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

<mark>ღვარცოფები:</mark> 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

Изучение многофазных катастрофических гляциальных событий картографическим методом

К.А. Аристов, О.В. Тутубалина, С.С. Черноморец

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, k.a.aristov@mail.ru, olgatut@mail.ru, devdorak@gmail.com

В статье рассматриваются два сходных по происхождению и характеру движения гляциальных катастрофических явления: обрушение ледника 911 с юго-западного склона горы Уаскаран (горный массив Кордильера Бланка, перуанские Анды) произошло в ходе землетрясения 30 мая 1970 года, а катастрофическая подвижка ледника Колка (Центральный Кавказ) произошла 20 сентября 2002 года. Оба события, начавшиеся как смещение ледовых масс, перешли в стадию лавинообразного грязекаменного потока, а затем трансформировались в сель. Изучение пространственного распределения происходивших процессов позволяет получить более полную картину событий и, возможно, спрогнозировать подобные явления в будущем. В статье представлена методика картографирования многофазных катастрофических потоков на основе аэрокосмических снимков высокого разрешения. Приведены дешифровочные признаки различных фаз потоков, а также представлен разработанный вариант условных знаков для сравнительного картографирования подобных явлений.

гляциальные опасные явления, дистанционное зондирование, сравнительное картографирование

Mapping of multiphase catastrophic glacial events

K.A. Aristov, O.V. Tutubalina, S.S. Chernomorets

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, k.a.aristov@mail.ru, olgatut@mail.ru, devdorak@gmail.com

Two glacial catastrophic events are discussed in this article. 911 glacier collapsed from the south-west slope of Huascaran mountain (Cordillera Blanca, Peruvian Andes) during the earthquake on 30 May 1970. Kolka glacier was detached from its bed on 20 September 2002. Both hazards, started as initial glacial mass movement, were transformed into mudstone avalanche and then to debris flow. Catastrophic processes spatial distribution study will provide more detailed information of the event and probably can help to predict similar phenomena in future. Methods of glacial multiphase events comparative mapping are presented in the article including high resolution remote sensing data interpretation and similar legends usage.

glacial hazards, remote sensing, comparative mapping

Введение

На сегодняшний день среди опасных природных явлений, происходящих в горах, выделяется отдельный тип – многофазные катастрофические явления [*Petrakov et al., 2008*]. Такие явления, происходящие при смещении материала с последующим движением обрушившейся массы по долине, представляют собой достаточно сложную

систему экзогенных и эндогенных процессов, происходящих за короткий промежуток времени, и характеризуются наличием нескольких стадий движения, например: смещение ледника, ледово-водо-каменный поток, сель и т.п. Процессы такого вида отличаются большой скоростью и объёмом переносимого материала, что представляет опасность для жизни и хозяйственной деятельности людей. Многофазные катастрофические явления случаются редко, и в каждом отдельном случае их причины могут быть разными. Исследование таких событий является одной из интересных задач гляцио-геоморфологических исследований. Комплексное исследование района опасных природных явлений, определение причин и взаимосвязей процессов, возможно, позволит своевременно прогнозировать такие явления, что будет способствовать устойчивому развитию горных территорий.

Важным для изучения каких-либо явлений является процесс их картографирования и анализа, в том числе при помощи материалов дистанционного зондирования Земли (далее ДЗЗ), таких как аэрофото- и космические снимки. Процесс картографирования на основе данных ДЗЗ разделяется на несколько этапов, важнейшими из которых являются дешифрирование, полевая проверка результатов дешифрирования и составление карт, на которых отражается специфика исследуемых явлений и полученные результаты [Берлянт, 2003].

Географическое описание произошедших явлений

Ледово-каменный обвал со склонов г. Уаскаран в Перу произошел 31 мая 1970 года в 15:23 по местному времени. Триггерным механизмом этого происшествия стало землетрясение, эпицентр которого находился в 130 км к востоку. Сила землетрясения составляла 7.7 баллов, а продолжительность составляла 45 секунд.

