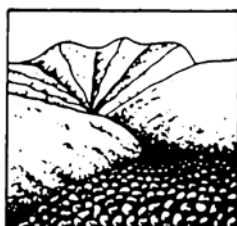


СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

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



Потепление климата и новый механизм формирования селей

Б.С. Степанов, Р.К. Яфязова

РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан, yafyazova@gmail.com

Аннотация. Потепление климата ведет к деградации оледенения, тем самым увеличивая вероятность формирования катастрофических селей дождевого генезиса. С потеплением климата увеличится продолжительность селеопасного периода, повышение положения климатической снеговой линии приведет к увеличению площади водосбора, участвующей в формировании селей дождевого генезиса. Следствием потепления климата будет выпадение дождей в высокогорной зоне, где в настоящее время осадки выпадают в виде снега, что приведет к активизации селей дождевого генезиса. Увеличится повторяемость и катастрофичность селей дождевого генезиса. В высокогорной зоне накоплены огромные запасы рыхлообломочных пород, которые могут быть вынесены селями на предгорную равнину. Существуют различные механизмы формирования селей дождевого генезиса. Исследования, проведенные в Национальной гидрометеорологической службе Казахстана, выявили иной механизм формирования селей в рывтинах в Иле Алатау. Для предотвращения формирования селей дождевого генезиса в рывтинах необходимо проводить их мелиорацию.

Ключевые слова: потепление климата, сель, сель дождевого генезиса, селевой очаг, мелиорация

Ссылка для цитирования: Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Потепление климата и новый механизм формирования селей. 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. 426–432.

Climate warming and a new mechanism for formatting debris flows

B.S. Stepanov, R.K. Yafyazova

RSE "Kazhydromet", Almaty, Kazakhstan, yafyazova@gmail.com

Annotation. Climate warming leads to degradation of glaciation, thereby increasing the probability of formation of catastrophic rain-induced debris flows. With climate warming, the duration of the debris flow-hazardous period will increase, the rise in the position of the climatic snow line will lead to an increase in the catchment area involved in the formation of rain-induced debris flows. A consequence of climate warming will be rainfall in the high-mountain zone, where precipitation currently falls in the form of snow, which will lead to the activation of rain-induced debris flows. The frequency and catastrophic nature of rain-induced debris flows will increase. Huge reserves of loose debris have accumulated in the high-mountain zone, which can be carried out by debris flows to the foothill plain. There are various mechanisms for the formation of rain-induced debris flows. Research conducted by the National Hydrometeorological Service of Kazakhstan has shown that another mechanism for the formatting debris flows in the debris flow origination sites in Ile Alatau is possible. To prevent the formation of rain-induced debris flows in debris flow origination sites, it is necessary to carry out their reclamation.

Key words: global warming, debris flow, rain-induced debris flow, debris flow origination site, reclamation

Cite of this article: Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Climate warming and a new mechanism for formatting debris flows. In: Chernomoretz 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. 426–432.



Введение

Сели дождевого генезиса на северном склоне Иле Алатау – явление ординарное. Подавляющее большинство из них, при соблюдении техники безопасности пребывания в горной местности, не представляют угрозы для жизни и здоровья человека. Ущерб, наносимый имуществу и хозяйственной деятельности такими селями небольшой. Однако один раз в несколько десятилетий в условиях климата 20 века создавались метеорологические условия, приводившие к формированию катастрофических селей дождевого генезиса. Такие сели разрушали жилые и производственные сооружения, дороги, мосты, линии электропередач и связи и т.д. не только в горных долинах, но и на конусах выноса, расположенных на предгорной равнине. Изучение механизмов формирования селей, разработка методов их прогноза и активного воздействия на характеристики селей – задача государственной важности. Катастрофические сели дождевого генезиса в Иле Алатау формируются при выпадении интенсивных продолжительных жидких осадков, охватывающих все высотные зоны селевого бассейна, особенно высокогорную зону, где имеются наиболее благоприятные условия для формирования селей высокой плотности. Такие условия создаются на фоне относительно высокой температуры воздуха. Катастрофические сели дождевого генезиса в Иле Алатау, в условиях климата 20 века, формировались в 1921, 1947, 1950, 1999, 2006 г. [Яфязова, 2007].

