

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.



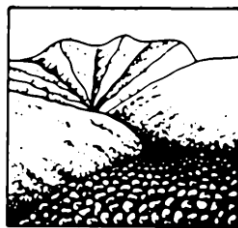
Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили

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



Селевые процессы в Ловозерских тундрах

А.И. Рудинская, Ю.Р. Беляев, А.Л. Гуринов, Е.В. Гаранкина

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
Россия, rudinskaya94@gmail.com*

Ловозерский массив, относящийся к северной зоне развития селевых явлений, в соответствии с районированием территории СССР, имеет среднюю степень селеопасности [Флейшман, 1978]. Несмотря на то, что ранее велись отрывочные наблюдения за селевыми явлениями Ловозерских тундр, отсутствуют общие карты проявлений селевых процессов, нет достоверных опубликованных данных по активности и интенсивности селевых процессов хотя бы для отдельных бассейнов (в отличие от хорошо изученных в этом отношении Хибин [Божинский и др., 2001]). На основе обобщения литературных источников был сформулирован перечень дешифровочных признаков для выявления следов развития селевых процессов при изучении данных дистанционного зондирования высокого разрешения и крупномасштабных топографических карт на изучаемую территорию. Эти критерии использовались при создании схемы предварительного дешифрирования селевых бассейнов. Во время полевого обследования летом 2017 года проводилось уточнение составленной на предыдущем этапе схемы. В результате была составлена карта селевых бассейнов исследуемой территории. Селевые явления достаточно широко распространены в пределах массива – достоверно установлено существование 32 селевых бассейнов. Селевые процессы развиваются как в относительно крупных долинах (площадью до 19 км²), так и в водосборных бассейнах временных водотоков. Доминирующий тип селеподобных явлений в Ловозерском массиве представлен водоснежными потоками. Сели, образующиеся при выплеске из горных озер, встречаются значительно реже (могут возникать в 4 селевых бассейнах) и относятся к типу водо-каменных потоков.

*селевые процессы, водокаменные сели, водоснежные потоки, селевой бассейн,
морфодинамическая зона, Ловозерские тундры*

Debris flow phenomena in the Lovozerskiye Tundry

A.I. Rudinskaya, Yu.R. Belyaev, A.L. Gurinov, E.V. Garankina

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, rudinskaya94@gmail.com

Lovozerskiye Tundry are referred to the Subarctic zone of debris flow formation and have an average degree of debris flow danger [Fleishman, 1978]. Although an initial data on the debris flow phenomena in the Lovozerskiye Tundry was accomplished, there are no debris flow basins schemes or reliable published data on the activity and intensity of debris flows, at least, for the specific basins (in contrast to the well-studied Khibiny [Bozhinsky et al., 2001]). We compiled a list of criteria to identify traces of debris flow phenomena in studied area using remote sensing data and large-scale topographic maps. These criteria have been used to create a preliminary scheme of debris flow basins. Field inspection in the summer of 2017 has verified the scheme. As a result, we compiled a map of debris flow basins for the territory. Debris flow phenomena are widely distributed within the massif – there are 32 debris flow basins. Debris flow phenomena develop both in rather big valleys (with an area of more than 19 km²) and in catchment area of temporary watercourse. The most widespread type of debris flow phenomena in the Lovozerskiye Tundry are slushflow. Typical debris flows are possible, at least, in 4 basins due to periodical extreme water

discharges triggered by avalanches and/or rockfalls into moraine-dammed lakes in their headwaters.

debris flows, slushflows, debris flow basin, morphodynamic zone, Lovozerskiye Tundry

Введение

Ловозерские тундры – изометричный в плане низкогорный массив с преобладающими высотами 800-1000 м, расположенный на Кольском полуострове. Его протяженность с запада на восток составляет около 80 км, с севера на юг - порядка 90 км, площадь - 650 км². Массив представляет собой щелочную интрузию, приподнятую неоген-четвертичными движениями над окружающими денудационными равнинами. Он глубоко расчленен сетью радиальных долин сложного эрозионного и эрозионно-экзарационного генезиса, заложившихся по тектоническим нарушениям.

