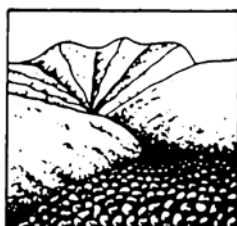


СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

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



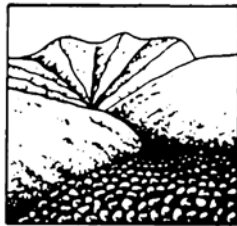
Edited by
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili, K.S. Viskhadzhieva

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



Катастрофическое наводнение на реке Дебед в мае 2024 г. (Армения)

В.Р. Бойнагрян, А.С. Пилюян

Ереванский государственный университет, Ереван, Армения, vboynagryan@ysu.am

Аннотация. Выявлены природные и антропогенные предпосылки возникновения наводнений и селей в бассейне реки Дебед, где 25–26 мая 2024 г. в результате выпадения обильных осадков (60% месячной нормы) произошло сильное наводнение со значительными разрушениями и даже с человеческими жертвами. Этими предпосылками являются наличие обнаженных и крутых склонов, большое количество оврагов, легко размываемых грунтов, ливневый характер осадков, нередко сопровождающихся крупным градом. Из антропогенных предпосылок наиболее существенными являются захламленность русел селеактивных рек и подмостовых пространств строительным и бытовым мусором, уменьшающих живое сечение русла. Использовано спутниковое изображение высокого разрешения PlanetScope, полученное 29 мая 2024 г. На его основе рассчитан нормализованный водный индекс (NDWI) для выделения водных масс и визуализации затопленных территорий. Метод NDWI позволил эффективно отличить области, покрытые водой, от суши даже при минимальной облачности. Полученные данные демонстрируют потенциал оперативных спутниковых снимков высокого разрешения для картирования последствий стихийных бедствий. Для предотвращения разрушения дорог предлагается укрепление капитальными бетонными стенками вогнутых участков берега на излучинах русла или наброской крупных бетонных блоков.

Ключевые слова: космические снимки, наводнение, обильные осадки

Ссылка для цитирования: Бойнагрян В.Р., Пилюян А.С. Катастрофическое наводнение на реке Дебед в мае 2024 г. (Армения). 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. 61–76.

Catastrophic flooding on the Debed river in May 2024 (Armenia)

V.R. Boynagryan, A.S. Piloyan

Yerevan State University, Yerevan, Armenia, vboynagryan@ysu.am

Abstract. The study identifies the natural and anthropogenic preconditions for the occurrence of floods and debris flows in the Debed River basin, where heavy rainfall (amounting to 60% of the monthly norm) on May 25–26, 2024, triggered a severe flood that caused significant destruction and human casualties. The natural factors include steep and exposed slopes, a high density of gullies, easily erodible soils, and intense precipitation often accompanied by large hail. Among anthropogenic factors, the most critical are the accumulation of construction and household waste in riverbeds and under bridges, which reduces the effective flow cross-section. A high-resolution PlanetScope satellite image acquired on May 29, 2024, was used to calculate the Normalized Difference Water Index (NDWI) for detecting surface water and visualizing flooded areas. The NDWI method effectively distinguished water-covered zones from land, even under minimal cloud cover. The results demonstrate the potential of high-resolution satellite imagery for rapid mapping of natural disaster impacts. To mitigate future road damage, the study recommends reinforcing the concave outer riverbanks at meanders using concrete retaining walls or by placing large concrete blocks.

Key words: satellite images, flooding, heavy rainfall



Cite this article: Boynagryan V.R., Piloyan A.S. Catastrophic flooding on the Debed river in May 2024 (Armenia). 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. 61–76.

Введение

Наводнения и сели причиняют огромный ущерб населенным пунктам и транспортной инфраструктуре в местах своего действия, оказывают разрушающее воздействие на окружающую среду и относятся к одному из самых опасных природных процессов. В последние несколько лет повсеместно в мире наблюдаются значительные изменения климата, что проявляется в увеличении количества и частоты катастрофических наводнений и селей, связанных с выпадением нескольких месячных норм осадков за короткий промежуток времени и, соответственно, с резким подъемом уровня воды в реках [Boynagryan et al., 2011; Coldewey et al., 2011; Douglas, 2011; Gaprindashvili et al., 2016; Kussul et al., 2010; Neumann et al., 2018].

Сильные наводнения произошли: в Таиланде и КНДР (2016 г.); Нигерии, Индии, Японии, Кении (2018 г.); Индии, Индонезии (2019 г.); Китае, Индии, Бразилии, Германии (2020–2021 гг.) [Бойнагрян, 2021; РИА Новости, 2021]. Обильным на наводнения был и 2024 г.: Оман, ОАЭ, Иран, Йемен (в этих странах за один день выпало почти годовое количество осадков); Кения и Танзания, Центральная Европа, Испания; Афганистан и Пакистан (здесь сильные осадки выпали после необычно засушливой зимы, поэтому потоки воды не могли просочиться вглубь через высохшие поверхностные грунты и почти полностью влились в реки) [Давыдова, 2024].