Краткий обзор проблемы

Анализ сценариев изменения климата в Казахстане свидетельствует о том, что к 2050 г. следует ожидать увеличения температуры приземного воздуха на 2,5–3,3 °С, осадки увеличатся на 6,9–8,1 %; к 2090 г. следует ожидать увеличения температуры приземного воздуха на 3,6–6,8 °С, осадки увеличатся на 11,2–13,8 % [8-е Национальное сообщение, 2022]. Несмотря на то, что количество осадков увеличится мало, но их интенсивность и фазовое состояние определяются температурой воздуха, необходимой для формирования катастрофических селей дождевого генезиса.

Дальнейшая деградация оледенения приведет к практически полному исчезновению ледников на северном склоне Иле Алатау к концу 21 века [Вилесов, 1997]. В высокогорной зоне большое скопление рыхлообломочных пород, многочисленные осыпи, крутые склоны, сложенные скальными грунтами и лишенные растительности, могут служить очагами зарождения селей дождевого генезиса.

Материалы и методы

Материал, положенный в основу статьи, получен авторами в полевых исследованиях с 1988 по 2023 гг. Изыскания проводились в высокогорной зоне бассейна р. Киши Алматы (р. Малая Алматинка), расположенной в центральной части северного склона Иле Алатау. Оценивались морфометрические и морфологические особенности, и метеорологические условия изучаемой территории. В ходе полевых исследований были получены данные, которые позволили прийти к важным выводам относительно процессов, происходящих в рытвинах. В качестве исходных метеорологических данных использовались данные государственной наблюдательной сети РГП «Казгидромет». В частности, данные высокогорной метеорологической станции Мынжилки, аэрологической станции Алматы.

Условия формирования селей в рытвинах

В условиях климата 20 века наивысшие отметки водосборов, участвующих в селеформировании, близки к 3600 м. На рис. 1 показана типичная картина высокогорной зоны Иле Алатау после выпадения осадков в летний период времени. Выпадение осадков в твердом виде не приводит к формированию селей дождевого генезиса.



Потепление климата на 2–3 °С приведет к повышению положения климатической снеговой линии и увеличению площади водосбора, участвующей в формировании селей дождевого генезиса. В высотной зоне 3600–4000 м в летнее время осадки будут выпадать преимущественно в виде дождей, т.е. практически вся высокогорная зона примет участие в селеобразовании, где находятся большие запасы рыхлообломочных пород, представленных частицами, размеры которых от менее 0,001 до 10 000 мм и более. Высокогорная зона Иле Алатау обладает большой энергией рельефа, благоприятствующей зарождению и развитию селевых процессов. Продолжительность селеопасного периода, а также повторяемость и катастрофичность селей дождевого генезиса увеличится [Яфязова, 2009]. Изменится механизм формирования селей дождевого генезиса.



Рис. 1. Типичная картина высокогорной зоны Иле Алатау после выпадения осадков в летний период времени в настоящее время. Фото Б.С. Степанова

К механизму формирования селей в рывинах и конусах выноса

Существуют различные механизмы формирования селей дождевого генезиса. Один из наиболее известных механизмов – дождевой сток поступает в основное русло реки. При достаточном уклоне и расходе воды происходит эрозионное углубление русла, и как следствие, формируется грязекаменный поток.

При другом механизме формирования селя, когда дождь, выпадая на легко эродируемую поверхность, образует микросели на склонах селевого очага, которые сливаясь образуют более крупные сели. Они сливаются в основном русле (рис. 2), где продолжается эрозионное углубление, увеличение плотности селевой массы и расхода селя.



