мин; б) Продолжительность дождя, ч

Таблица 1. Результаты теста Колмогорова-Смирнова для параметров осадков

Параметр	Значение р
максимальная интенсивность	0,94
продолжительность дождя	0,23
процент дождя	0,03

Однако для параметра «процент дождя», характеризующего долю времени с непосредственным выпадением осадков в рамках одного события, (событие – дождь без перерывов или с перерывами менее 1 ч), было выявлено статистически значимое различие ($p = 0,03$). Это указывает на резкое увеличение доли непрерывных осадков в последние десять лет.

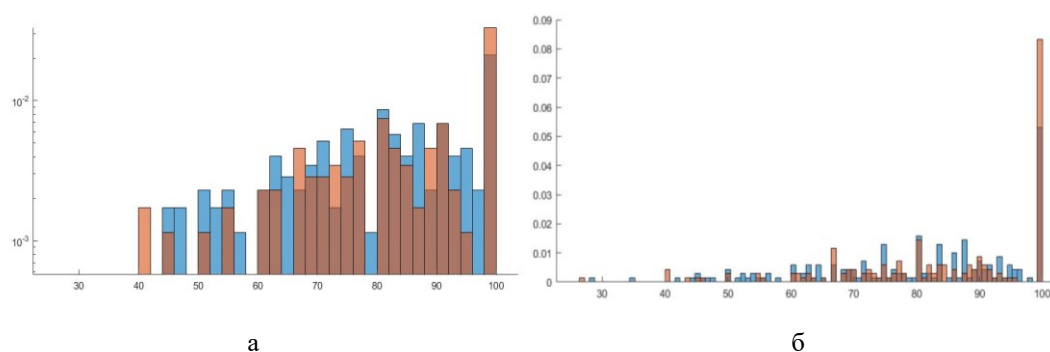


Рис. 2. Диаграмма распределения параметра процент дождя: а) Логарифмический формат; б) Линейный формат

Для выявления пороговых значений параметров дождя, которые могут служить предикторами селевой опасности, ключевые характеристики осадков были сопоставлены с датами селевых ситуаций. В результате анализа было установлено, что пороговыми значениями, при которых значительно возрастает вероятность схода селей, являются дожди продолжительностью не менее 1 ч с интенсивностью не менее 2 мм/10 мин (рис. 3).



Были построены приземные и высотные (AT850) карты основных метеорологических параметров по данным реанализа ERA5 в день схода селя и за предшествующие дни для того, чтобы проследить эволюцию атмосферных процессов, повлиявших на возникновение селеопасных осадков.

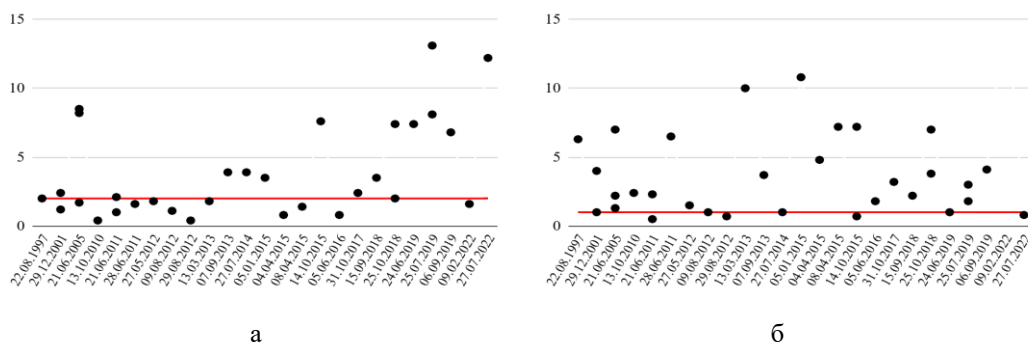


Рис. 3. Предикторы селеобразования: а) максимальная интенсивность, мм/10 мин; б) продолжительность дождя, ч

