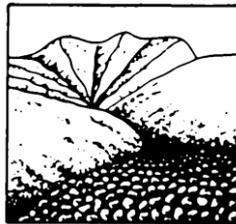


DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 5th International Conference

Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018



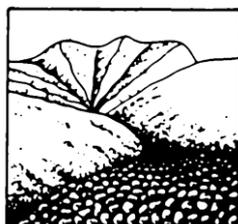
Editors
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Publishing House “Universal”
Tbilisi 2018

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
5-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г.



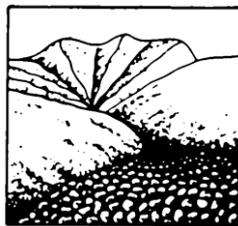
Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили

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: Geografgiz, 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



Селевые процессы в горном обрамлении Богутинской впадины, юго-восточный Алтай: анализ ландшафтно-климатических факторов и спусковых механизмов

Р.К. Непоп^{1,2}, А.Р. Агатова^{1,2}

¹Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия, rnk@igm.nsc.ru

²Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, agatr@mail.ru

Следы прохождения неоднократных селевых потоков были изучены в горном обрамлении Богутинской впадины, являющейся восточным продолжением крупнейшей на Алтае Чуйской впадины. В ходе исследований с применением геолого-геоморфологических методов, седиментологического анализа и радиоуглеродного датирования было изучено 7 разрезов позднечетвертичных отложений и получено 23 радиоуглеродных даты. Это позволило уточнить радиоуглеродную хронологию селей в районе исследований в голоцене, а также проанализировать ландшафтно-климатические факторы и преобладающие спусковые механизмы этих природных явлений.

сели, высокогорные впадины, ландшафты, палеоклимат, радиоуглеродный анализ, Алтай, голоцен

Debris flows in mountain framing of the Boguty depression, South-West Altai: analysis of the landscape climatic factors and triggers

R.K. Nepop^{1,2}, A.R. Agatova^{1,2}

¹Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia, rnk@igm.nsc.ru

²Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia, agatr@mail.ru

Evidences of repeated debris flows were studied within the mountain framing of the Boguty depression, which is the eastern periphery of the Chuya intermountain depression – the largest in the Altai. Seven sections of late Quaternary deposits were studied, and 23 radiocarbon age estimations were obtained as a part of multidisciplinary investigations, including geological, geomorphological, sedimentological analyses and radiocarbon dating. New data specify the Holocene radiocarbon chronology of debris flows in the region and clarify possible triggers, as well as landscape climatic factors that controlled these nature events.

debris flows, intermountain depressions, landscapes, paleoclimate, radiocarbon analysis, Altai, Holocene

Введение

В рамках геолого-геоморфологических исследований наиболее высокогорной и сейсмически активной юго-восточной части Русского Алтая (ЮВ Алтай) было показано,

что в пределах хребта Чихачева среди комплекса процессов, преобразующих склоны и днища освободившихся от ледников долин, проявлены и сели [Nepop, Agatova, 2017]. Изученные в ходе полевых исследований 2011-2015 гг. формы рельефа и ряд обнажений с хрономаркерами позволили реконструировать хронологию голоценовых селей в горном обрамлении Богутинской впадины – восточного ответвления крупнейшей на Алтае Чуйской межгорной впадины. В 2017 г. нами были зафиксированы следы селевого потока, прошедшего в долине безымянного правого притока р. Богуты в районе озера Нижние Богуты в начале июня 2017 г.

Результаты изучения морфологически свежих следов последнего события и ранее полученные данные дали возможность реконструировать хронологию периодов активизации склоновых процессов, провести анализ ландшафтно-климатических факторов и спусковых механизмов селей в этом высокогорном аридном районе.

Район исследований и его изученность

Небольшая (25×13 км) Богутинская впадина расположена в бассейне реки Богуты в верховьях магистральной водной артерии юго-восточного Алтая – Чуи (рис. 1). Река Богуты образуется при слиянии рек Правые и Левые Богуты, берущих начало в осевой части хребта Чихачева. Хребет протягивается в субмеридиональном направлении почти на 100 км и обрамляет Богутинскую впадину с севера и востока. В южной оконечности, в пределах бассейна р. Богуты, его западный склон имеет наибольшую протяженность, а высоты гребня увеличиваются до 3550-3700 м н.у.м.