Рис. 2. Очаг рассредоточенного селеобразования в бассейне р. Кокчека. Перспективное изображение с сервиса Google Earth



Исследования, проведенные в Национальной гидрометеорологической службе Казахстана, показали, что возможен и иной механизм формирования грязекаменных селей в рытвинах. Крутые склоны высокогорной зоны испещрены рытвинами. После очередного срабатывания рытвин со временем они заполняются полидисперсными рыхлообломочными породами. В начальной стадии процесса заполнения рытвины рыхлообломочными породами, небольшие водные потоки, образующиеся вследствие выпадения дождей или таяния снега, выносят мелкие фракции. Так продолжается до тех пор, пока не образуется пористый каркас (структура с множеством пор, проницаемая для воды) из относительно крупных фракций, способный пропускать «бытовой» расход воды. В зависимости от размеров рытвины и гранулометрического состава горных пород высота каркаса может колебаться от долей метра до нескольких метров.

При дальнейшем заполнении рытвины (выше пористого каркаса) все фракции рыхлообломочных пород сохраняются до тех пор, пока пористый каркас способен пропускать «бытовой» расход воды. При выпадении интенсивных продолжительных осадков в жидком виде в высокогорной зоне, водный поток может не помещаться в пористом каркасе, тогда он движется в напорном режиме. Это приводит к тому, что давление рыхлообломочных пород на дно рытвины уменьшается, а сдвигающая сила увеличивается. В результате вышерасположенная толща рыхлообломочных пород насыщается водой и может произойти одновременное смещение всех рыхлообломочных пород в рытвине под действием силы тяжести, так формируется селевой поток.

Рытвины заканчиваются конусами выноса (рис. 3). Если конусы выноса имеют большой уклон (20–25 градусов) и происходит их увлажнение, они могут прийти в движение. Увлажнение происходит практически также, как в рытвинах. Это подтверждается результатами проходки шурфа на конусе выноса (рис. 4).



Рис. 3. Рытвины в высокогорной зоне в бассейне р. Киши Алматы. Перспективное изображение с сервиса Google Earth. 1, 2 и 3 – рытвины, сработавшие в 2023 г.; 4 – место проходки шурфа. Снимок сделан до сентября 2023 г.

На рис. 3 показаны рытвины, сработавшие в 2023 г. Рытвина под номером 3 регулярно срабатывает один раз в 15–20 лет. Сели в этой рытвине формировались в 1988, 2006, 2023 гг. Это свидетельствует об активизации селей дождевого генезиса, вызванной увеличением температуры воздуха. В 1988 г. сели, сформировавшийся в этой рытвине, разрушил производственные помещения, расположенные на конусе выноса. В 2023 г. на фоне высокой температуры воздуха выпали интенсивные продолжительные осадки в жидком виде в высокогорной зоне. Рытвины на правом склоне долины р. Киши Алматы сработали. Сформировались сели, которые повредили тракторную дорогу на протяжении около 1 км, высота селевых отложений на протяжении 300 м достигала 2 м (рис. 5). Для этих отложений характерно незначительное содержание мелких фракций [Степанов, 2023].



Рис. 4. Пористый каркас, вскрытый шурфом в конусе выноса рывтины. Фото А.Х. Хайдарова



Рис. 5. Селевые отложения на тракторной дороге. Фото В.П. Мишенина

Для предотвращения формирования селей в рывтинах необходимо проводить их мелиорацию. В качестве превентивной меры борьбы с зарождением селей предлагается создание в рывтинах, «готовых» к селеобразованию, своеобразных «окон разгрузки» (рис. 6). Эти «окна» переводят подземный сток в поверхностный, предотвращая обводнение рыхлообломочных пород в рывтине. Поиски подземных каналов стока (пористых каркасов) могут вестись с помощью технических средств [Степанов и др., 2001; Степанов, 2014].