В своём движении поток 1970 разделился на несколько стадий. На первой стадии движение можно характеризовать как ледово-каменный обвал с восточного склона г. Уаскаран. В этот период массы льда и горных пород преодолели расстояние 2,4 км по склону с уклоном 30-40 градусов. Масса вовлеченного материала на этом этапе составила 25 млн м³. На втором этапе ледовый обвал трансформировался в ледово-каменный поток, во многом этому способствовал неровный рельеф местности. На этом участке поток характеризовался повышенной турбулентностью. Поток разделялся на несколько отдельных «рукавов» и захватывал большую площадь на высоте 3000-3600 м. Ниже 3000 м ледово-каменные массы образовали единый поток и устремились вниз по долине реки Ранраирка. На высоте 2800 м поток выплеснулся из долины и раздвоился. Одна часть устремилась вниз по долине к р. Санта, накрывая поселения Ранраирка и Матакото, а другая, под действием большой скорости, перевалила через моренную дамбу Сегго del Airo высотой 230 м и устремилась на город Юнгай. Большая часть этой массы потеряла скорость и похоронила под собой город и 4500 его жителей. Фронт продвижения в этой части потока составлял около 500 м по ширине.

После поступления катастрофических выносов в р. Санта образовался сель, который уже через два часа достиг поселения Mirador в 100 км от г. Юнгай, а далее дошел до Тихого океана (около 160 км) [*Plafker, Eriksen, 1978; Welsch, 1983*].



Рис. 1. Уаскаранская катастрофа 1970 г. (фото Плафкера Дж., Геологическая служба США)

Ледово-грязекаменный поток прошёл по долине реки Геналдон в Северной Осетии 20 сентября 2002 года примерно в 8 часов вечера. Зона зарождения потока находилась в цирке ледника Колка. За короткий период (около 5,5 минут) массы льда, воды горных пород преодолели расстояние в 18,5 км и достигли теснины, образованной рекой Геналдон в Скалистом хребте (Кармадонские ворота). В этом месте и выше, в Кармадонской котловине, большая часть движущейся массы затормозилась и отложилась. Ниже по долине сформировался наносоводный паводок, который остановился лишь в 17 км ниже Скалистого хребта, в двух километрах выше с. Гизель. Всего в ходе катастрофы погибло 134 человека, прямой материальный ущерб от нее оценивается в 547 миллионов рублей. 108 человек до сих пор не обнаружены и считаются пропавшими без вести.

На начальном этапе зарождения катастрофы в цирке ледника Колка происходили обширные ледово-каменные обвалы, которые дополнительно перегружали ледник.

После начала движения ледник перемещался достаточно быстро, вовлекая в себя материал морен и осыпей. В то же самое время произошло разделение потока на две части. Долина р. Геналдон ниже языка ледника Майли до с. Тменикау считается зоной транзита ледово-каменного потока. В этой зоне катастрофическая масса продолжала набирать скорость, также продолжалось вовлечение материала в поток. В районе Кармадонских ворот произошёл удар ледово-каменного тела о Скалистый хребет, который погасил скорость движения потока. Эта зона характеризуется аккумуляцией обширного материала ледниковой катастрофы. В дальнейшем из-за таяния льда в этой зоне происходили процессы лимногенеза. Ниже Кармадонских ворот располагается транзитно-аккумулятивная зона грязекаменного селя. В этой зоне происходили как процессы эрозии и разрушения объектов инфраструктуры, так и процессы накопления селевого материала [Поповнин и др., 2003; Тутубалина и др., 2005].



Рис. 2. Ложе ледника Колка 25 сентября 2002 г. (фото А.П. Полквого).

Методика исследования

Основу проведённой работы составляет визуальное дешифрирование различных аэрокосмических материалов: спутниковых снимков, ортофотопланов, составленных по аэрофотоснимкам и т.д. Визуальное дешифрирование проводилось с учётом полевых данных полученных в ходе экспедиций в исследуемых районах [Петраков и др., 2018] - наземных фотографий, данных спутникового позиционирования, полевых описаний территорий. Большое количество времени занимала предварительная подготовка материалов. Требовалось провести пространственную привязку снимков, их ортокоррекцию и составление готовых изображений.