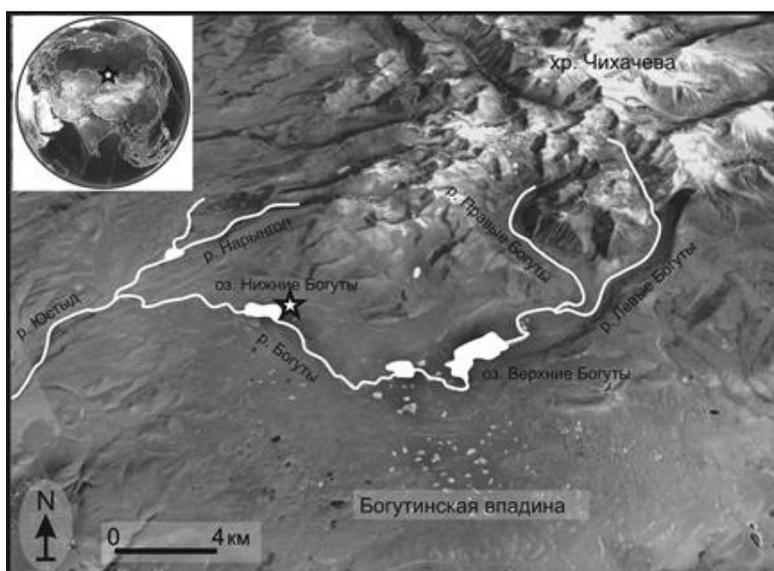


Рис. 1. Богутинская впадина. Звездочкой показано положение района исследований.

Богутинская впадина перекрыта чехлом позднеплейстоценовых моренных отложений, оканчивающихся уже в долине Юстыда на отметках 2250-2230 м н.у.м. крутым уступом высотой до 5-10 м. Моренные комплексы позднего плейстоцена – голоцена описаны П.С. Бородавко [2015]. В связи с отсутствием данных абсолютного датирования все хронологические интерпретации в этой работе сделаны на основании относительных возрастных схем [Окишев, 1982]. Современное оледенение в бассейне р. Богуты практически полностью деградировало.

Современный ультраконтинентальный холодный климат в пределах исследуемого района характеризуется высокими годовыми и суточными амплитудами температур, коротким безморозным периодом, малоснежными зимами и общим дефицитом осадков. По данным ближайшей метеостанции Уландрык (2155 м н.у.м.) за 1951-1998 гг. среднегодовая температура составляет $-4,6^{\circ}\text{C}$, годовая сумма осадков - 184 мм, 64%



осадков приходится на летние месяцы. Сухой и холодный климат определяет отсутствие древесной растительности в восточной части Чуйской впадины, в том числе и в долине р. Богуты [Атлас Алтайского края, 1978]. Ближайшие отдельные островки лиственничников встречаются ниже по течению, на левобережье р. Юстыд, на высотах до 2400 м н.у.м. В то же время яркой характеристикой современного климатического тренда является деградация многолетней мерзлоты, что способствует активизации опасных склоновых процессов, в том числе селей.

Горный ландшафт с высокой степенью расчлененности рельефа определяет интенсивную динамику процессов морфолитогенеза исследуемой территории. Фазы интенсивного осадконакопления чередуются здесь с периодами замедления эрозионно-аккумулятивных процессов, что создает условия для развития почв. Возможность использования этого природного архива для ландшафтно-климатических реконструкций в Богутинской впадине показаны в работах [Бутвиловский, 1993, Бронникова и др., 2018], для датирования палеоселей – в [Nepor, Agatova, 2017].

Период повторяемости сильных землетрясений, которые наряду с климатическими факторами могут служить триггером селей, для Курайско-Чуйской сейсмоактивной зоны юго-восточного Алтая составил около 800 лет в голоцене и около 400 лет за последние 4000 лет [Agatova, Nepor, 2016].

