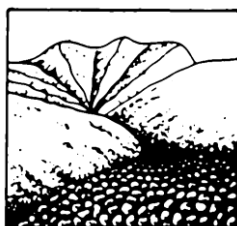


DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 5th International Conference

Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018



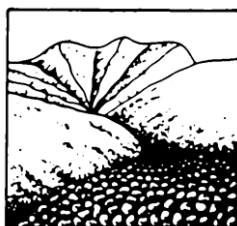
Editors
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Publishing House “Universal”
Tbilisi 2018

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
5-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г.



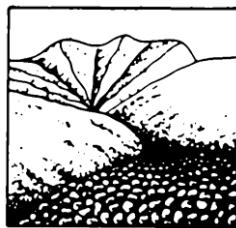
Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили

Издательство Универсал
Тбилиси 2018

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა

მე-5 საერთაშორისო კონფერენციის
მასალები

თბილისი, საქართველო, 1–5 ოქტომბერი, 2018



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

გამომცემლობა "უნივერსალი"
თბილისი 2018

УДК 551.311.8
ББК 26.823

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 5-й Международной конференции. Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г. – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили. – Тбилиси: Универсал, 2018, 671 с.

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 5th International Conference. Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018. – Ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili. – Tbilisi: Publishing House “Universal”, 2018, 671 p.

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა. მე-5 საერთაშორისო კონფერენციის მასალები. თბილისი, საქართველო, 1–5 ოქტომბერი, 2018. გამომცემლობა "უნივერსალი", თბილისი 2018, 671 გვ. პასუხისმგებელი რედაქტორები ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი.

Ответственные редакторы С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили
Edited by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Верстка: С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева, Е.А. Савернюк
Page-proofs: S.S. Chernomorets, K.S. Viskhadzhieva, E.A. Savernyuk

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: Geografiz, 1951, p. 51).

ISBN 978-9941-26-283-8

© 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



Особенности формирования селей и селевая опасность Тункинских гольцов (Республика Бурятия, Россия)

А.А. Рыбченко, А.В. Кадетова, Е.А. Козырева

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

Хребет Тункинские Гольцы является восточным отрогом хребта Восточный Саян, имеет субширотное направление, его южный склон переходит в предгорную равнину. Тункинский хребет рассечен многочисленными глубокими, но короткими долинами рек и мелких ручьев, которые берут начало из ледниковых каров на высоте от 2000 м над уровнем моря. Предгорья хребта Тункинские гольцы практически не заселены, здесь расположено лишь несколько поселков. В статье будет рассмотрена селевая опасность Тункинских гольцов на примере курортного поселка Аршан, в районе которого в 1897, 1903, 1962, 1971 и 2014 гг. был зафиксирован сход селевых потоков. Природные условия хребта имеют благоприятные условия для формирования и активизации селевых потоков. Высокие показатели превышения рельефа, обеспечивают гравитационную составляющую. Наличие больших объемов рыхлообломочного материала, тектоническая раздробленность горных пород, высокие скорости выветривания горных пород обеспечивает накопление потенциального селевого материала в долинах рек и ручьев. Интенсивные и продолжительные ливни способны стать триггером для формирования селевых потоков. В настоящей статье рассмотрены природные факторы формирования селевых потоков в пределах Тункинских гольцов.

сели, селевая опасность, Тункинские гольцы

Formation conditions and hazard analysis of debris flows in the Tunka ridge, Siberia, Russia

A.A. Rybchenko, A.V. Kadetova, E.A. Kozireva

*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk,
Russia, rybchenk@crust.irk.ru, kadetova@crust.irk.ru, kozireva@crust.irk.ru*

The Tunka Ridge is the eastern boarder of the Eastern Sayan Ridge. The ridge is east–west orientated; its southern slope changes into piedmont plain. Within the study area, the ridge is cut by deep but short shallow stream valleys. Those streams originate from glacial hanging cirques on the elevation more than 200 m a.s.l. Analysis of hazards will be considered by the example of the Arshan village, where in 1897, 1903, 1962, 1971 and 2014 debris flows were observed. The natural conditions of the ridge have favorable conditions for the formation and activation of debris flows. High values of elevation provide the gravitational component. The presence of large amounts of loose material in the debris flow basins, which is due to tectonic fragmentation, high rate of rocks weathering and a thick layer of Quaternary sediments, provides the supply of potential debris flow material in the rivers and creek valleys. Intense and prolonged rainstorms can be the trigger for the formation of debris flows. The paper deals with the natural factors of debris flow formation within the study area.

debris flows, debris flow hazards, Tunka Ridge

Введение

Природные условия Тункинского хребта благоприятны для формирования селевых процессов, которые здесь наблюдались неоднократно. Предгорья Тункинского хребта – малонаселены, селевые процессы представляют опасность для немногочисленных населенных пунктов, расположенных непосредственно в его предгорьях. Анализ опасности и условий формирования селевых процессов будет рассмотрен на примере селевого события, произошедшего 28 июня 2014 года в окрестностях поселка Аршан, когда со склонов Тункинских гольцов одновременно сошло семь селевых потоков, а также произошел водокаменный поток в русле реки Кынгарга. Селевые потоки были вызваны интенсивным и продолжительным ливнем, который, по данным очевидцев, продолжался более 12 часов. В результате схода селевых потоков в июне 2014 г. один человек погиб, более 100 зданий было повреждено и 15 полностью разрушено, большие территории занесены селевым материалом, причинен ущерб инфраструктуре поселка.