Ловозерский горный массив – важный горнопромышленный регион нашей страны. Хозяйственное освоение горных территорий сопряжено с рядом трудностей, одна из которых – развитие в пределах горных территорий специфических опасных природных процессов. В соответствии с нормативной документацией [СП 116.13330.2012], к опасным природным процессам относятся широко распространенные в пределах горных территорий сели - стремительные русловые потоки, состоящие из смеси воды и обломков горных пород, внезапно возникающие в бассейнах небольших горных рек [Перов, 1996]. Поскольку Ловозерские тундры считаются территорией со средней степенью селевой опасности, находящиеся в пределах массива или проектируемые в будущем объекты инфраструктуры оказываются подвергнуты риску.

Целью настоящего исследования стал анализ пространственного распространения и строения селевых бассейнов Ловозерского массива. Были решены следующие основные задачи:

Сформулировать перечень дешифровочных признаков для выявления следов селевых процессов на данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и крупномасштабных топографических картах;

На основе выбранных критериев составить схему дешифрирования селевых бассейнов;

В полевых условиях на местности уточнить составленную ранее схему и построить итоговую карту селевых бассейнов; провести их типизацию и установить параметры;

Составить и проанализировать каталог селевых бассейнов Ловозерских тундр по морфологии и морфометрическим параметрам.

Методический подход

Изучение селевых бассейнов Ловозерских тундр проводилось по следующему алгоритму (рис. 1):



Рис. 1. Стадии изучения селевых бассейнов Ловозерских тундр.

На первом этапе с помощью литературных источников [Пушкаренко, Чалмаев, 1988; Садов, Гельман, 1984; Сапунова, Сапунов, 1979] был составлен перечень дешифровочных признаков для выявления следов развития селевых процессов с помощью топографических карт и ДДЗ [Rudinskaya et al., 2018]. Были подобраны следующие критерии – морфологические (характеризующие поперечный и продольный



профили долины, крутизну тальвегов и бортов долин), геологические (указывающие на выходы скальных пород и накопления валунно-глыбового материала), ландшафтные (соответствующие определенному типу растительности - одной из характеристик возраста селевого рельефа). Предварительное дешифрирование проводилось при использовании карт Генерального штаба масштаба 1:50000 и 1:25000, а также полученных из открытых источников (Bing, Google, Yandex) космических снимков со спутников GeoEye и WorldView-2 субметрового пространственного разрешения.

На втором этапе проводилось уточнение составленной ранее схемы предварительного дешифрирования селевых бассейнов, описание параметров форм селевого рельефа, селевых отложений, выделение морфодинамических зон селевых бассейнов. По итогам полевого обследования в среде QGIS 2.14.22 была построена карта селевых бассейнов Ловозерских тундр (рис. 2).