Главным результатом исследования являются карты многофазных катастрофических событий, поэтому отдельная роль в исследовании уделяется составлению сходных легенд с учётом индивидуальных особенностей каждого события.

Визуальное дешифрирование

При составлении карт ледниковых катастроф проводилось визуальное дешифрирование объектов, связанных с катастрофами, с последующим созданием пространственно привязанных графических объектов. Использование материалов, различных по спектральному охвату и пространственному разрешению, затрудняло сопоставление объектов, характерных для двух районов исследований. Дешифрирование снимков проводилось на экране, с отрисовкой результатов в программном пакете Arc Map (ESRI).

Отображение дешифрируемых объектов в районе Геналдонской катастрофы 2002 г. на материалах космической съёмки – синтезированных снимках сверхвысокого разрешения с естественной цветопередачей

Граница катастрофы дешифрируется по контрастной смене цветовых тонов (рис. 3). Кроме того, при дешифрировании используются косвенные признаки – поваленные деревья, падающие тени.





Рис. 3. Границы распространения ледниковых масс во время движения.

Линии движения катастрофических масс дешифрируются по полосчатой структуре в зоне катастрофы (рис. 4). Направление движения определяется по топографической карте. Изображались только четко видимые линии, направление задавалось вниз по склону.



Рис.4. Линии движения катастрофических масс.

Участки движения катастрофических масс вверх по склону (рис. 5) выделялись на снимке с использованием данных о границе зоны катастрофы и топографической карте. В англоязычной литературе это явление разделяется на два вида: Superelevation и Run-up в зависимости от угла движения потока относительно склона – наискосок или вверх по склону, но в нашем исследовании было решено эти явления объединить, поскольку четкой границы между ними нет.





Рис. 5. Участки движения масс вверх по склону.

Следы предкатастрофической подготовки (ледово-каменных обвалов со склонов г. Джимарай-хох в июле-сентябре 2002 г.) выделяются по полосчатой структуре (рис.6), отличающейся от структуры конусов выноса направлением, а также по собственным теням, отражающим объём обвального материала.



Рис.6. Следы предкатастрофической подготовки.

Линии сколов и отрыва ледника от его боковых притоков (рис. 7) чётко дешифрируются по падающим теням, характеризующим высоту образовавшихся обрывов.





Рис. 7. Линии отрыва ледника от боковых притоков.

Зоны перемещения обломочного материала воздушным потоком катастрофы (рис. 8). Дешифрируются по тёмному тону изображения, выровненной структуре объекта, а также по его нечётким границам.



Рис. 8. Зона перемещения обломочного материала воздушной волной.

Объекты в районе Уаскаранской катастрофы 1970 г. дешифрировались по материалам спектрозональной цветной аэрофотосъёмки. В верхней зоне катастрофы границы дешифрируются в основном по наличию линий движения катастрофических масс, отличающихся направленной полосчатой структурой (рис 10). В средней части дешифрирование границ зон катастрофы затруднено, из-за недостаточного количества данных о принадлежности крупных каменных глыб именно к ледниковой катастрофе 1970 г. (рис 13). В нижней части зоны катастрофы граница дешифрируется чётко по светлому тону селевых отложений (рис 9).





Рис. 9. Граница зоны катастрофы (в нижней части).



Рис.10. Граница зоны катастрофы и линии движения на начальном этапе катастрофы.

Линии движения дешифрируются по полосчатой структуре (смена светлых и тёмных полос), направление движения определялось по топографической карте. Изображение линий тока даёт представление не только о направлении движения катастрофического потока, но также позволяет судить о характере процессов проходивших процессов.



Рис. 11. Линии движения катастрофических масс в нижнем течении р. Ранраирка.