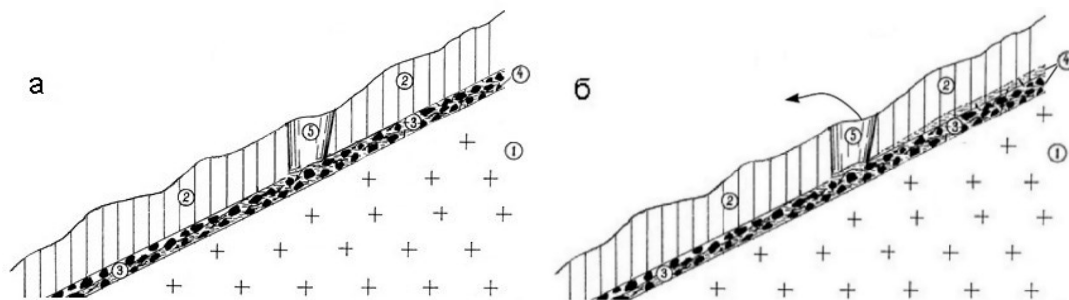


Рис. 6. Вода в подземном канале стока: а – в безнапорном режиме; б – в ограниченном напорном режиме. 1 – породы коренной основы; 2 – рыхлообломочные породы, заполняющие рытвину; 3 – пористый каркас; 4 – водный поток; 5 – шурф, вскрывающий подземный канал стока («окно разгрузки»)

Выводы

Повышение температуры воздуха на 2–3 °С приведет к увеличению повторяемости и катастрофичности селей, вызванных выпадением жидких осадков в высокогорной зоне. Для предотвращения формирования селей дождевого генезиса в рытвинах, расположенных в высокогорной зоне, необходимо проводить их мелиорацию.

Превентивные мероприятия по предотвращению селей дождевого генезиса в условиях потепления климата будут иметь особую значимость, когда защита от селей путем создания селехранилищ станет не только экономически не целесообразной, но и опасной, поскольку заполнение селехранилищ становится потенциальным очагом селеобразования [Степанов, 2006].

Исключение возможности формирования напорного движения воды в пористом каркасе рытвины, путем трансформации подземного стока в поверхностный, не активизирует селевые процессы в нижележащих селевых врезам и руслах рек [Степанов, 2014].

Одним из превентивных мероприятий с целью уменьшения ущерба, наносимого селями дождевого генезиса, является их прогнозирование. Дальнейшее усовершенствование численных методов прогноза погоды для горных территорий, установка автоматических метеорологических станций в селеопасных бассейнах вблизи очагов селеформирования во всех высотных зонах позволят повысить качество прогнозов селей дождевого генезиса, приближая (по времени) предупреждение к прогнозируемому явлению. Наложение фактических и прогнозируемых осадков в горной местности на интерактивную карту селеопасных районов в реальном времени сделает прогноз селей дождевого генезиса более точным и конкретным [Степанов, 2023].

Список литературы

- 8-е Национальное сообщение и 5-й двухгодичный доклад Республики Казахстан Рамочной Конвенции ООН об Изменении Климата. Астана, 2022, 514 с.
- Вилесов Е.Н. Эволюция внутриконтинентальной ледниковой системы в XX веке (на примере северного склона Заилийского Алатау): Автореф. на соиск. уч. степ. доктора геогр. наук. – Алматы, 1997, 47 с.
- Степанов Б.С. Вклад Национальной гидрометеорологической службы Республики Казахстан в селевую безопасность страны // Гидрометеорология и экология, 2023, 4: 113–123. doi: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-113-123.
- Степанов Б.С., Хайдаров А.Х., Яфязова Р.К. Механизмы, приводящие к формированию селей дождевого генезиса в высокогорной зоне Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология, 2001, 1–2: 74–81.
- Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Концепция защиты от селей г. Алматы в условиях изменяющегося климата // Гидрометеорология и экология, 2006, 1: 67–79.



- Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Сверхкраткосрочный прогноз дождевых селей и формирование селей в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы 21 июля 2023 года // Гидрометеорология и экология, 2023, 4: 16–24. doi: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-16-24.
- Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана. Том 3. Селевые процессы и селетехнические сооружения. Алматы: Изд-во Института географии, 2014, 434 с.
- Яфязова Р.К. Оценка селевой активности и прогнозирование ее изменения в условиях глобального потепления климата: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. доктора техн. наук. Алматы, 2009, 36 с.
- Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. Алматы: Изд-во ТОО «Полиграфкомбинат» корпорации Атамұра, 2007, 158 с.