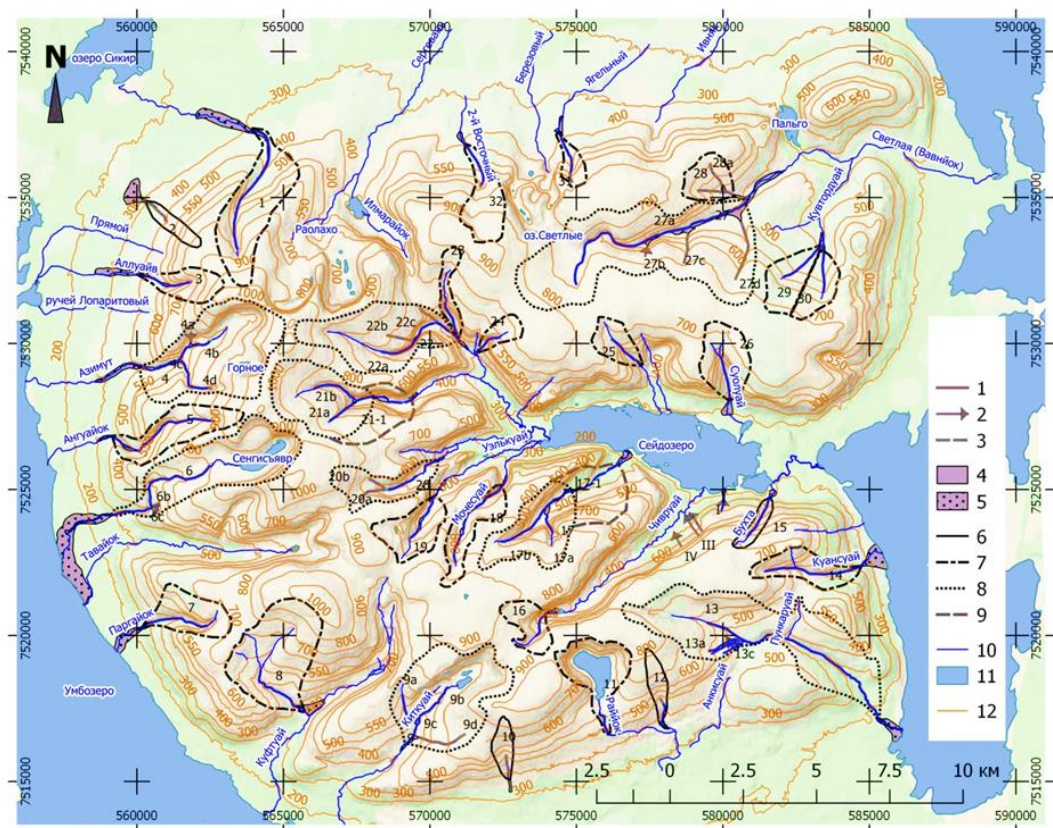


Рис. 2. Селевые бассейны Ловозерских тундр: 1 – современные зоны транзита, 2 – небольшие водоснежные аппараты, 3 – предполагаемые древние пути транзита, 4 – современные зоны внутриваллиной аккумуляции и конусы выноса, 5 – древние конусы выноса, 6 – границы элементарных простых бассейнов, 7 – границы простых долинных бассейнов, 8 – границы сложных долинных бассейнов, 9 – границы прекративших функционировать участков сложных долинных бассейнов, 10 – водотоки, 11 – озера, 12 – горизонтали.

В настоящем исследовании в качестве селевых бассейнов рассматривались морфологически выраженные на карте масштаба 1:100000 долины водотоков не ниже первого порядка. Первый порядок присваивался водотокам длиной не менее 1 км с площадью водосбора не менее 0,8 км². Исключения делались для долин ручьев, пересыхающих в отдельные сезоны года. при морфологической выраженности следов селевой деятельности и площади водосбора не менее 0,8 км². Принято считать бассейн селевым, если в его пределах формируются селевые потоки, которые сходят по главному руслу. В составе сложного селевого бассейна присутствуют селевые притоки, однако в том случае, если селевой поток движется по руслу главного водотока, этот водосбор рассматривается как единый бассейн; в противном случае селевые притоки относятся к



самостоятельным бассейнам [Перов, 1996]. Тем не менее, было принято решение выделить в составе сложных бассейнов отдельные селевые аппараты (им на карте соответствуют номера типа 1a, 1b). Селевой аппарат представляет собой часть селевого бассейна, в пределах которой собственно и происходит образование селя, перемещение селевых масс и непосредственное преобразование рельефа селевыми процессами. Под селевым аппаратом понимается сочетание морфологически выраженного селевого очага и пространственно связанных с ним форм рельефа, которые полностью созданы или существенно преобразованы в результате схода селей, зарождающихся в данном очаге, и фиксируют зоны транзита селя (селевой врез) и селевой аккумуляции (конус выноса). В качестве селевых очагов могут выступать водосборные воронки, участки периодического блокирования русел водотоков лавинно-камнепадными телами, пороги стока подпрудных озер и др. Необходимость введения этого термина связана с тем, что отдельное рассмотрение селевых аппаратов в составе сложного селевого бассейна позволяет более подробно изучить их параметры и вклад в функционирование бассейнов. На карте были также отображены существующие небольшие склоновые аппараты, (обозначены римскими цифрами I-IV). Их водосбор не выражен морфологически на карте масштаба 1:100000, и потому они не могут считаться селевыми бассейнами в рамках настоящего исследования.