Участки движения катастрофических масс вверх по склону (рис. 12). Дешифрируются по собственной тени барьерных объектов, а также при помощи топографической карты. Такие объекты дают представление о скорости и направлении движения потока. Кроме того, в случае Уаскаранской ледниковой катастрофы такие места имеют большое значение, поскольку основной ущерб населению и хозяйству территории был нанесён именно катастрофической волной, «перескочившей» через боковую морену юго-западного склона г. Уаскаран.



Рис.12. Участки движения катастрофических масс вверх по склону

Зоны перемещения обломочного материала воздушным потоком катастрофы. Дешифрируются по наличию крупных (более 5 м в поперечнике) каменных глыб, хаотически расположенных на возделываемой территории (рис. 13).

Зоны перемещения грязевого материала воздушной волной. Дешифрируется по цветовому тону и наличию просвечивающей структуры сельскохозяйственных земель (рис.13).



Рис. 13. Граница зоны катастрофы (красная линия), зоны перемещения обломочного (3) и грязевого материала воздушной волной (2), зона эрозии подстилающей поверхности (1).

Составление карт

После проведения дешифрирования аэро- и космических материалов проводилось составление карт ледниковых катастроф. Составление такого вида карт представляет собой достаточно трудную задачу, которая, как и для других карт, может быть условно разбита на несколько этапов: обоснование выбора масштаба, выбор способов изображения, а также графических приёмов, разработка макета карты, составление картографического изображения, разработка легенды, выборка элементов зарамочного оформления, и дополнительного материала к картам, окончательное оформление составительского оригинала карты [Берлянт, 2003].

Процесс выбора способов изображения при составлении карт ледниковых катастроф был осложнён не только новизной некоторых применяемых на картах терминов, но также необходимостью унификации условных обозначений для карт двух различных регионов, с различными особенностями природного окружения и произошедших катастрофических событий. Для изображения специального содержания на картах ледниковых катастроф использовались следующие способы изображения (рис. 14):



Рис. 14. Карта катастрофического потока юго-западного склона г.Уаскаран 31.05.1970.

- линейные знаки, изображающие границы отрыва массивов льда от ледника, участки движения катастрофических масс вверх по склону.
- качественный фон, отражающий фазы развития катастрофы, а также зоны различных процессов в катастрофе.

Карты имеют также элементы общего топографического содержания:

- рельеф (отображается светотеневой отмывкой).

- ледники (изображаются все ледники районов исследования, совместно с светотеневой отмывкой, для придания объёмного изображения).

- водотоки (отражены только основные водотоки).

Разработка макета карты и составление картографического изображения проводилось с использованием программы ArcMap (ESRI), поскольку данная программа позволяют удобно формировать слои пространственно привязанных объектов, осуществлять подбор условных знаков и цветовых палитр, отображать легенду карты и дополнительные материалы, а также экспортировать картографические изображения.

Представленные на рис. 14, 15 карты ледниковых катастроф составлены по результатам визуального дешифрирования данных дистанционного зондирования. Эти карты относятся к классу аналитико-синтетических, поскольку содержат в себе не только четко дешифрируемые элементы содержания (границы катастрофы, линии движения катастрофических масс, места «заплесков» и т.д.), но и границы фаз катастрофы, которые были определены по косвенным признакам. Также на картах показаны процессы, происходившие во время движения катастрофических масс. В дополнительных врезках к картам приведены профили рельефа (продольные и поперечные) в зонах катастроф, предназначенные для изучения морфометрических характеристик пути движения катастрофических масс.

Для удобства сравнения изучаемых ледниковых катастроф, карты составлены в едином масштабе. Также для карт были составлены почти идентичные легенды, обладающие одинаковыми цветовыми палитрами, способами изображения и графическими приёмами. Из-за различий в строении зон катастроф и в условиях их возникновения, в легендах карт также присутствуют некоторые расхождения. Так, например, на карте Уаскаранской ледниковой катастрофы (рис. 14) отсутствует зона подготовки, т.к. триггерным механизмом катастрофы послужило землетрясение.