Разрушительные селевые потоки причинили огромный ущерб в Колумбии (2017 г.), Кыргызстане (2016 г.), Таджикистане (2015 г.), Китае (2010 г.), Филиппинах (2006 г.), Афганистане (2013 г.) и др. [Бойнагрян et al., 2014; Гращенков, 2017]. В 2024 г. сели причинили значительный ущерб городскому хозяйству Сочи и другим населенным пунктам Краснодарского края, Сахалину, Кабардино-Балкарии, Приморью, Камчатке, Дагестану, Кыргызстану. В последнем за один этот год было более 300 случаев формирования селевых потоков, что составило их самое большое количество за последние 30 лет [Все новости с тегом, 2024].

Проблема селей и наводнений весьма актуальна и в Армении, что обусловлено не только горным характером рельефа республики, ливневыми дождями (нередко с градом), активным физическим выветриванием горных пород и накоплением на склонах неустойчивого рыхлого материала в качестве источника твердой составляющей для селей, но и изменением климата, как и повсюду в мире: нарушены летние и зимние температуры воздуха, сроки наступления очередных сезонов года, возросла интенсивность осадков (особенно в последние 5 лет) и частота экстремальных гидрометеорологических явлений и др. [IPCC, 2021].

В разные годы в Армении случались сели на рр. Гетар, Вохчи, Агстев, Дебед и др. (рис. 1–3), а также наводнения на рр. Раздан, Веди, Мецамор и др. (рис. 4).

В мае 2024 г. северные регионы Армении – Лори и Тавуш – подверглись мощному наводнению, вызванному проливными дождями, что привело к выходу из берегов рек Дебед, Агстев и Ташир. Согласно отчёту, Пост-катастрофической оценки потребностей (PDNA), подготовленному при участии Правительства Армении, ЕС и ООН, это стихийное бедствие стало крупнейшим за последние десятилетия [PDNA, 2024].

Наводнение затронуло девять укрупнённых общин, в том числе Алаверди, Ташир, Ноемберян, Иджеван, Степанаван и Дилижан. Были зафиксированы человеческие жертвы, эвакуации, массовые разрушения мостов, дорог, жилых и сельскохозяйственных объектов. Общий ущерб оценён в 82,43 млн долл. США, при этом более 32 млн пришлось на общину Алаверди [PDNA, 2024].

Одним из ключевых инструментов для оценки последствий стихийных бедствий и планирования восстановления является дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). Использование спутниковых данных позволяет оперативно и объективно оценить



масштаб затопления, повреждённые территории и изменения в окружающей среде [Refice *et al.*, 2018]. Целью данной работы является применение спутникового изображения PlanetScope, полученного 29 мая 2024 г., для анализа последствий наводнения на пострадавших территориях. Методология основана на расчёте нормализованного водного индекса (NDWI), визуальной интерпретации, а также сопоставлении данных.



Рис. 1. Сель на р. Гетар в пределах Еревана, 25 мая 1946 г. Фото из газеты «Голос Армении»



Рис. 2. Селевые выносы р. Бабаджан (юго-западный склон Севанского хребта).
Фото Л. Зограбяна



Рис. 3. Последствия грязекаменного селя, сформировавшегося после сильного ливня (за 50 мин выпало 53 мм осадков). Иджеван, 2 июня 1998 г. Фото В. Бойнагряна



Рис. 4. Последствия наводнения на р. Раздан в окрестностях Бжни весной 2004 г.
Фото В. Бойнагряна

Район исследования – бассейн р. Дебед, расположенный на севере Армении. Его границами являются: на западе – Джавахетский массив, на востоке – хребет Гугарац, на севере – хребет Вирайюц, на юге – Памбакский хребет. На СЗ бассейна расположена



Лорийская равнина (плато), дренируемая притоками р. Ташир. На ЮЗ Базумский хребет служит водоразделом рр. Памбак (верховье р. Дебед) и Дзорагет (рис. 5).