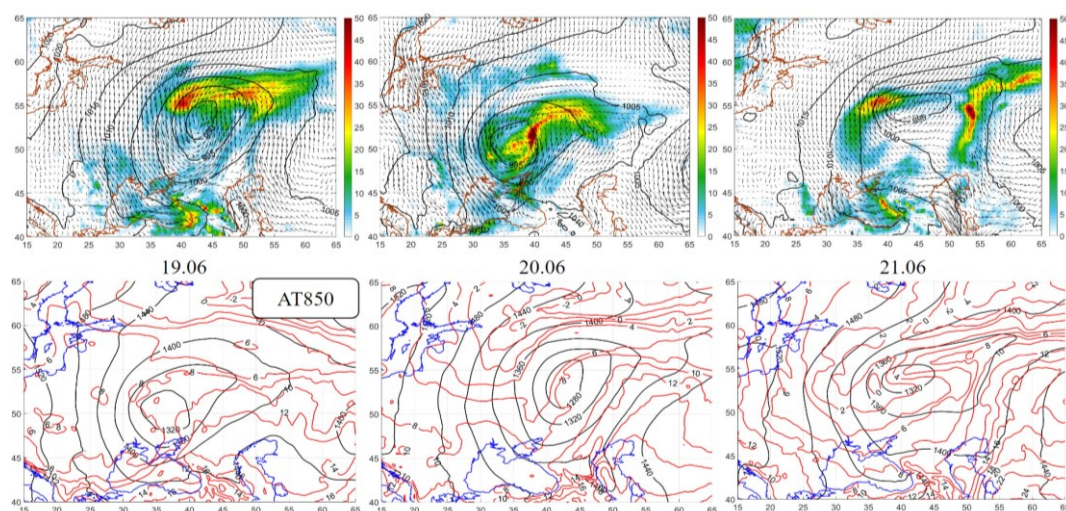


Рис. 4. Пример анализа синоптической ситуации для селевого случая 21.06.2005 (Водопадный, Сочи).

По итогам синоптического анализа селевых событий была составлена сводная таблица, которая выявила, что подавляющее количество селей было вызвано прохождением Черноморского циклона.

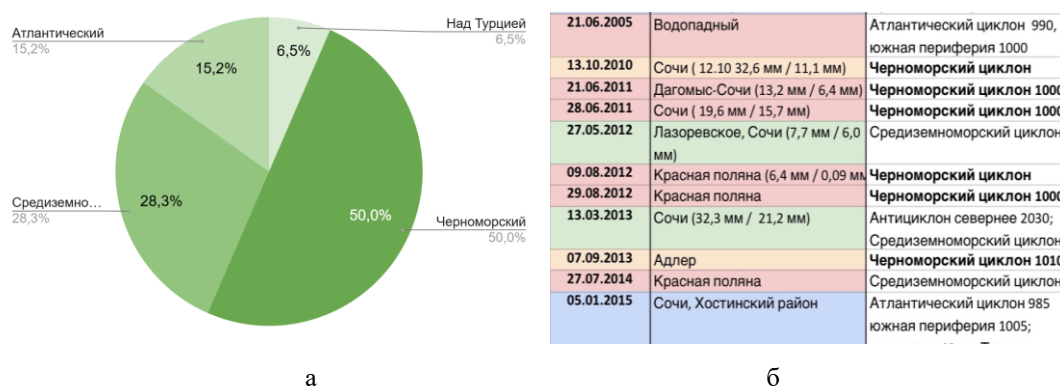


Рис. 5. Синоптический анализ а) Циклоны, ставшие триггером селевых ситуаций на Черноморском побережье; б) Фрагмент сводной таблицы



По данным реанализа ERA5 были построены карты аномалий температуры и аномалий интегрального влагосодержания в столбе атмосферы для каждого селевого случая. Затем значения аномалий также были сопоставлены с датами селевых событий. Пороговое значение аномалии температуры на 850 гПа ($\sim 1,5$ км) составляет не менее -5°C (в промежутке от $+5^{\circ}\text{C}$ до -5°C), то есть находится в зоне фронтального раздела, аномалии интегрального влагосодержания водяного пара составляет 15 мм, что указывает на достаточное содержание влаги в атмосфере, необходимое для схода селя.