На картах приводятся следующие объекты тематического содержания, отражающие схожесть изучаемых опасных природных явлений:

Зона катастрофы Фазы развития катастроф а) начало движения б) разгон в) транзит г) трансформация д) гляциальный сель Катастрофические процессы а) эрозия подстилающей поверхности и вовлечение материала б) перемещения обломочного материала воздушной волной Линии отрыва льда Линии движения катастрофических масс Участки движения катастрофических масс вверх по склону

Также на картах показаны объекты, отражающие уникальность каждого изучаемого события, такие как зона подготовки Геналдонской катастрофы (обвальные процессы в июле-сентябре 2002 года), процесс перемещения грязевого материала воздушной волной, зафиксированный при изучении Уаскаранской ледниковой катастрофы, зона плотной городской застройки (г. Юнгай), разрушенная катастрофическим потоком со склона г. Уаскаран.





Рис. 15. Карта катастрофического потока в долине р. Геналдон.

Анализ результатов картографирования

Подробный анализ аэрокосмических материалов высокого разрешения позволил выявить детали, возможно ранее не рассмотренные, но достаточно актуальные для исследования процессов, происходящих во время катастрофического движения ледово-грязе-каменных масс.

При дешифрировании аэрофотоснимков, выполненных на территорию долины реки Ранраирка (район Уаскаранской катастрофы), были выявлены участки движения катастрофических масс, ранее не фиксировавшиеся на картах или в других источниках. Для сравнения на рис. 16 синим цветом показаны границы зоны катастрофы, отражённые на картах, ранее составленных другими исследователями: [Welsch, 1973] (составлена по материалам фототеодолитной съёмки, выполненной в июле 1970 г.); [Plafker, Eriksen, 1970].





Рис. 16. Сравнение границ Уаскаранского катастрофического потока 1970 г.: по данным [*Plafker, Eriksen, 1978*] - синий цвет, по материалам спектрозональной съёмки - красный цвет.

Границы зоны катастрофы, по сравнению с ранее составленными картами, были сильно расширены в районе ледника 511 на юго-западном склоне г. Уаскаран. На фрагменте А видны следы движения по леднику не только горных пород, маркирующиеся тёмно-сизым цветом, но также следы движения льда и снега. При этом стоит заметить, что вышеупомянутые исследователи проводят границу зоны катастрофы по следам движения горных пород. Возможно, они предполагали, что следы движения льда и снега появились после катастрофы, но в этом случае граница между темным и светлым фототонами не была бы столь контрастной. В связи с этим, предполагается, что последовательность движения льда и горных пород была прямо противоположной, то есть в начале в движения пришли массы льда, обрушившегося «ледяного карниза», а потом горные породы, вовлечённые в движение массами льда.

На фрагменте Б аэрофотоснимка отчётливо прослеживается территория, покрытая слоем грязи. Кроме того, на снимке видны обломки горной породы, принесённые

воздушной волной катастрофы. Тонкий слой грязевых отложений можно увидеть и на фрагменте В. Зона «грязевых брызг» отмечена на карте Уаскаранской катастрофы 1970 г. [*Plafker, Eriksen, 1978*], но детально ее границы впервые нанесены нами.

Территория, представленная на фрагменте Г, также по-разному отражена в рассмотренных картах, при этом основные отличия в рисовке зоны катастрофы присутствуют на карте, составленной по материалам фототеодолитной съёмки. Таким образом, можно предположить, что имеют место погрешности рисовки, связанные с наличием «мёртвых зон» при съемке, в которых трудно определять положение картографируемых объектов.

Уточнение границы зоны прохождения Уаскаранской катастрофы, возможно, позволит по-новому оценить такие параметры, как объём и скорость движения катастрофических масс.