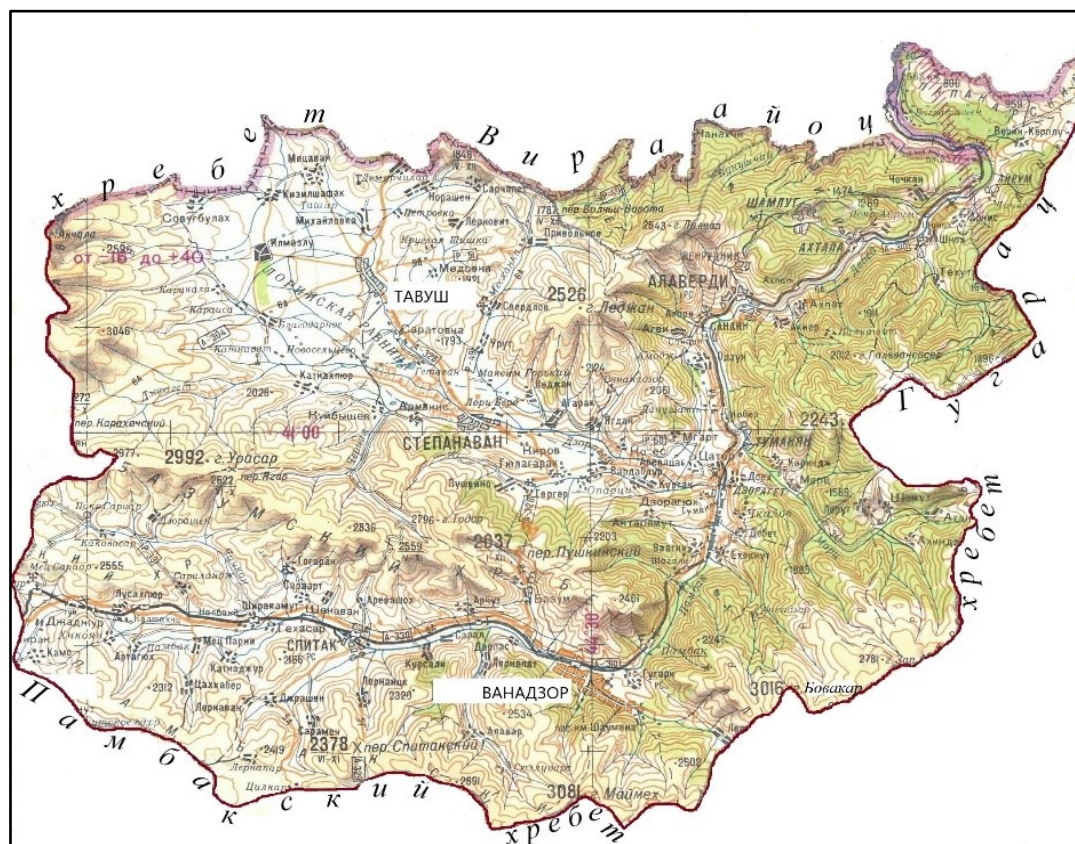


Рис. 5. Карта бассейна р. Дебед, масштаб 1:500 000 (уменьшено)

Рельеф бассейна горный, труднодоступный. Абсолютные высоты колеблются от 400–450 м у Айрума до 3081 м (г. Маймех). Относительные превышения вершин хребтов над седловинами составляют 50–500 м, над долинами – до 1300 м. Наибольшую высоту (более 2500 м) имеют Базумский и Памбакский хребты. Гребни хребтов узкие и скалистые. Склоны расчленены глубокими ущельями, нередко скалистые обрывы высотой 50–500 м. В привершинной части склонов много оврагов разной глубины и длины. Долины рек узкие (50–300 м). Межгорные котловины расположены на абсолютных высотах 1100–1800 м. Крупнейшая из них – Лорийская равнина с почти плоской поверхностью в центре.

Склоны залесены в основном на правобережье р. Дебед на участке от Мегрута до границы с Грузией, а также на левобережье р. Тандзут (правый приток р. Памбак) и в районе гор. Ванадзор. На левобережье склоны залесены лишь на участке сс. Шамлуг-Ахтала, выше сс. Акори, Агви, Ваагни и у гор. Степанаван. На остальной части бассейна склоны обнажены, поэтому здесь горные породы интенсивно выветриваются и становятся источником твердой составляющей для селей.

В пределах бассейна распространены породы верхнего плиоцена (N_2^2): долеритовые и оливиновые базальты, озерные и озерно-аллювиальные пески; среднего эоцена (Pg_2^2): вулканогенно-терригенный флиш (туфопесчаники, туфобрекчии, известняки, глины, потоки андезитов); верхнего эоцена (Pg_2^3): вулканические и вулканогенно-осадочные отложения (андезиты, андезито-базальты, трахиандезиты, их туфобрекчии, лавобрекчии, туфоконгломераты и др.); нижнего мела (K_1): морские осадочные породы (известняки, мергели, песчаники, туфопесчаники, алевролиты); нижней-средней юры (J_1-J_2b): морские осадочные отложения, вулканогенно-осадочные породы, андезиты, диабазы, андезито-дацитовые туфы; крупная интрузия



лейкократовых гранитов верхней юры-нижнего мела (J_3-K_1) у Техута (бассейн р. Шнох) [Харазян, 2005].

Климат умеренно-влажный, весна и осень дождливые, летом дожди выпадают в виде ливней (нередко с градом), снежный покров достигает 20–30 см, а в горах – 3–6 м.

Среднегодовое количество осадков за последние 45–50 лет составляет: в Ахтале – 412 мм, Алаверди – 488 мм, Одзуне – 590 мм [Климатический справочник..., 2013]. За период с 1963 по 2020 г. годовое количество осадков в целом по бассейну р. Дебед оценивается в 471–767 мм [Маргарян, 2022].

Питание рек смешанное – талые и дождевые воды, а также воды родников, выходящие из-под лав. Половодья отмечаются весной и осенью, но имеют непостоянный характер. Основной подъём уровня воды отмечается весной. Весенний расход превышает зимний более чем в 100 раз и вызывает катастрофические разрушения. Река Дебед является крупнейшей водной артерией области Лори (рис. 6).