Поселок Аршан, расположенный в предгорье Тункинского хребта на высоте 893 м над уровнем моря ($51^{\circ}54'31''$ с. ш. $102^{\circ}25'44''$ в. д.) (рис. 1) является водным и горноклиматическим курортом. Постоянное население поселка составляет 2700 человек, однако, за счет туристов и посетителей курорта эта цифра значительно увеличивается, особенно в летний сезон. В этот период фиксируется максимальное количество осадков [Метеорологический ежемесячник, 1972], что отражается на формировании селевых потоков и паводков. Все селевые потоки, наблюдаемые в окрестностях курорта и водокаменные потоки на реке Кынгарга, были зарегистрированы в июле и августе [Львов и Кропачев, 1909; Будз, 1968; Агафонов, 1996; Леви и др., 2002; Макаров, 2012]. В представленной работе мы планируем дать оценку селеформирующих факторов южного склона Тункинских гольцов в районе поселка Аршан.

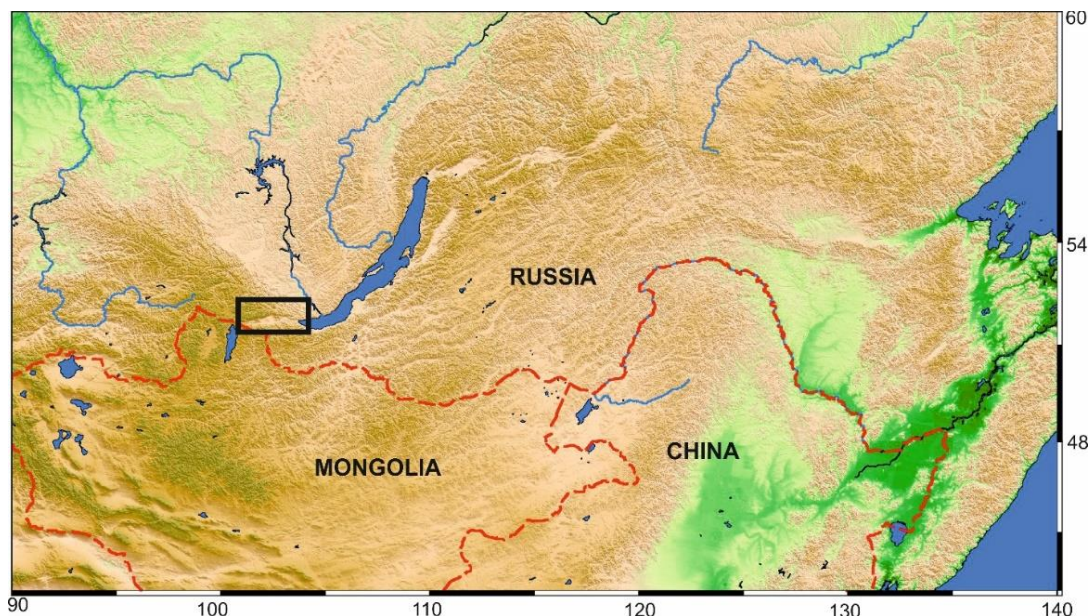


Рис. 1. Местоположение района исследования.

Условия формирования селевых потоков

К комплексу селеформирующих условий традиционно относят – геологические, геоморфологические, климатические и ботанические условия [Флейшман, 1978; Перов, 2012]. Комплекс вышеперечисленных условий определяет состав, свойства и характер селевого потока. В исследуемом районе триггером селевых потоков являются

интенсивные осадки, однако геологические условия и черты рельефа благоприятны для активизации селевых процессов.

Геоморфологические особенности территории

Хребет Тункинские Гольцы является восточным отрогом хребта Восточный Саян. Он ограничен с севера и юга соответственно Главным Саянским и Тункинским разломами. Хребет имеет субширотное направление, южный его склон переходит в предгорную равнину [Щетников, 2004]. В пределах исследуемой территории максимальная относительная высота достигает 2627 м. В пределах рассматриваемой территории хребет рассечен многочисленными глубокими V-образными долинами мелких ручьев. Данные водотоки берут начало из ледниковых каров. Долины ручьев служат транспортными зонами селевых потоков. Эти долины довольно короткие, что приводит к высоким показателям расхода и увеличивает динамические характеристики селевых потоков. Уклон продольных профилей селевых бассейнов составляет от 10° до 22.5° . Очагами зарождения селей являются места срывов рыхлого материала при переходе от каровой долины к склону, где отмечается резкое изменение угла наклона продольного профиля (рис. 2). Зоной аккумуляции крупной фракции селевых потоков является предгорная равнина, где угол уклона составляет до 10° .