Район исследований входит в Алтайскую селевую область, которая является частью Южно-Сибирского региона теплой зоны селевой деятельности [Перов, 2012]. Согласно [Атлас природных..., 2009], в пределах Алтая преобладают районы с потенциальной (79,0%) и низкой (19,8%) селевой опасностью, при этом повторяемость селевых явлений в ЮВ Алтае составляет 1 случай в 15-30 лет. Однако в основе этих оценок лежат данные, полученные во второй половине прошлого века. В результате последних исследований [Бородавко, 2015] в юго-восточном Алтае было выявлено около 250 селевых бассейнов, общая площадь которых составляет почти 35% его территории. Площадь водосбора большинства селей находится в пределах 0,1-4 км², длина большинства селевых рытвин не превышает 2 км. До 50% селевых очагов располагается на склонах южной, юго-западной и юго-восточной экспозиций и около 14% приурочено к склонам северо-восточной и северо-западной экспозиций. Подавляющее большинство селевых очагов находится на высотах от 2000 до 3000 м н.у.м., с максимумом в высотной зоне 2500–2700 м. Однако высокогорная территория, рассмотренная в [Бородавко, 2015], изучена неравномерно: современные селевые процессы восточной, сопредельной с Монголией, части Алтая в настоящее время практически не исследованы, а периодичность активизаций селевого процесса в голоцене не анализировалась вообще. До сих пор для этой территории не проводился анализ ландшафтно-климатических условий формирования селей и механизмов их возникновения. Решение этих вопросов является основной целью данной работы.

Результаты

Результаты геоморфологических исследований

В горном обрамлении Богутинской впадины в районе озера Нижние Богуты (рис. 2) сложились благоприятные условия для возникновения селей. Ступенчатая морфология склона хребта Чихачева в районе исследований свидетельствует о разломно-блоковых деформациях доорогенной поверхности выравнивания, реликты которой к настоящему времени интенсивно переработаны процессами оледенения и подвергаются криогенному выветриванию. Ряд ступеней, по всей видимости, представляет собой результат ледниковой планации. Днище долины практически на всем ее протяжении выполнено моренными отложениями. Зона разлома, отделяющего нижнюю ступень хребта, также проработана ледниковыми процессами, что привело к формированию на поверхности этой ступени короткой и неглубокой долины-трога, субпараллельной



долине р. Богуты. В этом месте происходит аккумуляция атмосферных осадков и талых вод с ближайшей куполовидной вершины, что приводит к деградации мерзлоты и формированию здесь верхового болота, обеспечивая избыток влаги в средней части короткой тектогенной долины правого безымянного притока, впадающего в озеро Нижние Богуты.



Рис. 2. Долина безымянного правого притока р. Богуты вблизи озера Нижние Богуты. Цифрами показано положение изученных разрезов. I - боковой и II - основной конусы выноса. Пунктирная линия - уровень палеоозера 2400 м н.у.м.

В пределах долины этого притока на протяжении всего голоцена неоднократно проходили мощные селевые выносы размываемых моренных отложений. Моренный чехол в районе озера Нижние Богуты практически полностью перекрывает склон долины р. Богуты юго-западной экспозиции и подвержен солифлюкции. Четкообразные расширения долины притока, возникшие за счет пересечения ею оползневых валов и межваловых понижений, выполнены отложениями локальных озер и болот, делювием, древними селевыми отложениями, перекрывающими горизонты палеопочв с древесными углями. Днище долины прорезано смещенным к левому склону более поздним селевым лотком длиной около 750 м. Высота основного селевого конуса составляет около 350 м, ширина достигает 300 м. На высоте 2445 м н.у.м. от селевого лотка отходит левый боковой врез длиной 180 м, оканчивающийся меньшим по размерам селевым конусом.

Нижняя часть основного пролювиально-селевого конуса приурочена к высоте 2400 м н.у.м. – верхнему палеоуровню озера Нижние Богуты, хорошо сохранившемуся в рельефе. Снижение уровня моренно-подпрудного озера до отметки около 2394 м н.у.м., а затем до современного уровня – около 2387 м н.у.м. определяло изменение локального базиса эрозии.