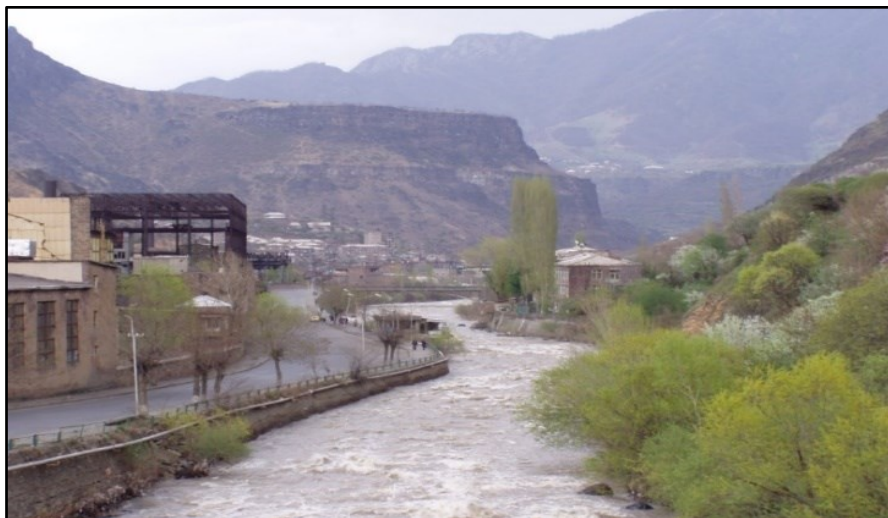


Рис. 6. Река Дебед в пределах города Алаверди. Фото В. Бойнагряна

Она берет свое начало у Джаджурского перевала (если считать её началом исток р. Памбак), из родника на восточном склоне седловины. Длина реки в пределах Армении составляет 152 км (общая длина – 178 км), площадь водосборного бассейна в РА – 3790 км² (общая – 4080 км²). Дебед считается самой многоводной горной рекой Армении и самой крупной горной рекой в бассейне р. Кура. Ширина русла составляет 20–25 м (местами – 10 м), глубина – 0,5–1,0 м, скорость течения – 0,7–1,0 м/сек. Местами в русле встречаются небольшие островки, сложенные галечником.

По морфологии и простиранию долина р. Дебед подразделяется на несколько участков [Бойнагрян, 2009].

Верхний участок реки (от истока до Гугарка) широтного простиранья совпадает с западной частью протяженного Памбак-Севанского разлома и характеризуется широкой долиной с серией надпойменных террас. Расширения здесь чередуются с сужениями долины, которая приобретает вид узкого ущелья.

От Гугарка до с. Акори р. Дебед приобретает меридиональное простиранье и характеризуется в целом узкой долиной, которая между с. Ваагни и гор. Алаверди по своей морфологии представляет собой каньон глубиной 250–350 м, врезанный в лавы и подстилающие их порфириты (а у устья р. Дзорагет – также в озерно-речные отложения).

На отрезке от гор. Алаверди до границы с Грузией долина реки постепенно расширяется. Склоны долины здесь крутые и скалистые, на них часты осыпи. Местами встречаются лавовые террасы, высота которых уменьшается от 300 м у Алаверди до 50 м и ниже севернее Айрума. Местами появляется пойма шириной до 50–100 м, на склонах долины прослеживаются террасы небольшой ширины. Их высота вниз по течению уменьшается от 10–15 м до 4–8 м.



Основными притоками р. Дебед (от истока р. Памбак) являются:

- правые: Цахкару, Ворднав, Спитак, Лернаджур, Тандзут, Чанахчи, Марц, Шнох;
- левые: Чичкан, Дзорагет с притоками Чёрная, Гергер, Каракала, Ташир, Месханка.

Методы исследований

Использованы результаты полевых и камеральных работ (анализ спутникового изображения высокого разрешения PlanetScope, полученного 29 мая 2024 г., а также речной сети по топографической карте масштаба 1:200 000, сбор данных по селености и селеактивности отдельных рек бассейна и др.).

Исходным материалом для анализа послужило спутниковое изображение PlanetScope, полученное 29 мая 2024 г. – через три дня после наводнения. Изображение имеет пространственное разрешение 3 м и включает четыре спектральных канала: синий, зелёный, красный и ближний инфракрасный (NIR). Оно прошло предварительную коррекцию и было предоставлено в составе университетской лицензии.

В качестве основного метода количественного анализа был применён нормализованный водный индекс (NDWI), предложенный McFeeters в 1996 г. [McFeeters, 1996] и широко используемый в оперативном картографировании затоплений [Xu, 2006]. Формула:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}, \quad (1)$$

где используются значения спектральных каналов: зелёного (Band 2) и ближнего ИК-диапазона (Band 4). Высокие значения NDWI (обычно > 0,1) соответствуют открытому водному зеркалу, тогда как отрицательные значения характерны для суши и плотной растительности.

Для визуализации результатов NDWI был использован многоступенчатый цветовой градиент в среде ArcGIS Pro. Цветовая шкала варьировалась от светло-жёлтого (низкие значения индекса, соответствующие сухим или слабовлажным участкам) до тёмно-синего (высокие значения, характерные для открытых водных поверхностей и затопленных территорий). Такой подход позволил более точно отразить градации влажности и степень насыщения водой на исследуемых участках. Градиентная символика обеспечила чёткое визуальное разделение между сухими, переувлажнёнными и затопленными зонами, особенно в прибрежных и равнинных участках вдоль русел рек. Были созданы маски NDWI > 0,1, соответствующие вероятному наличию воды. Эти маски были наложены на карту административных границ для последующего анализа по общинам.

Результаты и обсуждение

В бассейне р. Дебед, как и по всей Армении, наводнения и сели в основном образуются при ливневых дождях с количеством осадков 30 мм и более. Средняя интенсивность селеобразующих дождей составляет 0,05–0,78 мм/мин., а ливневой части – 0,16–1,46 мм/мин. Лишь в отдельных случаях сели и наводнения могут образоваться при интенсивном снеготаянии (резкое повышение температуры воздуха весной), сопровождаемое дождями, как это было в 2004 г. (тогда за несколько часов температура воздуха повысилась на 12°C). Результат такой аномалии – сильное наводнение на р. Раздан с поднятием уровня реки на 1,5 м (см. также рис. 4), в Ереване в пределах ущелья реки были затоплены первые этажи почти всех ресторанов.