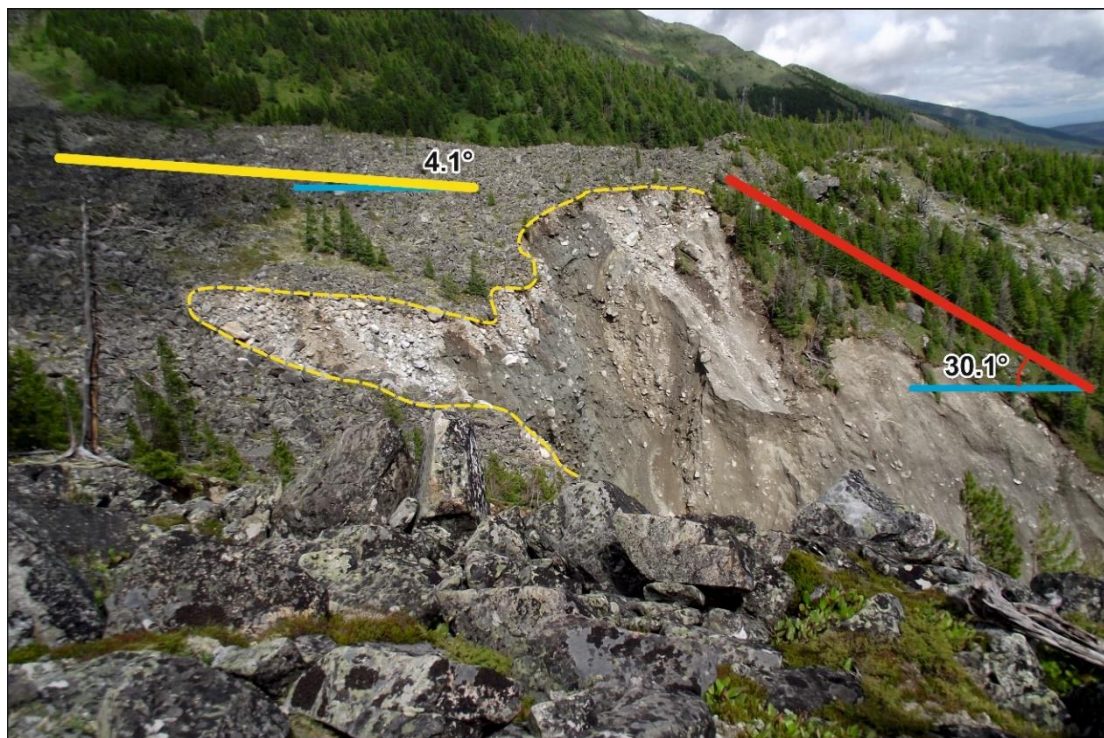


Рис. 2. Срыв рыхлых отложений в нижней части ледникового кара, послуживший началом формирования селевого потока (линия срыва обозначена желтой пунктирной линией). Фото сделано в июне 2014 года.

Морфологические условия долин способствуют активации селевых потоков. Коэффициент Мелтона, рассчитанный для данных селевых бассейнов составляет от 0,58 до 1,04, что подтверждает, что подобное сочетание превышения рельефа и площади водосборного бассейна благоприятно для активности селевых потоков. Короткие, но крутые продольные профили долин обеспечивают высокую скорость потоков.

Геологическое строение



Тункинские гольцы сложены породами архея и нижнего комплекса протерозоя с маломощными прослоями мраморов, и четвертичными отложениями различного генезиса (рис. 3) [Самбург, 1971]. Скорость выветривания коренных пород варьируется от 0,11 см/год для гранитов, для сланцев до 1,0 см/год, для мраморов 0,7 см/год и для гнейсов 0,6 см/год [Инженерная..., 1968]. Геологические условия Тункинских гольцов характеризуются наличием мощного чехла рыхлых отложений различного генезиса. В верхних частях бассейнов, при наличии ледниковых форм рельефа, залегают ледниковые отложения. Ледниковые отложения характеризуются крупноглыбовым не окатанным материалом. Ниже по склону залегают отложения пролювиального, делювиального и ледникового генезиса они представлены крупнообломочным материалом, с супесчаным заполнителем, окатанность обломков средняя. Кары Тункинских гольцов заполнены преимущественно ледниковыми отложениями, которые представляют собой крупноглыбовый материал в среднем около 1 м в диаметре (рис. 4а). Кроме того, в результате выветривания горных пород, у подножия склонов каровых долин скапливается большое количество коллювиально-пролювиальных отложений. Склоны хребта и предгорная равнина представлены делювиальными и пролювиальными четвертичными отложениями, которые представляют собой потенциальные очаги питания селевого потока твердой составляющей. Эти отложения представлены крупными глыбами (до 5 м) и галечниками с песчаным и супесчаным заполнителем. Мелкодисперсная фракция супесчаного заполнителя этих отложений (<2 мм) составляет около 70% [Kadetova и др., 2016]. Эти частицы в составе с водой образуют суспензию, что обеспечивает высокую транспортирующую способность селевому потоку [Перов, 2012; Chen et al., 2012].