С помощью программного комплекса Microsoft Excel был составлен каталог селевых бассейнов и аппаратов. Каталог состоит из двух частей. В первой части приведены морфологические характеристики бассейнов и аппаратов - форма продольного и поперечного профилей, их геоморфологическая приуроченность (эти характеристики определяют условия развития селевых процессов и обуславливают строение селевого бассейна – например, расположение зоны основной концентрации отложений), тип очага, наличие или отсутствие ныне не функционирующих древних конусов выноса – для возможности в дальнейшем анализировать историю развития селевого бассейна. В зависимости от характера водосбора бассейны были классифицированы как склоновые либо долинные, при этом долинные бассейны были разделены на два типа - простые и сложные (табл. 1).

Таблица 1. Фрагмент каталога селевых бассейнов Ловозерских тундр. Часть 1 – морфологические характеристики.

№ бассейна (аппарата)	Название главного водотока бассейна (аппарата)	Морфология	Очаг	Особенности селевого процесса	
				Области концентрации современных селевых отложений	Наличие древних конусов выноса
1	Руч. Шомйок	V-образная долина, продольный профиль прямой с элементами ступенчатого	Водосборная воронка; области подпруживания русла лавинами	Преимущественно на конусе выноса, в меньшей степени – в средней части долины	+
2	Руч. б/н	Денудационный врез в коренных породах	Водосборная воронка	У подножия внешнего тектоно-денудационного склона массива	+



Таблица 1 (продолжение). Фрагмент каталога селевых бассейнов Ловозерских тундр. Часть 1 – морфологические характеристики.

№ бассейна (аппарата)	Название главного водотока бассейна (аппарата)	Геоморфологическая характеристика водосбора аппарата	Тип	Класс	Преобладающие типы селей
1	Руч. Шомйок	Глубоко врезанная речная долина	Простой	Долинный	Гидронапорные ВСП
2	Руч. б/н	Долина небольшого ручья на поверхности внешнего тектоно-денудационного склона	Элементарный	Склоновый	Гравитационные ВСП

Во второй части для каждого бассейна и аппарата приводятся морфометрические параметры (табл. 2). Анализ преобладающих порядков водотоков, особенностей русловой сети, среднего уклона в зоне транзита, площадей бассейна и конусов выноса помогает установить, при каких параметрах в условиях изучаемой территории селевые процессы развиваются наиболее активно и какие морфометрические характеристики соответствуют бассейнам разных классов и типов. Анализ коэффициента формы водосбора K_{ϕ} :

$$K_{\phi} = \frac{L}{B_{max}}, \text{ где } L - \text{длина водосбора, } B_{max} - \text{максимальная ширина водосбора (1)}$$

помогает установить, в каких бассейнах и аппаратах вода будет быстрее концентрироваться в притальвежных зонах водотоков [Симонов, 1998]. Экспозиция показывает, где будет наиболее быстро происходить таяние снега – основного источника воды для селей в Субарктике.

Таблица 2. Фрагмент каталога селевых бассейнов Ловозерских тундр. Часть 2 – морфометрические характеристики.