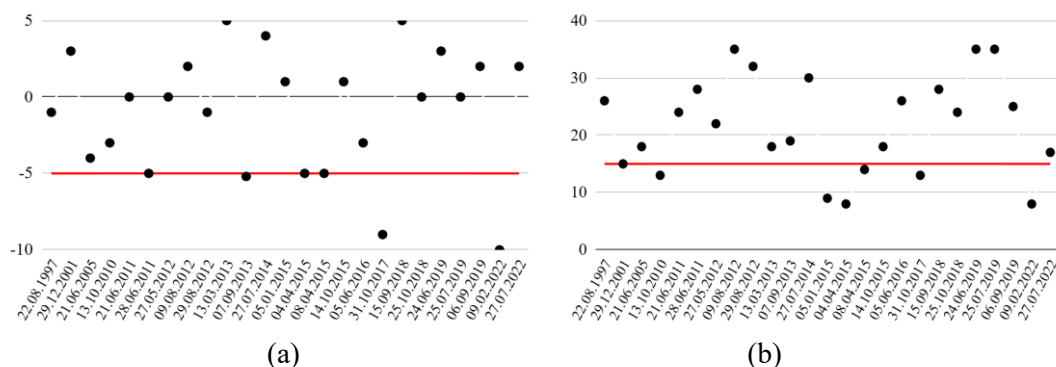


Рис. 6. Предикторы селеобразования а) Аномалия температуры на 850 гПа; б) Аномалия интегрального влагосодержания в столбе атмосферы

Радиус значимой корреляции определяет расстояние, на котором наблюдается статистически значимая связь между метеорологическими параметрами. Этот показатель характеризует пространственную согласованность изменчивости осадков, что важно для прогнозирования селевой опасности. Анализ показал, что радиус достоверной корреляции суточных сумм осадков составляет 50 км (таблица 2).

Таблица 2. Радиус пространственной корреляции для поля осадков по станционным данным

	Коррел	Расст, км
СОЧИ\КРАСНАЯ ПОЛЯНА	0,67	50
СОЧИ\ТУАПСЕ	0,58	116
СОЧИ\КЛУХОРСКИЙ ПЕРЕВАЛ	0,4	152
СОЧИ\КРАСНОДАР	0,37	172
СОЧИ\АРМАВИР	0,33	193
СОЧИ\АНАПА	0,26	335
СОЧИ\ПРИМОРСКО-АХТАРСК	0,26	300
СОЧИ\ЗЕЛЕНЧУГСКАЯ	0,18	153
СОЧИ\БУДЕННОВСК	0,16	378
СОЧИ\ПЯТИГОРСК	0,14	273
СОЧИ\МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ	0,14	282
СОЧИ\КИСЛОВОДСК	0,14	244
СОЧИ\ШАДЖАТМАЗ	0,12	264



Выводы

Исследование метеорологических условий формирования селей на Черноморском побережье России является важной задачей в контексте прогнозирования и минимизации рисков. Селевые потоки представляют серьезную угрозу для инфраструктуры и населения прибрежных регионов, что определяет необходимость детального изучения факторов, провоцирующих их возникновение. Проведенная работа позволила выявить ключевые метеорологические параметры, влияющие на возникновение селей, рассчитать их критические значения и определить пространственно-временные закономерности.

1. Определена роль влияния изменения климата на характер выпадения осадков:

(а) Наблюдается увеличение интенсивности осадков при одновременном уменьшении их продолжительности в последние 10 лет и значительном сокращении пропусков в событии дождя (*преобладание непрерывных интенсивных, но непродолжительных дождей*).

(б) Также изменился характер накопления осадков в течение 20 дней перед событием – значительное увеличение суммы осадков в последние 5 дней перед сходом селя.

2. Вычислены пороговые значения селевой опасности: осадки продолжительностью не менее 1 ч с интенсивностью не менее 2 мм/10 мин и суммой за сутки не менее 40 мм; аномалия температуры -5°C , аномалия содержания водяного пара 20.

3. Выявлена преобладающая роль Черноморских циклонов в формировании селей (около 50% от всех селевых ситуаций).

4. Выполнен анализ пространственной корреляции, который показал, что радиус достоверной корреляции суточных сумм осадков составляет 50 км.

Полученные пороговые значения представляют собой новый научный результат, который может быть интегрирован в системы мониторинга и прогнозирования селевой опасности. Эти значения помогут совершенствовать методы прогнозирования селей, разработать региональные модели и оптимизировать систему мониторинга и предупреждения чрезвычайных ситуаций.