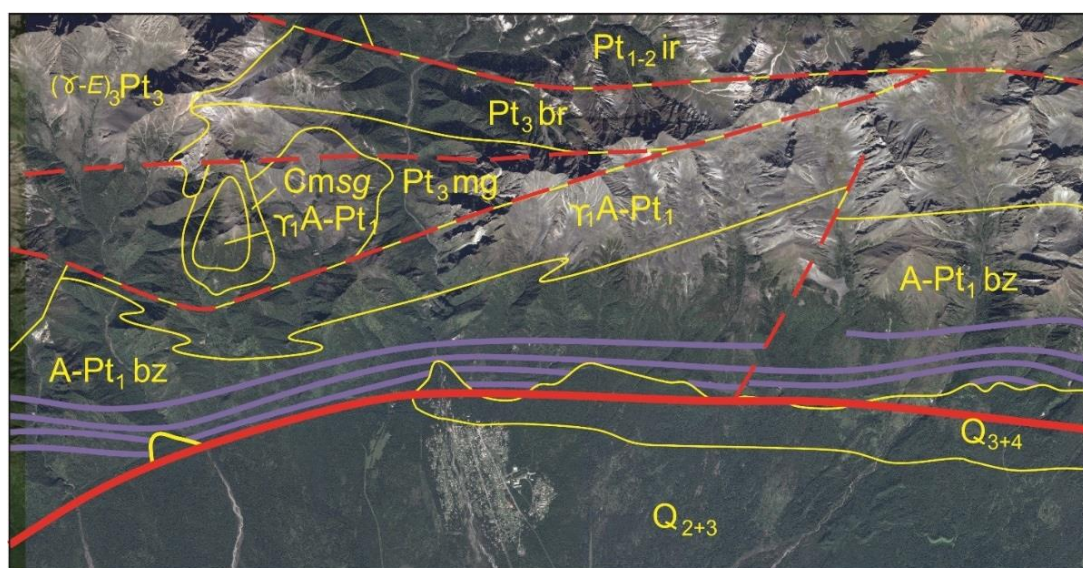


Рис. 3. Геологическая карта-схема исследуемой территории: Q3+4 – делювиально-пролювиальные отложения; Q2+3 – флювиогляциальные отложения; Gmsg – красный песчаник, конгломераты, кварц и кварц-карбонатные сланцы; Pt3mg – известняки, доломиты, прослои метаморфических сланцев, в основании конгломераты; Pt3br – метаморфические сланцы, известняки, эффузивы; Pt1lr – мраморный известняк, прослойки гнейсов, кристаллический сланцы и кварцит, в основании конгломераты; A-Pt1bz – гнейсы, плагиогнейсы, сланцы и редкие мраморные прослойки; (γ-ε)3Pt3 – микроклиновые граниты, граносиенит и сиенит, дайки гранит-аплита; γ1A-Pt1 – плагиограниты, гнейсы-граниты. Рисунок составлен на основе космоснимка Google Планета Земля. Геологическая основа: [Самбург, 1971].

В транзитной зоне обнаженные горные породы подвержены интенсивным процессам выветривания (рис. 4б). После прохождения селевого потока в долинах сформировались долины с отвесными бортами, в настоящее время в бортах активно

развиваются гравитационные процессы – осыпи, обвалы, происходит выполаживание склонов, при этом рыхлый материал поставляется непосредственно в русло.