Максимальное суточное количество осадков в Армении обычно составляет более 40–75 мм, но свыше 100 мм отмечается редко. В бассейне р. Дебед суточный максимум осадков (108 мм) был зафиксирован 14.06.1944 г. в бассейне р. Дзорагет [Каталог



селеопасных рек..., 1969]. После этого суточный максимум составлял: Ахтала – 72 мм (15.08.1970), Алаверди – 61 мм (15.08.1970), Одзун – 48 мм (24.06.1974) [Климатический справочник..., 2013].

В Армении сильные ливни выпадают чаще всего на небольшой территории, поэтому сели и наводнения больше формируются на притоках основных рек. Притоки имеют большое падение русла, небольшую водосборную площадь и могут быть одновременно охвачены интенсивными дождями.

В бассейне р. Дебед максимальная повторяемость ливней характерна для восточных склонов Джавахетского вулканического массива, дренируемого многочисленными правыми притоками р. Ташир (левый приток р. Дзорагет), а также для южных склонов хребта Вираайоц. Согласно данным МЧС Армении, за период с 1994 по 2011 гг. сели здесь сформировались 35 раз (наибольшее количество селей по сравнению с другими областями республики), при этом их максимум (13 раз) приходится на 2009 г.

Опасность затоплений населенных пунктов в бассейне р. Дебед при селях и наводнениях грозит селам Джрашен, Лернаван, Цахкабер, Лернанцк, Карадзор, Гергер, Привольное. Такая ситуация связана с тем, что территория бассейна характеризуется значительной эродированностью. Здесь большой процент обнаженных крутых склонов южной экспозиции, слабая водопроницаемость горных пород, слабая их устойчивость против выветривания, значительная крутизна склонов, максимальное количество селевых русел (278) по сравнению с другими областями Армении. Степень сильной и средней эродированности составляет 246 и 497 км² соответственно [МЧС Армении]. Эрозионные явления в бассейне усилились в последние 20–25 лет вследствие нерационального использования земель, вырубки лесов, перевыпаса скота.

Частота формирования селей в бассейне р. Дебед была наибольшей на его левобережье ещё в XX в. (таблица 1), и эта тенденция сохранилась и в наши дни. Здесь селевая активность относится к первой категории (повторяемость селей – 1–3 года), а селеносность составляет 15–35 м³/км² за один сель [Национальный атлас Армении, 2007].

Таблица 1. Ряд параметров селеактивных притоков р. Дебед и повторяемость селей

Река	Куда впадает	Длина, км	Площадь бассейна, км ²	Высота истока, м	Высота устья, м	Падение русла, м/км	Количество селей и (период их формирования)
Чичкан	Памбак	26	189	2250	1610	24,6	9 (1940–1964)
Арчут	“	6,5	9	2449	1420	156,9	7 (1929–1958)
Лернаджур	“	23	126	2780	1380	60,9	19 (1930–1964)
Бзовдал	“	17	47,2	2680	1340	78,8	14 (1918–1963)
Месханка	Дзорагет	29	156	2100	1260	28,9	1 (1950)
Леджан	“	11	16,4	2440	1380	96,4	12 (1929–1963)
Лалвар (Алаверди)	Дебед	10	36	2100	700	140,0	6 (1941–1963)
Ерицванк (Ахтала)	“	14	48,4	1500	560	67,1	5 (1954–1963)
Марц	“	29	252	2600	860	60,0	1 (1958)
Шнох	“	13	114	1849	540	100,7	3 (1914–1958)

Составлена по данным [Каталог селеопасных рек..., 1969]

Из приведенных в таблице 1 притоков р. Дебед большинство относятся к левобережным, лишь Лернаджур, Марц и Шнох являются правобережными. Высокая селеактивность р. Лернаджур объясняется большой площадью её водосборного бассейна и значительной разветвленностью речной сети, что способствует притоку в неё ливневых осадков из разных притоков. Кроме того, почти весь её бассейн представлен крутыми и обнаженными склонами Памбакского хребта, расчлененными многочисленными



оврагами. Реки Марц и Шнох дренируют почти полностью залесенные склоны западной оконечности Иджеванского хребта и склоны западной экспозиции хребта Гугарац. Сели и наводнения по этим притокам р. Дебед редки и небольшой мощности.

Именно из-за интенсивных осадков (ливень с градом – градины имели величину с лесной орех) с максимумом вечером 25 мая и в ночь на 26 мая 2024 г. (40–55 см, или 40–60% от месячной нормы) в результате проникновения на территорию Армении активного циклона со Средиземного моря в бассейнах рек Дебед и Агстев произошло резкое поднятие уровня воды (более 2м по сравнению с предыдущим днем). Утром 26 мая 2024 г. водоотдача в пункте Дебед – Айрум составила 650 м³/с (накануне вечером было 119 м³/с), в Дзорагет – Гаргар – 350 м³/с (накануне – 73 м³/с), в Ташир – Саратовка – 75 м³/с (накануне – 16,6 м³/с). Такая высокая водоотдача в бассейне р. Дебед отмечалась и 19 мая 1959 г.: Дебед-Айрум – 759 м³/с, Дзорагет – Гаргар – 395 м³/с, Ташир-Саратовка – 112 м³/с. Такое поднятие уровня воды в реке было максимальным за последние 65 лет и вторым за весь период наблюдений.