В ходе полевых работ в июле 2017 г., месяц спустя после схода селевого потока, на поверхности тектогенной ступени было зафиксировано значительное увлажнение грунта, вызванное таянием снежного покрова и деградацией мерзлоты. О недавней высокой обводненности пологосклонной на этом участке долины и прохождении



водного потока далеко за пределами русла свидетельствовали примятый на большой площади по направлению уклона долины травяной покров, многочисленные вырванные с корнем кусты курильского чая (*Pentaphylloides fruticosa*) и перекрывающие траву наносы песка и глины. Расход временного водотока, резко возросший вследствие таяния снежного покрова и деградации мерзлоты, был одновременно увеличен за счет осушения периодически формирующегося в верхней части долины локального озера. Высокий уровень наполнения в тот момент имели и два небольших озера, расположенные цепочкой вдоль левого склона долины притока. Озера заполняют термопросадки и сосредоточены вблизи резкого перегиба дна долины в месте выхода притока на склон долины Богуты. В июне 2017 г. произошел перелив воды через обрамляющие нижнее озеро валы грунта. Ниже по долине вдоль ее левого склона ополз переувлажненный грунт, образовалась новая просадка около 4-5 м длиной, заполненная водой ко времени нашего осмотра, и ряд промоин с конусами вынесенного из них обломочного материала.

Ниже резкого перегиба – бровки тектогенного уступа – склон высотой до 150 м и протяженностью около 2 км имеет уклон до 16° (против 2° выше по течению). Резкое ускорение водного потока ниже перегиба и наличие рыхлого обломочного материала (оползающих по склону моренных отложений) приводит к возникновению селей. Врез, образованный в результате многочисленных голоценовых селей, был подновлен в июне 2017 г. В верхней части он имеет характерный V-образный поперечный профиль, сменяясь в средней и нижней частях долины на ящикообразный. На отдельных участках V-образного вреза поток углубил старый селевой лоток до 2-3 м, а в пределах уплощенного днища, отражаясь от крутых склонов, прорезал новый. Как и в случае с предыдущими голоценовыми событиями, последний сель представлял собой водокаменный поток с вовлеченным в него каменным моренным материалом и с незначительным количеством ила и песка. Отдельные, уже ослабленные, потоки, насыщенные щебнем, дресвой, галькой, гравием и песком, достигли днища долины Богуты и привели к появлению новых и углублению старых оврагов.

Анализ возможных спусковых механизмов

Как отмечалось выше, район исследований характеризуется аридным климатом с преобладанием летних осадков, часто выпадающих в виде снега. Одним из факторов увлажнения грунтов является аккумуляция атмосферных осадков и талых снеговых вод на поверхности нижней ступени хребта. Избыток влаги ускоряет деградацию мерзлоты, приводит к формированию верхового болота и, по всей видимости, служит одной из причин площадного оползания рыхлых отложений ниже по склону. Как показал сход селя в июне 2017 г. быстрое таяние снега, усиленное одномоментным поступлением воды из небольших озер или верховых болот, может выступить в качестве триггера такого события.

Приуроченность рассматриваемой долины-притока к зоне сочленения разломов разного ранга позволяет говорить о сейсмическом процессе как об еще одном возможном триггере селей в горном обрамлении Богутинской впадины. Период повторяемости сильных землетрясений для Курайско-Чуйской сейсмоактивной зоны в голоцене составляет 400-800 лет [Agatova, Nepor, 2016].

Таким образом, голоценовые сели в Богутинской впадине могут иметь комплексное сейсмогенно-климатическое происхождение.

Хронология голоценовых селей и эволюция ландшафта района исследований

Для геохронологической привязки периодов активизации склоновых процессов и реконструкции ландшафтно-климатических изменений в долине р. Богуты было изучено 7 разрезов и получено 23 радиоуглеродных даты в интервале от 14000 до 300 кал. л.н.

Радиоуглеродная дата наиболее древнего торфа, сохранившегося в уступе селевой террасы, свидетельствует о том, что к 14000 л. н. рассматриваемая долина-приток уже



сформировалась, но была неглубокой и заболоченной. Ледники в восточном обрамлении Чуйской впадины к этому времени если и существовали, то на исследуемом склоне хр. Чихачева располагались выше 2500 м н.у.м. Остатки древесной и кустарниковой растительности в торфе свидетельствуют о более теплом и влажном климате по сравнению с современным.

Около 11000 л. н. наблюдается стабилизация склоновых процессов, и длительный период почвообразования (до 8000 л.н.) на высоте 2472 м н.у.м. Ранее вывод о формировании почв и развитии лесной растительности 9000-8000 л. н. в долине Богуты на основании серии из четырех радиоуглеродных дат древесного угля сделал *В.В. Бутвиловский* [1993].