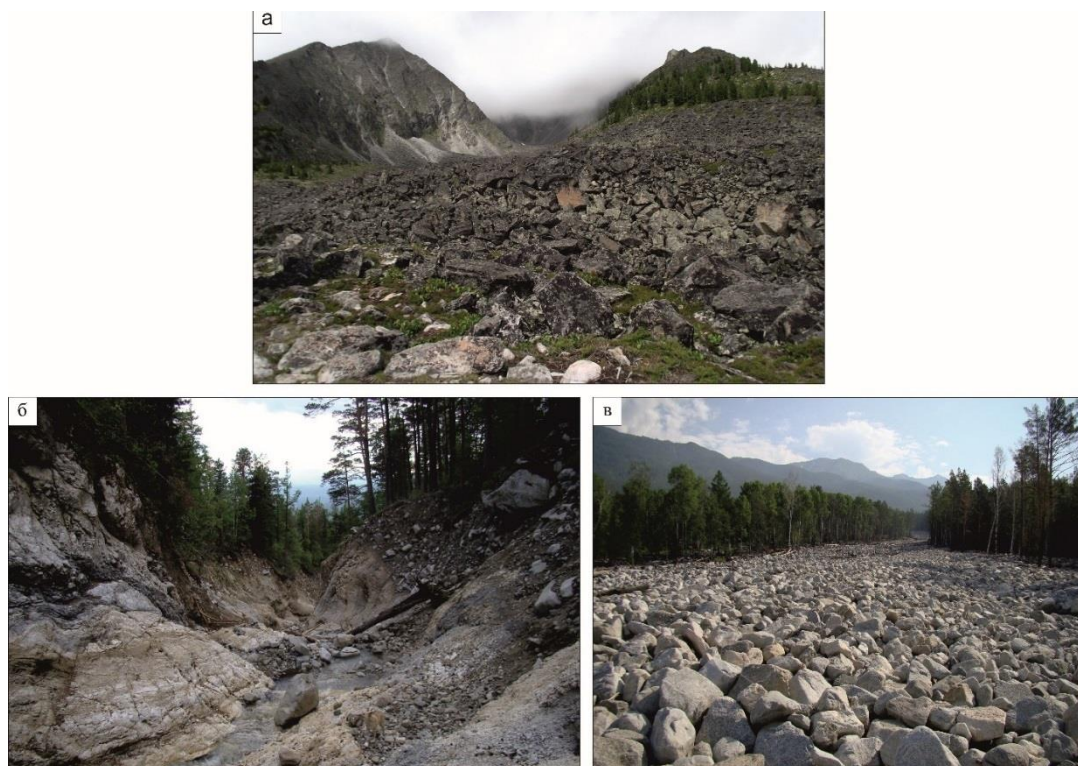


Рис. 4. Зоны селевых бассейнов: а) кар – зона зарождения селевого потока; б) транзитная зона селевого бассейна в коренных породах; в) зона аккумуляции селевого материала.

Тектонические условия Тукинских Гольцов определяются наличием двух генеральных разломов – Тункинским и Главным Саянским, а также серией региональных и локальных разломов, формирующих различные по размерам тектонические блоки. Эти условия формируют ослабленные, раздробленные зоны подверженные интенсивному выветриванию. Следует отметить, что несмотря на то, что район пос. Аршан не отличается высокой сейсмической активностью и характеризуется землетрясениями с энергетическим классом ≤ 10 [Levi et al., 2012]. Землетрясения увеличивают объем рыхлого материала, наливающегося в селевых бассейнах.

Климат и осадки

Климатические особенности района характеризуются значительными амплитудами сезонных и суточных температур воздуха и преобладанием осадков в летний период. Среднегодовая температура воздуха в поселке Аршан составляет $-1,4^{\circ}\text{C}$. По данным многолетних наблюдений среднемесячная температура января $-19,9^{\circ}\text{C}$, июля $+16^{\circ}\text{C}$. Распределение осадков в рассматриваемом районе крайне неравномерно. Наибольшее количество выпадает в горах, меньшее в низких участках Тункинской долины. В летний период количество осадков может достигать до 170 мм в сутки (метеостанция Аршан) [Метеорологический ежегодник, 1972]. Основная масса осадков (около 70% годовой нормы) выпадает в летние месяцы с июня по август. Большую часть года осадки выпадают в виде снега. Глубина снежного покрова составляет не более 30 см в предгорье и на равнине, в горах – 100–140 см. Наиболее дождливым месяцем на равнинной территории является август (60–86 мм за месяц), в горах – июль (127–142 мм за месяц). Достаточное для схода селей количество осадков, согласно данным по количеству осадков во время селевых событий в 1962 и 1971 гг. – около 90 мм в сутки,



именно при таком количестве случились вышеупомянутые события [National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); Кадетова и др., 2016]. В настоящее время действующей метеостанции в поселке Аршан нет, поэтому мы не можем судить какое количество осадков стало триггером селевых потоков в 2014 году. Однако можно уверенно сказать, что ливневый фронт имел локальный характер, поскольку на метеостанции Тунка, которая находится в 28 км южнее места событий зафиксировано за 27-28 июня 7 мм осадков [NOAA].

Кроме того, климатические условия района определяют наличие многолетней мерзлоты, характер которой в свою очередь, влияет на формирование селевых процессов в пределах Тункинских гольцов. Оттаивание грунтов начинается в апреле–мае. Особенно медленно оттаивают грунты в пониженных участках рельефа и на северных залесенных склонах. Деграция многолетнемерзлых грунтов в данном районе так же зависит от талых и дождевых вод, которые, инфильтруясь до границы промороженных слоев многолетнемерзлых пород или сезонной мерзлоты, способствуют разжижению грунтов до состояния текучести. [Познанин, 1991]. В результате на склонах происходят срывы грунтов (оползни-сплывы), а зеркалом скольжения служит верхняя граница промороженного слоя [Лапердин, Тржцинский, 1977]. Наиболее интенсивное оттаивание сезонной и многолетней мерзлоты происходит в июле–августе, когда выпадает наибольшее количество теплых атмосферных осадков. В конце июня – начале июля на большей части площади водосборов на склонах южной экспозиции мощность сезонно-талого слоя не превышает 0,7 м, на склонах северной экспозиции 0,4 м, а в гольцовой зоне 0,2 м. В летнее время воды, расположенные над многолетнемерзлым слоем, питают многочисленные источники, зона разгрузки которых находится в предгорном шлейфе, за счет атмосферных осадков и таяния льда, аккумулированного в курумах [Леицков и Шац, 1983; Солоненко, 1960; Познанин, 1991]. Очевидно, что подобное состояние оттаивания грунтов затрудняет свободное проникновение осадков на глубину и способствует скоплению талых и дождевых вод над слоем многолетнемерзлых пород на период выпадения дождей.