На утро 26 мая 2024 г. количество осадков на всей территории Армении превысило месячную норму и составило 180–230%. В р. Дебед уровень воды поднялся в целом примерно на 6 м, что привело к затоплению значительной части гор. Алаверди (рис. 7), станции Санаин (рис. 8).



Рис. 7. Последствия наводнения в Алаверди. Фото из сети «Интернет»

В результате наводнения были разрушены 17 (20) мостов, отдельные участки дороги М6 в районе Алаверди (рис. 9), дорога Шнох – Техут, небольшой участок железной дороги Ереван-Тбилиси, затоплены 9 городов и 30 сел, водопровод (поэтому было приостановлено водоснабжение в Алаверди, Ахтале, Айруме, и еще в 11 населенных пунктах), на станции Санаин ряд домов у реки были затоплены до второго этажа, повреждены оптические кабели и станции мобильной связи, с перебоями работали интернет и телефонная связь. На участке автодороги Айрум – Ахтала произошел сход оползня.



Рис. 8. Затопленные участки станции Санаин. Фото из сети «Интернет»



Рис. 9. Разрушенный участок дороги М6. Фото из сети «Интернет»

По космическому снимку было проведено визуальное сравнение с базовой картой Esri Imagery, где видно состояние района станции Санаин до наводнения. На изображении Planet Score того же района можно отчётливо наблюдать разрушенный мост, тогда как на NDWI-слое чётко выделяется зона скопления воды, соответствующая подтопленному участку. Это наглядно иллюстрирует, как сочетание спектрального анализа и визуальной интерпретации позволяет достоверно фиксировать последствия наводнения (рис. 10).

Для обоснования полученных результатов были проанализированы статистические данные из отчёта PDNA, в котором указано, что именно район Алаверди понёс наибольшие потери — 32,47 млн долл. США. Эти данные были сопоставлены с пространственными результатами NDWI, где наблюдаются крупные зоны затопления



вдоль русла Дебеда, в том числе в районах мостов, железной дороги и жилой застройки [PDNA, 2024].

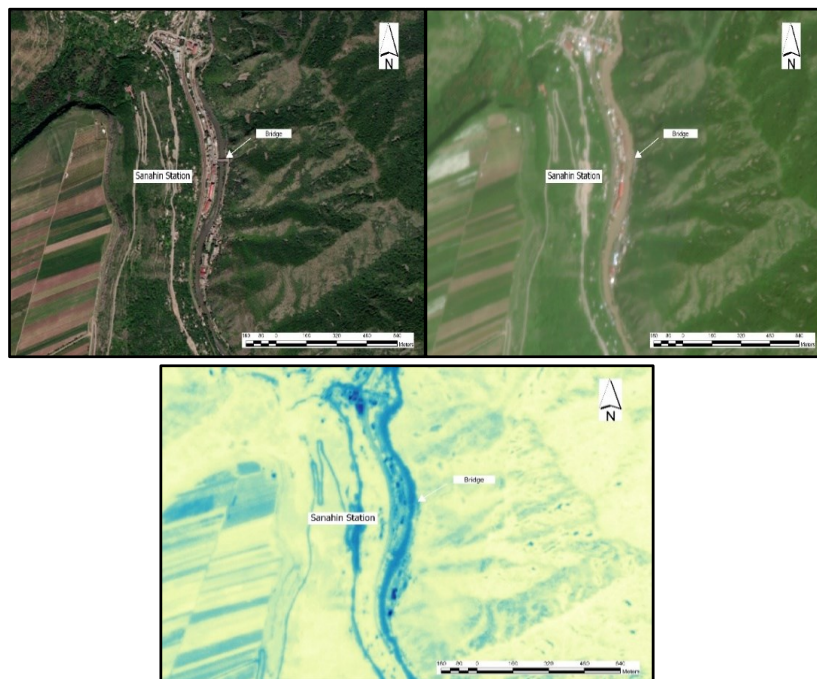


Рис. 10. Анализ наводнения в районе станции Санаин с использованием дистанционного зондирования: а – изображение Esri Imagery до наводнения; б – снимок Planet Scope от 29 мая 2024 г., на котором видны последствия наводнения; в – карта NDWI, рассчитанная на основе того же снимка, визуализирующая водные поверхности и затопленные участки

Результаты NDWI-анализа позволили идентифицировать несколько ключевых зон с высокой вероятностью затопления. Среди них:

- участки вдоль реки Дебед в общинах Алаверди и Туманян, где индекс превышал 0,3;
- зона разрушения мостов в районе станции Санаин и города Ахтала, подтверждённая как на RGB-изображении Planet Scope, так и на NDWI-карте;
- обширные скопления влаги на равнинных территориях в районе Ташира, что согласуется с наблюдаемыми паводками средней интенсивности [PDNA, 2024].

NDWI-маска общей площади подтопления (при пороге $> 0,1$) составляет приблизительно 3000 гектаров. Эти данные сопоставимы с оценками PDNA, где подчёркивается, что наибольший ущерб был нанесён общественной инфраструктуре, сельскому хозяйству и транспорту.