Сопряжённое исследование Уаскаранской и Геналдонской ледниковых катастроф, не только позволило выявить сходства и различия двух событий, но, в определённой мере, позволило вновь оценить фазы движения катастрофических масс и типы катастрофических процессов. В большей мере эти изменения заметны на карте Геналдонской ледниковой катастрофы. После сравнения материалов визуального дешифрирования по двум районам, было решено, как и на карте Уаскаранской катастрофы, выделить зону трансформации ледово-грязе-каменного потока в гляциальный сель. В эту зону попало, в том числе, ледовое тело, отложившееся в Кармадонской котловине, так как на этой территории, безусловно, проходил процесс трансформации катастрофического потока особого типа в гляциальный сель. В то же время, доминирующим процессом на этом участке является аккумуляция ледовокаменного материала. По результатам картографирования ледниковых катастроф, а также с использованием дополнительных литературных источников была составлена сравнительная таблица 1.

Как видно из таблицы, к основным сходствам двух катастрофических событий можно отнести большие объёмы вовлечённого материала. В обоих случаях объёмы исчислялись десятками миллионовм3. Также к основным сходствам можно отнести большую протяжённость зон катастрофы, составляющих примерно 20 км (длина участка сверхбыстрого движения катастрофических масс, до перехода в классический гляциальный сель). Главным же, на наш взгляд, общим свойством изучаемых ледниковых катастроф является последовательное чередование аналогичных стадий потоков от начала движения до стадии гляциального селя.

Сравнительная таблица указывает не только на определённые сходства ледниковых катастроф, но также и на их различия. К наиболее ярким различиям исследуемых ледниковых катастроф можно отнести несколько их характеристик: причины катастроф, триггерные процессы (процессы, инициировавшие катастрофы), пространственные вариации скоростей потоков.

Различия в триггерных процессах и причинах катастроф обусловлены в первую очередь различным геологическим и геоморфологическим строением долин.

Стоит отметить различия в скоростном режиме двух событий: максимальные скорости движения в два раза выше для Уаскаранской катастрофы, средние же скорости выше для Геналдонской. Различия в максимальных скоростях движения обусловлены различным геоморфологическим строением долин, например уклоны в зонах зарождения для двух катастроф различаются более чем в 6 раз. Средние же скорости различаются не только из-за разного геоморфологического строения – в ходе движения, катастрофические массы в долине реки Ранраирка растекались по большим территориям (3,9 км в поперечнике), и поэтому теряли энергию, а в долине реки Геналдон катастрофические массы были зажаты и максимально растекались лишь на 1,5 км (в зоне перехлёста через ледник Майли). Возможно, различия в средних скоростях обусловлены ещё и различным механическим составом двигавшихся масс – преобладанием льда в двигавшихся массах Геналдонской катастрофы.

259



	Колка	Уаскаран
Характеристика триггерных процессов	Предшествующие обвалы, нагрузка ледника	Землетрясение, сейсмический фактор обвала
Наличие стадии подготовки катастрофы	Да (крупные ледово- каменные обвалы со склонов г. Джимарай-хох в июле- сентябре 2002 г.)	Нет
Последовательность фаз катастрофических потоков	 начальное скольжение ледника 	 начальный обвал ледово-каменных масс
	 лавинообразный ледово- водно-каменный поток 	2) лавинообразный ледово-водно-каменный поток
	3) гляциальный сель	3) трансформация лавинообразного потока в сель
-		4) гляциальный сель
Площадь зоны поражения катастрофических потоков	22,3 км ²	31,7 км²
Углы наклона:		
1) средние	1) 12,6°	1) 17,3°
2) максимальные	2) 43°	2) 73°
3) в зоне зарождения	3) 5-10°	3) 65-70°
Длина пути:		
1) многофазного потока	1) 19 500 м	1) 18 500 м
2) совместно с наносоводным паводком	2) 35 км	2) более 200 км
Максимальная скорость	70 м/с [Дробышев, 2012]	120 м/с [Тутубалина и др., 2005]
Общее падение:		
1) многофазного потока	1) 2100 м	1) 3600 м
2) совместно с гляциальным селем	2) 2400 м	2) 5900 м
Ширина:		
1) максимальная	1) 1500	1) 3900 м
2) минимальная	2) 360	2) 860 м
Высота максимального движения вверх по склону	250 м [Дробышев, 2012]	150 м
Общий объём вовлечённого материала	115 млн. м ³ [Тутубалина и др., 2005]	47,8 млн. м ³ [Petrakov et al., 2008]
Содержание движущейся при ледниковой катастрофе массы в процентах:		
1) льда (волы)	1) 80%	1) 19.6-36.9%
2) обломочного материала	2) 10%	2) 46,8-72,3% [Plafker, Eriksen, 1978]