Между 8000-7000 л. н. реконструируется прохождение селевого потока с выносом валунно-глыбового материала. К этому времени уровень озера Нижние Богуты уже находился на отметке, близкой к современной (около 2387 м н.у.м.), о чем свидетельствует дата нижнего слоя торфяных отложений, сформировавшихся на озерных суглинках, вскрытых в береговом обнажении озера. Соответственно, селевый конус формируется уже на осушенной части днища долины р. Богуты.

К 3500 л. н. на высоте 2500 м н.у.м. на днище долины притока поверх переотложенных моренных отложений сформировался почвенно-торфяной слой. Около 2900-2800 л. н. здесь же существует небольшое слабо проточное озеро. В дальнейшем долина была значительно углублена, наиболее вероятно, в результате именно селевых процессов, озеро спущено, а русло сместилось к левому склону.

Активизация делювиальных и солифлюкционных процессов и переотложение палеопочв в виде линз с большим содержанием древесного угля происходили в период между 7000 и 2700 л. н.

Время прохождения относительно недавних крупных селей в районе исследований приходится на 650 и 300 л. н., а последнее событие, приведшее к углублению селевого лотка и формированию новых обнажений, произошло в июне в 2017 г.

Заключение

Продолжительные периоды стабилизации склоновых процессов в первой половине голоцена фиксируются около 11000-8000, 7000-2700 л. н. Селевые события происходили в исследуемом районе в период между 8000-7000 л. н., 2900-1000 л. н., а также около 650 и 300 л. н. Последний сель в долине правого безымянного притока сошел в 2017 г. Кроме того, около 300 л. н. отмечается интенсификация и других склоновых процессов в разных частях бассейна р. Богуты.

В целом активизация селевой деятельности в голоцене в бассейне р. Богуты не связана непосредственно с отступанием ледников: уже к началу голоцена оледенение имело преимущественно каровый характер и занимало приосевые части наиболее высоких хребтов. Интенсификация склоновых процессов происходила в основном за счет деградации мерзлоты, усиления осадков и сейсмических процессов. Большое количество селей, зафиксированное во второй половине голоцена, может быть связано как с лучшей сохранностью следов более молодых событий, так и с возможной активизацией селевых процессов.

Список литературы

- Атлас Алтайского края (1978). Т. 1-2. М.-Барнаул, ГУГК.
Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций. Российская Федерация. Сибирский федеральный округ (2009). Под ред. С. К. Шойгу. М., Дизайн. Информация. Картография, 384 с.
Бородавко П.С. (2015). Геоинформационный анализ постгляциального лимногенеза юго-восточного Алтая. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 4(2): 250-255.



- Бронникова М.А., Агатова А.Р., Лебедева М.П., Непоп Р.К., Конопляникова Ю.В., Турова И.В. (2018). Запись голоценовых изменений ландшафтов высокогорий Юго-восточного Алтая в почвенно-литологической серии долины р. Богуты. Почвоведение, 4 (в печати).
- Бутвиловский В.В. (1993). Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. Томск, Изд-во Томского университета, 251 с.
- Окишев П.А. (1982). Динамика оледенения Алтая в позднем плейстоцене и голоцене. Томск, Изд-во Томского университета, 210 с.
- Перов В.Ф. (2012). Селеведение. Учебное пособие. М., Географический факультет МГУ, 272 с.
- Agatova A.R., Nepoch R.K. (2016). Dating strong prehistoric earthquakes and estimating their recurrence interval applying radiocarbon analysis and dendrostratigraphical approach - case study from SE Altai (Russia). *International Journal of Geohazards and Environment*, 2(3): 131-149.
- Borodavko P.S., Glazirin G.E., Herget J., Severskiy I.V. (2013). Hazard assessment and outburst flood estimation of naturally dammed lakes in Central Asia. Aachen, Shaker Verlag, 130 p.
- Nepoch R.K., Agatova A.R. (2017). Holocene seismically and climatically driven slope mass wasting processes in Boguty valley, Russian Altai. In: *Advancing Culture of Living with Landslides. Volume 5 Landslides in Different Environments*. Mikoš M., Vilímek V., Yin Y., Sassa K. (Eds.). Springer, 389-394.