Также в результате анализа было обнаружено резкое изменение спектральных характеристик растительности вдоль русел рек, что указывает на возможное повреждение травяного покрова и деревьев. Это подтверждается разделом отчёта PDNA по окружающей среде, где зафиксированы эрозионные процессы и размыв берегов, определённые с использованием методов ДЗЗ [PDNA, 2024; SERTIT, 2024]. Согласно отчёту, с помощью дистанционного зондирования были получены следующие количественные оценки ущерба окружающей среде:

- объём эродированных берегов рек – 422 242 м³,
- количество выкорчеванных деревьев – 2 969 шт.,
- объём древесины – 594 м³,
- площадь отложений почвы, ила, древесины и металлических фрагментов – 133 га, в том числе: ил – 120,9 га, почва – 9,73 га, древесные фрагменты – 2,39 га, металл – 0,05 га.



Данные об изменении морфологии русел, а также о накоплении мусора и наносов, были подтверждены и при визуальной интерпретации Planet Score-снимка - в ряде мест (например, южнее станции Санаин) видны смещения береговых линий, участки с ярко выраженным размывом, а также зоны плотных иловых скоплений.

В целом можно подчеркнуть, что даже при наличии лишь одного постфактум-изображения индекс NDWI позволяет выявить критически важные последствия наводнения. В идеале для получения более полной и достоверной картины требуется временной ряд снимков до и после события, что открывает возможности для проведения динамического анализа. Кроме того, при наличии данных с ближним и средним инфракрасным диапазоном (SWIR) целесообразно использование дополнительных водных индексов, таких как MNDWI или AWEI, которые обладают повышенной чувствительностью к различным формам поверхностной воды [Feyisa et al., 2014].

Наводнения и сели на р. Дебед с катастрофическими последствиями (выход реки из берегов, разрушение строений, железнодорожного полотна, автодорог и др.) случались неоднократно и ранее. Например, такие случаи были в 1941 и 1959 гг. в Алаверди и на станции Айрум. Сель 1959 г. разрушил много зданий в Алаверди и стенку, защищающую шоссе от размыва [Зограбян, 1962].

В мае 2024 г. наиболее сильно пострадали дороги на вогнутых участках долины р. Дебед [Бойнагрян, 2024] (рис. 11), что вполне объяснимо с точки зрения закономерностей, присущих водному потоку, проходящему по извилинам (меандрам) долины. В таком водном потоке струя воды с наибольшей скоростью (стремени) прижимается к вогнутому берегу и подмывает (размывает) его. На выпуклом берегу, наоборот, происходит накопление галечно-гравийного материала и формируется прирусловая отмель (побочень).



Рис. 11. Один из участков вогнутого берега, размываемого водным потоком.
Фото из сети «Интернет»

Во время наводнения, когда уровень реки поднимается, увеличивается масса воды и скорость течения, что приводит к резкому возрастанию энергии потока (или его живой силы). На изгибах долины во время наводнения буйный поток с резко возросшей энергией просто не сможет следовать по извилине, а пойдет по прямой и всей своей массой обрушится на вогнутую часть берега, что и продемонстрировали события 25–26 мая 2024 г. (рис. 12).



Рис. 12. В верхней части снимка слева – затопленный участок при пике наводнения.
Фото из сети «Интернет»

Смытый по пути следования бурного потока разнородный материал местами сформировал селевые конусы выноса (рис. 13).



Рис. 13. Один из селевых конусов выноса разнородного материала, сформировавшегося после спада наводнения в долине р. Дебед. Фото из сети «Интернет»

Причиной выхода р. Дебед из берегов может быть и банальная захламленность русла строительными и бытовыми отходами, которые создают временные запруды с последующими прорывами воды в виде высоких волн, затопляющих пространства по ходу движения водяного вала. Такая захламленность русла реки от верховьев вниз по течению неоднократно фиксировалась нами в процессе полевых работ (рис. 14–15).

Захламленность русел приводит к тому, что ливневые воды просто не умещаются в них, они выходят из берегов и затопляют прибрежные пространства.



Рис. 14. Остатки строительных конструкций в русле верхний р. Дебед. Фото В. Бойнагряна



Рис. 15. Обычная ситуация у подмостовых пролетов на притоках р. Дебед. Фото В. Бойнагряна

Выводы

Природные условия бассейна р. Дебед (см. выше) и в дальнейшем могут способствовать формированию селей и наводнений со всеми вытекающими из этого негативными последствиями (затопление населенных пунктов, разрушение дорог, снос мостов и т.п.). Природу области изменить невозможно, необходимо не дать речной воде выйти из берегов и свободно буйствовать в пределах речной долины. Поэтому первоочередной задачей должно быть уяснение того, что при подъёме уровня воды река не будет следовать по извилинам русла, а потечет прямо и обрушит всю силу огромного объёма воды при резко возросшей скорости на вогнутую часть берега. Следовательно, необходимо капитально укреплять вогнутые участки русла мощными бетонными



стенками или наброской крупных бетонных блоков. Необходимо также обратить внимание на состояние русел селеактивных рек – убрать из них весь строительный и бытовой мусор, вырубить разросшиеся кустарники и углубить русла хотя бы на 0,5–1,0 м, чтобы паводковые воды не выходили из берегов.

Хорошим подспорьем в выявлении «проблемных» участков, где могут произойти затопления и разрушения при селях и наводнениях, является анализ космических снимков, позволяющих получить весьма ценную и достаточно объективную информацию о возможных негативных последствиях.