Ботанические условия

Ботанические условия, определяют распределение поверхностного стока и его инфильтрацию, что отражается на формировании селевых потоков. Тункинский хребет можно разделить на две зоны – таежную и гольцовую. Таежная зона характеризуется высоким процентом залесенности и высокой плотностью древостоя, что является фактором, сдерживающим развитие селевого процесса. Древесная растительность представлена в основном хвойными породами деревьев – лиственница, сосна, кедр, ниже в предгорной части встречаются лиственные деревья – березы и осины. Древесно-растительный покров частично задерживает атмосферные осадки и ослабляет деятельность поверхностных водотоков. Смягчает действие физического выветривания на горные породы. Кроме того лесная растительность уменьшает, препятствует эрозионному размыву пород, а в случае схода селевого потока служит в качестве сепарирующих противоселевых сооружений, задерживая крупную фракцию селевых отложений. Гольцовая зона начинается с высоты 1600 - 1700 метров, эта зона характеризуется отсутствием растительного покрова, наличием мощной толщи ледниковых крупнообломочных отложений. Эти участки селевых бассейнов являются зонами аккумуляции и транзита поверхностных и подземных вод к очагам зарождения селевых потоков. Только некоторые селевые бассейны – склоновые, не имеют в своем составе участка гольцовой зоны. Залесенность селевых бассейнов играет важную селезащитную роль.

Селевые потоки на рассматриваемой территории

За период, с конца 19 века по настоящее время, сели в окрестностях поселка Аршан сходили в 1897, 1903, 1962, 1971, 2014 (рис. 5) [Львов, Кропачев, 1909; Романов, 1994; Levi et al. 2002; Makarov, 2012; Makarov, 2014]. До середины 19 века территория Тункинской долины была малоисследована и малонаселена, поэтому сведений о каких-либо опасных природных процессах в горных районах долины до конца 19 века просто нет, хотя не исключено, что селевые потоки происходили здесь и раньше. Подробное научное описание есть лишь для селевых событий 1962 и 1971 года [Макаров и др. 2014]. Для исторических селей 1897 и 1903 годов есть лишь краткие описательные сведения [Львов, Кропачев, 1909].

