

# **DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection**

---

Proceedings  
of the 7<sup>th</sup> 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

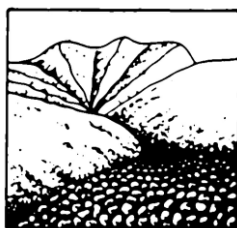
# 泥石流： 灾害、风险、预测、防治

---

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



## Селевые паводки северного склона хребта Хамар-Дабан в 2019 году

А.А. Рыбченко, А.В. Кадетова, А.А. Юрьев

*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, rybchenk@crust.irk.ru*

**Аннотация.** Склоны хребта Хамар-Дабан известны своей селеактивностью, этот район по праву считается одним из самых селеопасных районов южного Прибайкалья. Опасность активизации селевых процессов наиболее актуальна в пределах населенных пунктов и объектов промышленной и дорожной отраслей, которые расположены в предгорной зоне. Последний раз катастрофические селевые потоки в этом районе сходили с гор в июле 1971 г. В 2019 г., в последнюю декаду июля, на склонах хребта Хамар-Дабан была зафиксирована селевая активность, вызванная выпадением экстремального количества атмосферных осадков. Обильные атмосферные осадки стали причиной формирования селевых паводков (с плотностью потока около  $1100 \text{ кг/м}^3$ ). Сход селевых паводков привел к трансформации русел горных рек, к изменению их положения, аккумуляции в предгорной части селевого материала. Однако по масштабам проявления селевых процессов и их последствий событие 2019 г. существенно уступает событию 1971 г. По мнению авторов, причина этого в преобладающем механизме питания селевых потоков твердой составляющей в каждом событии. В 1971 г. в питании твердой фазы селевых потоков преобладал оползневой механизм, а в 2019 г. участков с оползневым механизмом питания было немного, основное питание твердой фазой осуществлялось за счет эрозионного механизма.

**Ключевые слова:** экстремальные осадки, селевые паводки, хребет Хамар-Дабан, селевая опасность

**Ссылка для цитирования:** Рыбченко А.А., Кадетова А.В., Юрьев А.А. Селевые паводки северного склона хребта Хамар-Дабан в 2019 году. 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. 591–595.

## Mountain debris flows on the northern slope of the Khamar-Daban Range in 2019

A.A. Rybchenko, A.V. Kadetova, A.A. Yuryev

*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia, rybchenk@crust.irk.ru*

**Abstract.** The slopes of the Khamar-Daban Range are known for their debris flow activity; this area is rightfully considered one of the most debris flow-prone areas of the southern Baikal region. The hazard of increased debris flows is most acute in areas of settlements and industrial and road facilities located within the foothill zone. The last catastrophic debris flows in this area occurred in July 1971. At the end of July 2019, debris flow activity was recorded on the slopes of the Khamar-Daban Range, caused by extreme amounts of precipitation. Heavy precipitation caused the formation of mountain debris flow (the flow density reached about  $1100 \text{ kg/m}^3$ ). Debris flows have led to the transformation of mountain river beds, to a change in their position, and to the accumulation of debris flow material in the foothills. However, in terms of scale and consequences, the debris flows of 2019 are significantly inferior to the event of 1971. According to the authors, the reason for this is the predominant mechanism of feeding debris flows of the solid component in each event. In 1971, the landslide mechanism predominated in the feeding of the solid phase of debris flows, and in 2019 there were few areas with a landslide feeding



mechanism; the main feeding of the solid phase was carried out due to the erosion mechanism.

**Key words:** *extreme precipitation, debris flows, Khamar-Daban ridge, debris flow hazard*

**Cite this article:** Rybchenko A.A., Kadetova A.V., Yuryev A.A. Mountain debris flows on the northern slope of the Khamar-Daban Range in 2019. 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. 591–595.

## Введение

Селевые потоки являются одними из наиболее опасных экзогенных геологических процессов. Причина высокой опасности селевого процесса – высокая плотность и скорость движения селевых масс, что обеспечивает большую разрушительную силу селевого потока. Селевые процессы распространены во многих горных районах мира. Наибольшее распространение, около 70%, имеют сели дождевого генезиса [Dowling, Santi, 2014].