№ бассейна (аппарата)	Название главного водотока бассейна (аппарата)	Гидрографические особенности		Особенности строения бассейна		
		Русловая сеть	Порядок главного водотока (по Стралеру)	Длина зоны транзита (км)	Набс истока зоны транзита	Набс вершины конуса выноса (зоны разгрузки)
1	Руч. Шомйок	Одно русло	1	4,9	700	430
2	Руч. б/н	Тальвег постоянного водотока	1	1	380	340



Таблица 2 (продолжение). Фрагмент каталога селевых бассейнов Ловозерских тундр. Часть 2 – морфометрические характеристики

№ бассейна (аппарата)	Название главного водотока бассейна (аппарата)	Особенности строения бассейна (аппарата)					
		Средний уклон тальвега в зоне транзита	Площадь современной зоны аккумуляции, км ²	Площадь древней зоны аккумуляции, км ²	Площадь водосбора, км ²	Кф	Экспозиция
1	Руч.Шомйок	0,06	0,62	0,16	6,7	3,6	С
2	Руч. б/н	0,04	0,37	0,34	1,0	6,0	СЗ

Особенности селевых бассейнов Ловозерских тундр, их морфологические и морфометрические характеристики

Селевые процессы достаточно широко распространены в пределах массива – насчитывается 32 селевых бассейна. На относительно пологом внешнем западном склоне расположены девять бассейнов, относящихся к классу долинных (№ 2-9). На южном склоне средней крутизны расположены три бассейна – два склоновых (№10, 12) и один долинный (№11). В пределах относительно крутого восточного склона расположены два селевых бассейна, оба – класса долинных (№13, 14). К достаточно пологому северному склону приурочены три долинных бассейна (№1, 31, 32). В пределах крутого внутреннего склона массива насчитывается 14 бассейнов, из них – один склоновый (№15) и десять долинных (№16-26). Для внешних склонов массива характерна следующая закономерность: в пределах гористой части бассейна расположена зона селевого транзита, а к выходу водотока на предгорную равнину приурочена зона селевой аккумуляции. В некоторых случаях наблюдаются древние конуса выноса, расположенные в устьевых частях рек. Во внутренней части массива ситуация иная: здесь аккумуляция материала происходит в среднем течении реки, так как транспортирующей способности потока не хватает для выноса материала ниже по течению (хотя, например, в бассейне №17 в устье реки присутствует древний конус выноса).

В ряде долин зона аккумуляции в нижнем течении может быть морфологически не выражена – вероятно, это связано с последующим размывом селевых отложений (которые могут отлагаться ниже по течению, уже подвергаясь аллювиальной сортировке). В пределах Ловозерского массива также располагаются два бассейна сложного строения (№17 и №21), в структуре которых можно выделить отдельный древний конус и примыкающую к нему предполагаемую зону древнего транзита – эти морфодинамические зоны, несмотря на определенную морфологическую выраженность, не несут следов развития селевых процессов в настоящее время. Они могут быть свидетельством сокращения площади водосборов бассейнов сложного строения, уменьшению транспортирующей способности высоких порядков водотоков и, как следствие, к возможному разделению сложных бассейнов на простые в дальнейшем. Возможно, именно так произошло с бассейнами №27 и 28 – судя по положению конусов выноса, раньше они функционировали как единый бассейн.

Анализ морфометрических характеристик бассейнов (рис. 3) показал, что длина зон селевого транзита меняется от 0,2 до 8 км, чаще всего она составляет 1-2 км. Наибольшее количество селевых очагов расположено на высотах 500-700 м, а зон разгрузки – на высотах 400-500 м. Таким образом, можно выделить высотный уровень 400-700 м, который характеризуется наиболее интенсивным селеобразованием. Типичные параметры селевого водосбора следующие: площадь водосбора варьирует от 1 до 4 км², площадь современного конуса выноса в среднем составляет менее 0,1 км², уклон в зоне транзита колеблется от 0,02 до 0,18, К_ф – от 1,3 до 4,8.