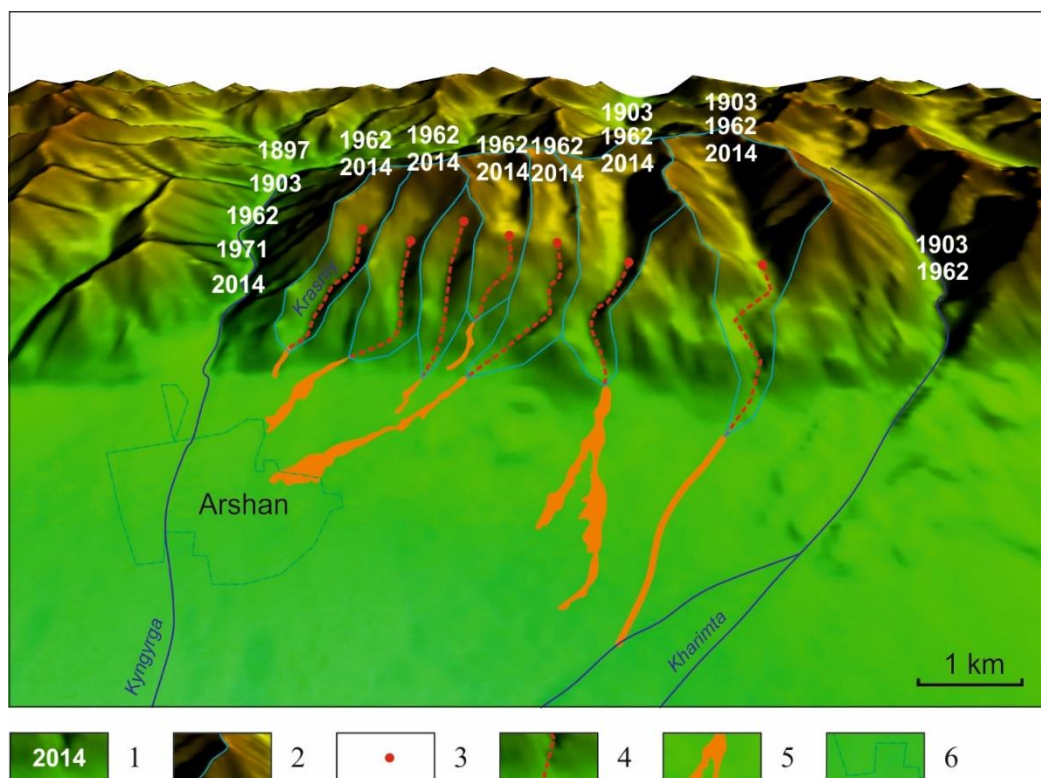


Рис. 5. Схема расположения селевых бассейнов в окрестностях поселка Аршан: 1 – годы схода селей; 2 – контуры водосборных бассейнов; 3 – места зарождения селевых потоков; 4 – транспортные зоны селевых бассейнов; 5 – конусы выноса крупной фракции селевых потоков, сошедших в июне 2014 г; 6 – территория поселка Аршан.

Согласно историческим данным, самые ранние задокументированные упоминания о селях в Тункинских гольцах относятся к 1897 году. Первые сведения о селях встречаются в Известиях Восточно-Сибирского отдела Императорского Русского Географического Общества [Львов, Кропачев, 1909]. В этом издании приводятся результаты научной экспедиции Русского географического общества в Тункинскую долину. В работе Львов и Кропачев [1909] описывают водокаменный поток на реке Кынгарга в 1897 году. Уровень реки поднимался на 4.3 м выше нормы, водным потоком несло валуны, река прорезала новое русло, водокаменным потоком были снесены мельницы, расположенные в нижнем течении реки. В этой же работе описываются селевые потоки, сошедшие с гор по падям рек Малая Харимта и Хурай-Хобок, расположенным восточнее реки Кынгарги, в августе 1903 года. Селевым материалом было занесено несколько десятков гектаров территории. Следующее, задокументированное, селевое событие произошло в ночь с 17 на 18 июля 1962 года



[Будз, 1968]. Причиной схода селевых потоков были интенсивные дожди. По данным метеостанции Аршан, которая располагалась в предгорьях Тункинского хребта, за два дня 16 и 17 июля выпало 177 мм осадков [NOAA; Метеорологический ежемесячник, 1972]. Селевые потоки, сошедшие по падям, вынесли большое количество рыхлообломочного материала, была разрушена автомобильная дорога. В 1971 году водокаменный поток случился на реке Кынгарга. Потоком разрушило берега реки, некоторые прибрежные постройки и мосты.

Последнее селевое событие случилось в окрестностях поселка Аршан в июне 2014 года, когда после интенсивного продолжительного ливня семь селевых потоков одновременно сошли по падям Тункинских гольцов, и на реке Кынгарга произошел водокаменный поток (рис. 5). Два потока из семи вплотную подошли к поселку и нанесли повреждения зданиям и объектам инфраструктуры. Формирование селевых потоков началось со срыва рыхлых отложений в карах на относительных высотах от 1640 до 1850 м. Срывы отложений в селевых бассейнах произошли во фронтальных частях моренных валов. В результате экстремального ливня в карах скопился большой объем воды. Наличие многолетнемерзлых пород препятствовало инфильтрации осадков, способствовало тем самым формированию концентрированного поверхностного водного потока, направленного к моренному валу. Критический объем воды привел к срыву толщи рыхлых отложений на участке перехода от кара к склону, где угол наклона поверхности резко изменяется от 2° в кара до 50° на склоне хребта (рис. 2). В очагах зарождения селей помимо срывов промороженных и оттаявших отложений фронтальных частей морен, в движение был вовлечен рыхлый материал боковых оползней-сплывов и обвалов в транзитной зоне.

Аккумуляция крупнообломочной фракции селевых отложений, состоящая преимущественно из валунов до 5 м в диаметре, началась на высотах от 1305 до 1000 м и прослеживается до отметок 1100-820 м. Селевые отложения имеют полидисперсный состав, фракционный размер меняется от мелкодисперсных частиц до крупных валунов. Мощность отложений крупнообломочной фракции достигает 5 м. Аккумуляция селевого материала происходила в несколько этапов, прослеживается несколько селевых волн разной временной генерации. На этот факт указывает характер селевых отложений и эрозионных форм (наличие в конусах выносов промоин, рвов, а также наличие ответвлений от основного селевого потока). Аккумулятивный материал, отложившийся с первыми волнами селевого потока, размывался следующими волнами. Общий объем вынесенного материала составил 3×10^6 м³ (рис. 4 в). Судя по следам на деревьях и строениях, максимальная высота селевого потока, в пределах конусов выноса, достигала 5 м, максимальная скорость потоков – 19,6 м/сек [Kadetova et al., 2016; Рыбченко и др., 2018].

Таким образом, вышеперечисленные факты показывают, что селевые события в рассматриваемом районе хотя и не происходят слишком часто, но обладают довольно разрушительной силой и представляют опасность.