Одним из селеопасных районов Российской Федерации является Южное Прибайкалье. В Иркутской области самым селеопасным районом являются бассейны горных рек хребта Хамар-Дабан. Селевая активность в этом районе фиксировалась в: 1849, 1863, 1890, 1903, 1905, 1910, 1915, 1919, 1925, 1927, 1932, 1934, 1935, 1938, 1940, 1942, 1945, 1947, 1952, 1956, 1959, 1960, 1962, 1965, 1971, 1973 гг. [Агафонов, Макаров, 1996], последний раз крупные (катастрофические) селевые потоки в этом районе были зафиксированы в 1971 г. Повторяемость схода селевых потоков в районе Хамар-Дабана у разных исследователей отличается. Так, по данным Б.П. Агафонова и С.А. Макарова повторяемость схода приходится на 17–20 лет [Агафонов, Макаров, 1996], совпадая с солнечными циклами. По данным В.К. Лапердина, повторяемость селевых потоков составляет 12–40 лет [Лапердин, Качура, 2010]. По данным В.П. Солоненко, в районе г. Слюдянка повторяемость схода селевых потоков составляет 7–8 лет [Солоненко, 1960].

## Условия развития селевых процессов хребет Хамар-Дабан

Анализ природных факторов, определяющих активизацию селевых процессов в Южном Прибайкалье, позволяет выделить следующие факторы селеформирования:

- высокая раздробленность коренных пород и их физико-механические и физико-химические свойства по отношению к агентам выветривания;
- наличие большого количества рыхлообломочных отложений, скопившихся в виде больших и малых очагов, имеющих различный гранулометрический состав от крупно- до мелкообломочного материала;
- значительная крутизна тальвегов;
- высокая сейсмоструктурная активность региона;
- особенность тепло- и влагообеспеченности территории, определяющая неравномерный характер выпадения и распределения осадков и температурного режима по годам и сезонам года.

Горная часть территории сложена магматическими и метаморфическими породами докембрийского возраста, кайнозойскими базальтами, приуроченными к водораздельной части хребта Хамар-Дабан. Они представлены гранитоидами, гнейсами, сланцами, мраморами, песчаниками, имеющими различные физико-химические и физико-механические свойства, которые определяют различную устойчивость пород к агентам выветривания и их гранулометрический состав.

Выходы гранитоидов встречаются в виде останцев на водоразделах или в виде отдельных даек, выступающих на склонах и в днищах долин водотоков. По физико-



механическим свойствам граниты относятся к прочным и устойчивым к выветриванию породам (250–50 МПа), но при водонасыщении они теряют прочность на 10–25 %. В местах тектонических нарушений граниты разрушены до щебня, дресвы, песка и тектонической глинки, например, имеющих место в долине правого нижнего притока ручья Сухого. Скорость выветривания (денудации) гранитоидной группы пород по данным многолетних (более 35 лет) наблюдений находится в пределах 0,020–0,008 мм/год. Комплекс метаморфических пород с учетом свойств по отношению к агентам выветривания разделен на две группы. В общем прочность метаморфических пород в естественном состоянии варьируется в пределах 100–300 МПа, они устойчивы по отношению к агентам выветривания и имеют скорость денудации от 0,1034 до 0,0090 мм/год. В первую группу объединены породы слюдянской серии, которые в основном представлены мраморами чистого состава, иногда с включениями линз и прослоев кварцитов, скарноидов и гнейсов. При выветривании мраморов большую роль играет карстовая денудация, которая создает в них различные полости, ниши и т.п. Выветриваясь, породы распадаются или на очень мелкие фракции – дресву, щебень, или на крупные глыбы. Об этом свидетельствуют развалы глыб на склонах и валунов на конусах выноса, величина которых составляет 2,5–3,0 м. Во вторую группу включены биотитово-гранатовые гнейсы и пироксено-амфиболитовые сланцы, которые за счет рассланцованности и высокой тектонической трещиноватости поддаются интенсивному выветриванию и распадаются на различные по величине фракции с постепенным переходом от крупных глыб до щебня и дресвы.