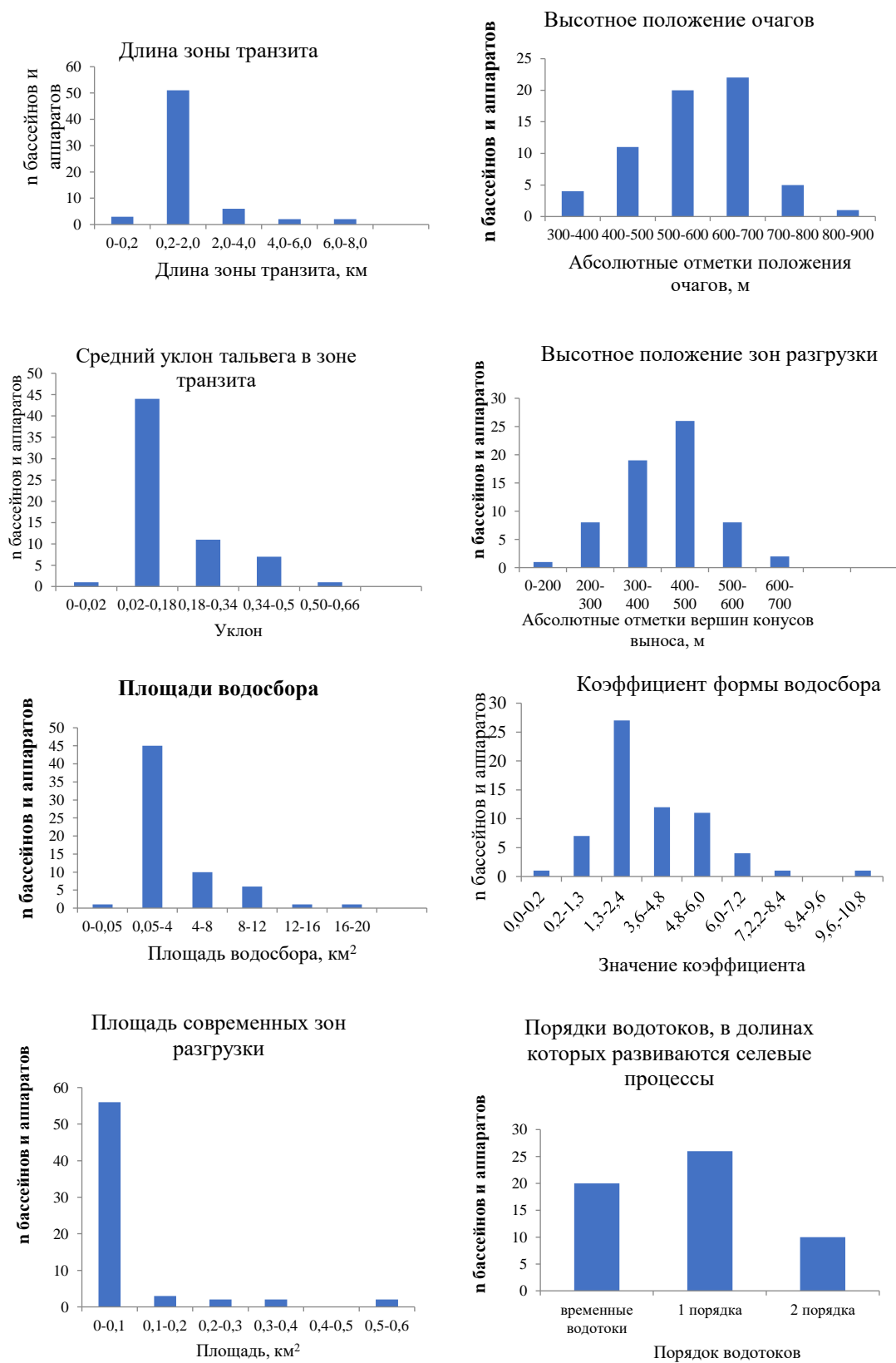


Рис. 3. Морфометрические характеристики селевых бассейнов и аппаратов.