Выводы

Хребет Тункинские гольцы – это молодые горы подверженные формированию гравитационных процессов. Условия рельефа в совокупности с наличием рыхлых отложений и климатическими особенностями этой территории, благоприятствуют развитию селей. Проанализировав факторы формирования селей в исследуемом районе, мы пришли к выводам, что триггером схода селевых потоков явились обильные атмосферные осадки. Кроме того, к особенностям условий селеформирования Тункинских гольцов относится наличие сезонной и многолетней мерзлоты. Мерзлые породы с одной стороны ограничивают поступление материала, скрепляя рыхлые породы, с другой стороны являются водоупорным горизонтом, препятствующим инфильтрации атмосферных осадков в почву и горные породы, увеличивая объем поверхностного стока. Климатические условия ограничивают селеопасный период в районе исследования, формирование селей возможно только в период выпадения



жидких осадков и устойчивой положительной температуры, со второй половины июня по сентябрь.

Список литературы

- Агафонов Б.П. (1996). Кумулятивные сели в Прибайкалье. Геоморфология, 2: 27-36.
- Будз М.Д., Астраханцев В.И. (1968). Сели. В кн.: Инженерная геология Прибайкалья. М., Наука, 108-111.
- Будз М.Д. (1968). Условия селеобразования в Прибайкалье. В кн.: Селевые потоки и горные русловые процессы. Ереван, Изд-во АН АрмССР, 291-296.
- Лапердин В.К., Тржцинский Ю.Б. (1976). Роль выветривания в формировании твердой фазы селей (на примере Восточных Саян). В кн.: Геологические факторы формирования оползней и селевых потоков и вопросы их оценки. М., Изд-во Моск. ун-та, 49-54.
- Лапердин В.К., Тржцинский Ю.Б. (1977). Экзогенные геологические процессы и сели Восточного Саяна. Отв. ред. Писарский Б.И. Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 103 с.
- Леви К.Г., Язев С.А., Задонина Н.В. (2003). Современная геодинамика и гелиогеодинамика. Иркутск, Изд-во ИрГТУ, Т.1, 383 с.
- Леви К.Г., Задонина Н.В., Бердникова Н.Е., Воронин В.И., Глызин А.В., Язев С.А., Буддо В.Ю. Современная геодинамика и гелиогеодинамика. 500-летняя хронология аномальных явлений в природе и социуме Сибири и Монголии. Иркутск, Изд-во ИрГТУ. Т. 2, 382 с.
- Лешиков Ф.Н. (1978). Мерзлые породы Приангарья и Прибайкалья. Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 139 с.
- Лешиков Ф.Н., Шац М.М. (1983). Мерзлые породы юга Средней Сибири. Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 158 с.
- Львов А., Кропачев Г. (1909). Краткий отчет о результатах исследования «Аршана», произведенного по поручению Восточно-Сибирского отдела Географического общества и Общества врачей. Известия Вост-Сиб. Отдела ИРГО, 40: 41-77.
- Макаров С.А., Черкашина А.А. (2014). Катастрофические селевые потоки в поселке Аршан Тункинском района Республики Бурятия. География и природные ресурсы, 4: 174-175.
- Макаров С.А. (2012). Сели Прибайкалья. Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 111 с.
- Метеорологический ежемесячник (1972). 22(13). Иркутск, Гидрометцентр.
- Пальшин Г.Б. (ред.) (1968). Инженерная геология Прибайкалья. Наука.
- Перов В.Ф. (2012). Селеведение. Учебное пособие. М., Геогр. ф-т МГУ, 282 с.
- Познанин В.Л. (1991). Закономерности гидротермического взаимодействия водных потоков с мерзлыми грунтами. В кн.: Денудация в криолитозоне. М., Наука, 62-73.
- Романов Н.С. (1994). Летопись города Иркутска за 1902-1924 гг. Иркутск, Вост.-Сиб. кн. изд-во, 261-266.
- Самбург А.Л. (1971). Геологическая карта СССР. М-б 1:200 000. Сер. Восточно-Саянская. Лист М-48-І. Объяснительная записка. М., 88 с.
- Солоненко В.П. (1960). Очерки по инженерной геологии Восточной Сибири. Иркутск, Иркутское книжное изд-во, 86 с.
- Флейшман С.М. (1978). Сели. Ленинград, Гидрометеиздат, 312 с.
- Щетников А.А., Уфимцев Г.Ф. (2004). Структура рельефа и новейшая тектоника Тункинского рифта (Юго-Западное Прибайкалье). М., Научный мир, 2004, 160 с.
- Kadetova A.V., Rybchenko A.A., Kozireva E.A., Pellinen V.A. (2016). Debris flows of 28 June 2014 near the Arshan village (Siberia, Republic of Buryatia, Russia). Landslides, 13(1): 129-140.
- Ni H., Zheng W., Song Z., Xu W. (2014). Catastrophic debris flows triggered by a 4 July 2013 rainfall in Shimian, SW China: formation mechanism, disaster characteristics and the lessons learned. Landslides, 11(5): 909-921.