Четвертичные рыхлые образования развиваются на фоне дезинтеграции разнообразных комплексов коренных пород. Рыхлые грунты имеют широкий спектр геолого-генетических и возрастных групп, отличающихся механическим составом и инженерно-реологическими свойствами (сыпучими, плавунными и т.д.), и представлены аллювиальными, озерными, ледниковыми, флювиогляциальными и элювиальными отложениями (галечниками с редкими валунами, с прослоями песков, глин темно-серых или песками разнозернистыми с редкой галькой и валунами). Например, озерные слагают разновысокие (52–60, 72–82 и более 100 м) террасы оз. Байкал, а мощность толщи, установленная по естественным обнажениям, составляет 80–120 м. Мощность рыхлых отложений на склонах долин находится в пределах 0,1–10 м, они неоднородны по гранулометрическому составу. Их физико-механические характеристики имеют признаки тиксотропности. По этим свойствам породы песчаного и дресвяно-песчаного состава можно отнести к плавунам первого типа, способным переходить в разжиженное состояние при воздействии фильтрационного потока, а суглинки и супеси относятся к плавунам второго типа с тиксотропно-дилатантными свойствами, т.е. они способны переходить в плавунное состояние даже при сейсмических воздействиях. У этих пород наблюдается уменьшение угла естественного откоса под водой (на 7–10°). В основной массе, в условиях превосходства денудации над осадконакоплением, преобладает грубообломочный материал (глыбы, щебень, дресва) – на склонах и полуокатанные глыбы, песок с незначительным содержанием пылеватых и глинистых фракций – в пределах конусов выноса.

Геоморфологические особенности южного побережья оз. Байкал способствуют формированию селей, благодаря тому что северный склон хребта Хамар-Дабан дробно расчленен эрозионной сетью, где в среднем на 3 км длины берега приходится одна речка и два суходола, выработанные преимущественно по сеймотектоническим нарушениям. Относительное превышение устьев рек над истоками достигает 1970 м, что при малой длине рек обуславливает большие уклоны тальвегов, поэтому большинство рек и даже суходолов с площадью бассейнов до 50 км<sup>2</sup> являются селеопасными.

Сеймотектоника является неотрывной частью современной геодинамики всей Байкальской рифтовой зоны, включая и Южное Прибайкалье. В поднятиях хребта Хамар-Дабан сосредоточены многочисленные сейсмогенные разрывы, связанные с землетрясениями недавнего прошлого в 10 и 11 баллов [Хромовских, 1963; Солоненко, 1964]. Южное Прибайкалье относится к наиболее сейсмоактивным районам Байкальской рифтовой зоны. За период с начала освоения данной территории в XVII в. и до наших



дней здесь зарегистрировано более 600 землетрясений. Высокая сейсмическая активность стимулирует развитие селеформирующих процессов. Устойчивость рыхлообломочного материала на склонах при различной величине сотрясаемости зависит не только от силы землетрясений, но и от крутизны, высоты, экспозиции, расчлененности склонов и мощности рыхлых грунтов, их увлажненности, сыпучести, вязкости и криогенных особенностей. Преобладание кристаллических пород и глубокое сезонное промерзание создают благоприятные условия для слабого затухания сейсмических волн на протяжении 7–8 месяцев в году. При оттаивании льда, связующего раздробленные коренные породы и рыхлые отложения, сейсмическая устойчивость на склонах заметно снижается. В связи с этим роль сезонного аспекта землетрясений существенно влияет на интенсивность селеформирующих процессов и зависит от времени года. Например, движение дисперсных образований при увлажнении дождевыми или талыми водами может произойти при землетрясениях интенсивностью 4–5 баллов – особенно в период максимального оттаивания грунтов, что приводит к формированию оползней-сплывов и, как следствие, трансформированию их в сели.

Поскольку по генетической классификации зафиксированные селевые потоки хребта Хамар-Дабан относятся к дождевому типу селевых потоков, то климатическому фактору отводится ведущая роль в формировании селей и паводков в Южном Прибайкалье. Особенности тепло- и влагообеспеченности региона характеризуются неравномерным распределением и выпадением атмосферных осадков (70% осадков приходится на теплый период), вероятность выпадения селеформирующих осадков с суточным количеством 100 мм в среднем составляет один раз в 15 лет, 200 мм и более – один раз в 50 лет.

### Селевой паводок 2019 года

В июле 2019 г. с северного склона хребта Хамар-Дабан активизировались селевые процессы. В предгорной зоне с наиболее развитой инфраструктурой селевые процессы прошли в виде селевых паводков. Причиной активизации стало выпадение аномального количества жидких атмосферных осадков, в период с 25 по 29 июля общая сумма осадков составила 449 мм, максимальное суточное значение зарегистрировано 28 июля и составило 209 мм (по данным метеостанции «Хамар-Дабан»). Для этого района выпадения жидких атмосферных осадков является основной причиной формирования селевых потоков.