Таблица 1. Сравнительная таблица параметров исследуемых катастрофических потоков

Заключение

В ходе проведения картографического сравнения Уаскаранской и Геналдонской ледниковых катастроф получены следующие результаты:

- 1. Проведено картографирование районов ледниковых катастроф. Полученные карты составлены в единой цветовой палитре и имеют сходные легенды.
- Уточнены границы зоны катастрофы, а также участков с различным типом перемещения материала в зоне катастрофы, что позволит в будущем заново оценить некоторые характеристики катастроф, такие как объём и скорость движения катастрофических масс.
- 3. Сделаны выводы относительно сходств и различий двух гляциальных катастроф. Это быстро проходящие явления, максимальные скорости которых превышают 200 км/ч. При этом перемещаются объемы льда и горных пород, исчисляющиеся миллионами кубических метров. Кроме того, в ходе своего движения катастрофические массы активно воздействуют на подстилающую поверхность и вовлекают большое количество материала, таким образом, изменяя рельеф местности. Ледниковые катастрофы проходят в своей динамике несколько стадий, очерёдность которых в целом не меняется. Ещё одной чертой таких событий является их пространственная локализация, то есть повторяемость в одних и тех же местах, наиболее благоприятных для их развития.

Важно также упомянуть об ущербе, наносимом данным событиями населению горных долин, а также о том, что при проведении постоянных наблюдений и соблюдении норм безопасности, жертв можно было бы с большей вероятностью избежать. Составленные карты районов ледниковых катастроф позволят лучше изучить особенности этих явлений, а также могут послужить одним из материалов для разработки прогноза таких опасных природных явлений.

Благодарности

Авторы благодарят С.Дж.Эванса и М. Сапату за содействие в полевых и камеральных исследованиях, а также проекты SfP 982143, РФФИ 06-05-64787, 18-05-00520 за финансовую поддержку.

Список литературы

Берлянт А.М. (2003). Картоведение. Аспект-Пресс, М.

- Дробышев В.Н. (2012). Гляциальная катастрофа 20 сентября 2002 года в Северной Осетии. Вестник Владикавказского научного центра, 12(3): 20-36.
- Петраков Д.А., Аристов К.А., Алейников А.А., Бойко Е.С., Дробышев В.Н., Коваленко Н.В., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. (2018). Быстрое восстановление ледника Колка (Кавказ) после гляциальной катастрофы 2002 года. Криосфера Земли, 22(1): 58-71.
- Поповнин В.В., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. (2003). Гляциальная катастрофа 2002 года в Северной Осетии. Криосфера Земли, VII(1): 3-17.
- Тутубалина О.В., Черноморец С.С., Петраков Д.А. (2005). Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные. Криосфера Земли, IX(4): с. 62-71.
- Petrakov D.A., Chernomorets S.S., Evans S.G., Tutubalina, O.V. (2008). Catastrophic glacial multiphase mass movements: a special type of glacial hazard. Advances in Geosciences, 14: 211-218.
- Plafker G., Eriksen G.E. (1978). Nevados Huascaran avalanches. Rockslides and Avalanches, Chapter 8. In: Voight B. (ed.) Natural Phenomena. Amsterdam, Elsevier, 1: 277-314.
- Welsch W. (1983). Begleitworte zum hohenlinienplan 1:25 000 der bergsturzmure vom Huascaran am 31 mai 1970. Die Berg- und Gletschersturze vom Huascaran, Cordillera Blanca, Peru. Universitiitsverlag Wagner Innsbruck, pp. 31-50.