Селевые процессы главным образом развиваются в долинах водотоков 1 порядка. Преобладающий тип очагов (рис. 4) – водосборные воронки (68% очагов), другие типы имеют подчиненное значение (доля лавинно-камнепадных желобов составляет 10%, моренно-подпрудных озер и участков подпруживания русел лавинами – по 8%, выпуклых перегибов продольного профиля – 6%). По типам селей преобладают гидронапорные водоснежные потоки (ВСП) – они развиваются в 51% селевых водосборов. Гравитационные ВСП также имеют широкое распространение (возникают в 42% водосборов). Сели, связанные с частичным спуском озер, имеют подчиненное значение и развиваются в 7% бассейнов и аппаратов. Преобладают селевые бассейны долинного класса (87% всех бассейнов), а самый распространенный тип бассейнов – простые (59%).

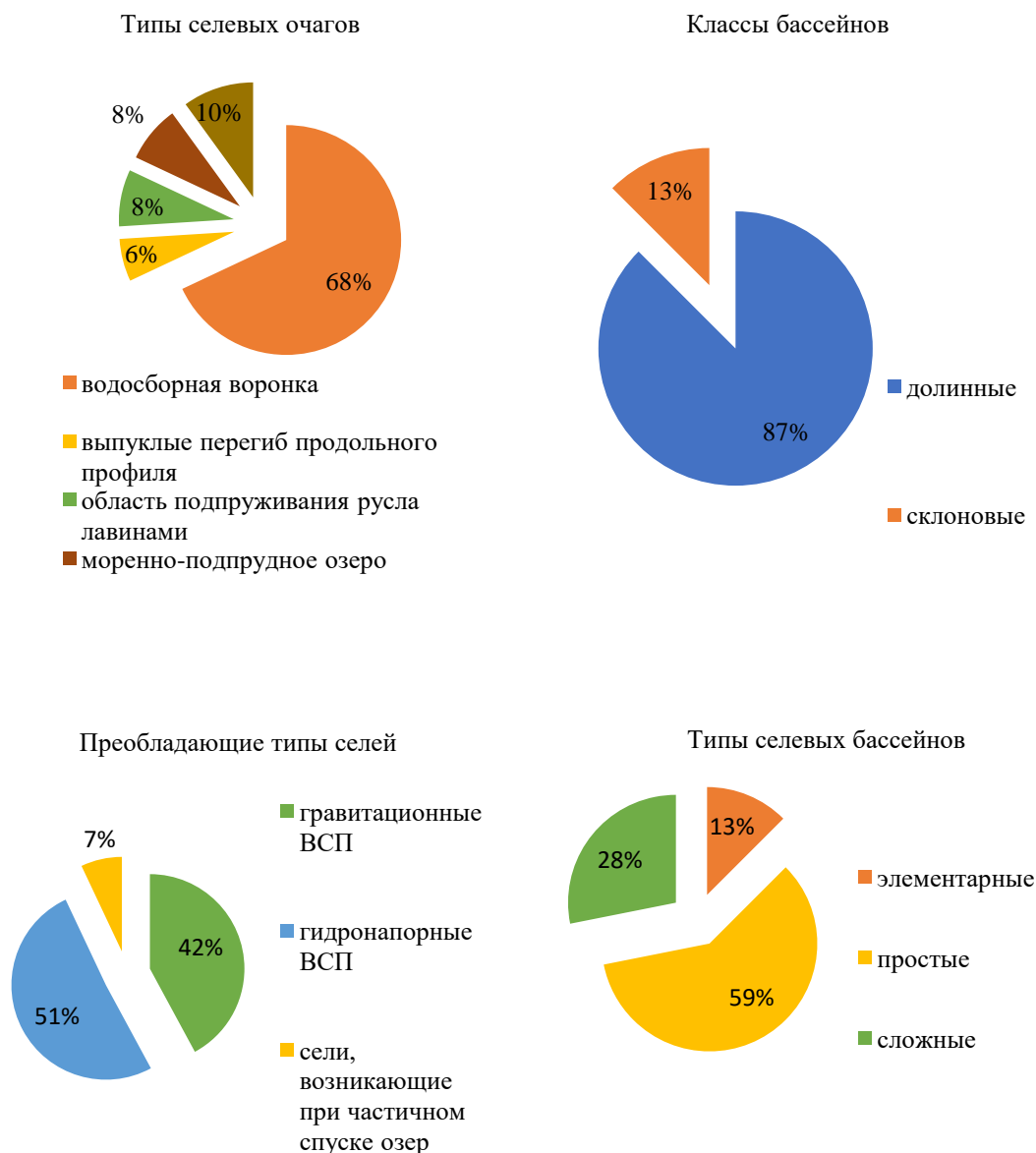


Рис. 4. Морфологические характеристики селевых бассейнов и аппаратов, преобладающие типы селевых процессов.



Выводы

В пределах Ловозерских тундр расположены 32 селевых бассейна. Преобладают простые долинные бассейны, вложенные в трюги. Типовые геоморфологические позиции элементарных бассейнов – внешние тектоно-денудационные склоны массива, сложных бассейнов – трюговые долины. Доминирующие типы очагов – водосборные воронки (представлены в 68% бассейнов). Типичные морфометрические характеристики селевых бассейнов – площадь водосбора 2-4 км², уклон зоны транзита 0,02-0,18, очаги на высотах 500-700 м, зоны разгрузки на высотах 400-500 м. Ведущий генетический тип селевых явлений в пределах массива – водоснежные потоки (преимущественно гидронапорного типа). Сели, связанные со спуском озер, имеют подчиненное значение, но отличаются существенно большей мощностью (дальностью выброса и последующей перестройки долины). Последние представлены в бассейнах №4 (долина Азимута), №6 (долина Сенгисйока), №9 (долина Киткуая), №11 (долина Раййока). Установлено наличие разных возрастных генераций селевых конусов в наиболее крупных селевых бассейнах Ловозерских тундр. Древние селевые образования имеют существенно большую площадь и мощность и выдвинуты, как правило, ниже по долинам. Установлена тенденция к упрощению структуры бассейнов и разделению сложных долинных бассейнов на простые.

Работа выполнена по теме государственного задания АААА-А16-11632810089-5 при поддержке РФФИ (проект №17-05-00630А).

Список литературы

- Божинский А.Н., Евтеев А.О., Мягков С.М. и др. (2001). Водоснежные потоки Хибин. М., Географический факультет МГУ, 167 с.
- Перов В.Ф. (2012). Селеведение. Учебное пособие. М., Географический ф-т МГУ, 272 с.
- Перов В.Ф. (1996). Селевые явления. Терминологический словарь. М.: Изд-во Моск. ун-та, 34 с.
- Пушкаренко В.П., Чалмаев Л.В. (1988). Особенности применения космических фотоснимков при изучении селевых явлений. Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата, 70-79.
- Садов А.В., Гельман Р.Н. (1984). Использование аэрокосмических и других фотографических методов при изучении оползней и селей. В кн.: Оползни и сели. М., Центр международных проектов ГКНТ, 1: 171-195.
- Сапунова Г.Г., Сапунов В.Н. (1979). Следы действия водоснежных потоков. Материалы гляциологических исследований, 35: 201-202.
- Симонов Ю.Г. (1998). Морфометрический анализ рельефа. Смоленск, Изд-во СГУ, 272 с.
- СП 116.13330.2012 (2013). Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003. М., Изд-во стандартов, 27 с.
- Флейшман С.М. (1978). Сели. Л., Гидрометеиздат, 312 с.
- Rudinskaya A.I. et al. (2018). Debris flow and slushflow phenomena in Lovozerskiye Tundry, Kola Peninsula, NW Russia. Geophysical Research Abstracts, 20, EGU2018-6535, <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-6535.pdf>.