После схода паводка было проведено полевое обследование в юго-западной части оз. Байкал в селеопасных бассейнах рек, в районе г. Байкальск – Большая Осиновка, Солзан, Харлахта и Бабха. В результате выпадения аномального количества осадков поднялся уровень воды в реках Солзан, Утулик, Снежная, Слюдянка. Максимально зафиксированные значения на гидропостах составили: Солзан-Байкальск – 417 см, при критическом значении 400 см, Утулик-Утулик – 349 см при критическом значении 450 см, Снежная-Выдрино – 378 см при критическом значении 390 см, Слюдянка-Слюдянка – 398 см при критическом значении 290 см.

На момент обследования уровень существенно снизился, позволив увидеть последствия высокого паводка.

Обследование бассейнов рек Большая Осиновка, Солзан, Харлахта и Бабха показало широкое развитие процессов в пределах русел этих рек. Зафиксированы процессы преобразования русел в результате боковой и донной эрозии – перераспределение русловых отложений, размыв берегов (рис. 1) после прохождения селевого паводка, который занимает промежуточное положение между типичным селевым (грязе- и водокаменным) потоком и паводком. От типичных селевых потоков он отличается слабой насыщенностью обломочным материалом, плотностью менее 1100 кг/м<sup>3</sup>. В процессе прохождения селевого паводка вовлечение твердой составляющей в водный поток происходило за счет эрозионного размыва донных и береговых отложений. Перемещения твердой фазы осуществлялось как за счет взвешенных наносов мелкой фракции, так и за счет влекаемых наносов – крупной





фракции, перемещение которых осуществляется в придонном слое путем волочения и перекачивания, что сопровождается характерным звуком при соударении крупных валунов и глыб, зафиксированное при наземном обследовании р. Большая Осиновка.



Рис. 1. Изменение русла р. Большая Осиновка: а – до прохождения паводка; б – после прохождения паводка (31.07.2019)

Были зафиксированы проявления экзогенных геологических процессов гравитационного генезиса – оползни-сплывы, обвалы, но их проявления были единичными и незначительными по объему перемещенной горной породы. В пределах русел рек были зафиксированы аккумулятивные формы селевых потоков – селевые валы, террасы.

### Выводы

Аномальное количество жидких атмосферных осадков в июле 2019 г. привело к активизации селевых процессов на горных реках северного склона хребта Хамар-Дабан. Наибольшая активизация селевых процессов, закономерно, зафиксирована в горной части района. В предгорной, наиболее освоенной части селевые процессы проявились в виде селевых паводков. Анализируя катастрофические селевые процессы 1971 г. и селевую активность 2019 г., следует предположить, что в 1971 г. за счет оползневой механизма питания [Лапердин и др., 1971] происходило формирование селевых потоков с более высокой плотностью, чем в 2019 г., при котором выявлено преобладание эрозионного механизма питания селевых потоков твердой составляющей.

### Список литературы

- Dowling C. A., Santi P. M. Debris flows and their toll on human life: a global analysis of debris-flow fatalities from 1950 to 2011 // *Natural hazards*. – 2014. – Т. 71. – №. 1. – С. 203-227
- Агафонов Б.П., Макаров С.А. Ареалы селевых потоков в Прибайкалье // *Геоэкология*. – 1996. – № 2. – С. 65–71.
- Лапердин В.К., Качура Р.А. Геодинамика опасных процессов в зонах природно-техногенных комплексов Восточной Сибири. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2010. – 312 с.
- Солоненко В.П. Очерки по инженерной геологии Восточной Сибири. – Иркутск, 1960. – 88 с.
- Солоненко В.П. Сейсмичность Южного Прибайкалья и опыт сейсмического микрорайонирования конуса выноса на озере Байкал // *Труды Института земной коры*, 1964. Вып. 18, С. 169-203.
- Хромовских В.С. Сейсмогенные структуры Южного Прибайкалья // *Геология и геофизика*. – 1963. – № 8. – С. 68–81.
- Лапердин В.К., Демьянович Н.И., Тржцинский Ю.Б. Катастрофические паводки 1971 г. и склоновые процессы // *Инфор. сб. ИЗК СО АН СССР*. – Иркутск, 1971. – С. 19–23.