Список литературы

- Бойнагрян В.Р. Реки и речные долины Армянского нагорья. – Ереван: Изд-во ЕГУ, 2009. – 154 с.
- Бойнагрян В.Р. Сели и транспортные коммуникации в Армении. Изученность распространения и развития опасных экзогенных процессов и явлений, и их воздействия на транспортные коммуникации горных стран. – Ереван: Изд-во «Гитутюн» НАН РА, 2021. – С. 36–41.
- Бойнагрян В.Р. Природные предпосылки возникновения наводнений и селей в бассейне реки Дебед (Лорийская область, Армения) // Ученые записки ЕГУ. Геология и география. – 2024. № 58 (3). – С. 190–200.
- Бойнагрян В.Р., Бойнагрян А.В., Манукян Н.В. Селевая активность в Армении // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: сборник трудов III Международной конференции. – Южно-Сахалинск, 2014. – С. 10–13.
- Гращенков А. Самые разрушительные селевые потоки в мире в 2010–2017 годах // РИА Новости. – 2017. – <https://ria.ru/spravka/2017040202>.
- Давыдова Ю. Ураганы, наводнения и пожары: крупнейшие климатические катаклизмы 2024 года. Устойчивое развитие // Forbes Life. 2024. – <https://www.forbes.ru/sustainability/528062-uragany-navodnenia-i-pozary-krupneysie-klimaticheskie-kataklizmy-2024-goda>.
- Зограбян Л.Н. Селевые потоки. Геология Армянской ССР. – Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1962. – Т. 1. Геоморфология. – 374 с.
- Известия. Все новости с тегом. Сель 2024. – <https://iz.ru/tag/sel>.
- Каталог селеопасных рек на территориях Северного Кавказа и Закавказья / под ред. Г.Н. Хмаладзе. – Тбилиси, ГУГМС, 1969. – С. 233–340.
- Климатический справочник. II часть. Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров. – Ереван: Изд-во «Лусабац», 2013. – 172 с.
- Маргарян В.Г., Ольчев А.В. Пространственная и временная изменчивость температуры воздуха и осадков бассейна реки Дебед // Ученые записки ЕГУ. Геология и география. – 2022. – № 56 (1). – С. 1–13.
- Национальный атлас Армении. – Ереван: Центр геодезии и картографии. ПОАК А, 2007. – 232 с. (на армянском)
- РИА Новости. Крупные наводнения в мире в 2016–2021 годах. – 2021. – [Ria.ru/20210729/navodneniya-1743437514.html](https://ria.ru/20210729/navodneniya-1743437514.html).
- Харазян Э.Д. Геологическая карта Республики Армения. 1:500 000. – Ереван, 2005.
- Boynagryan V.R., Stepanyan V.E. Assessing hazards and risk from hydro-meteorological phenomena in the Republic of Armenia // Stimulus for human and societal dynamics in the prevention of catastrophes. Amsterdam. – IOS Press, 2011. – P. 189–193.
- Coldewey W.G., Böcker Ch., Schuppelius J. Community initiative for reducing flood risks – a case study. Stimulus for human and societal dynamics in the prevention of catastrophes. – Amsterdam: IOS Press, 2011. – P. 29–41.
- Douglas B., Toma O. Prevention and intervention in the case of catastrophes in the Moldova area of Romania. Stimulus for human and societal dynamics in the prevention of catastrophes. – Amsterdam: IOS Press, 2011. – P. 210–218.
- Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery // Remote Sensing of Environment. – 2014. Vol. 140. – P. 23–35. – DOI: 10.1016/j.rse.2013.08.029.
- Gaprindashvili G., Gaprindashvili M., Tsereteli E. Natural disaster in Tbilisi City (Riv. Vere basin) in the year 2015 // Journal of Geosciences. 2016. – Vol. 7. – P. 1074–1087.
- iCUBE-Sertit. May 2024 flood event in Armenia // EU Recovery Observatory activation for recovery framework. – 2024. – <https://seafire.unistra.fr/d/bd2d1d90d8b944b7b088/>
- IPCC. Sixth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. – 2021.



- Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Zyelyk Y. Flood risk assessment based on geospatial data // New trends in information technologies. ITHEA. Sofia, 2010. – P. 92–101.
- McFeeters S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // International Journal of Remote Sensing. – 1996. – Vol. 17, No. 7. – P. 1425–1432. – DOI: 10.1080/01431169608948714.
- Neumann P., Bauer M., Haidn M., Keilig K., Menabde Z., Dumbadze D. Geological and geotechnical findings of the catastrophic debris flow near Tskneti, Georgia, June 2015 // Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 5th International Conference / ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili. – Tbilisi: Publishing House “Universal”, 2018. – P. 158–165.
- PDNA. Post-Disaster Needs Assessment: Armenia Floods, May 2024. – Government of Armenia, UNDP, EU, 2024.
- Refice A., D’Addabbo A., Capolongo D. Methods, techniques and sensors for precision flood monitoring through remote sensing // Flood monitoring through remote sensing / ed. by A. Refice, A. D’Addabbo, D. Capolongo. – Springer Remote Sensing/Photogrammetry. – Springer, Cham, 2018. – DOI: 10.1007/978-3-319-63959-8_1.
- Xu H. Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. – Vol. 27, No. 14. – P. 3025–3033. DOI: 10.1080/01431160600589179.