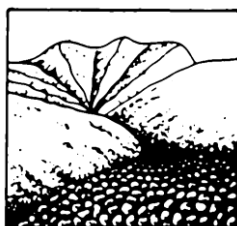


DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 5th International Conference

Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018



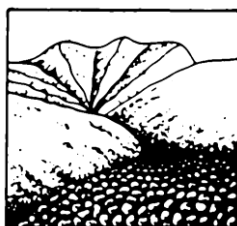
Editors
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Publishing House “Universal”
Tbilisi 2018

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
5-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г.



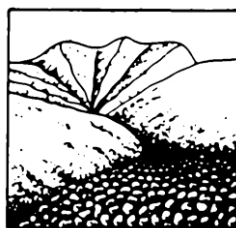
Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили

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



Методика прогноза селей в регионе Центрального Кавказа и опыт ее апробации

И.Б. Сейнова¹, Ю.Б. Андреев¹, И.Н. Крыленко¹, Е.М. Богаченко²,
И.Г. Феоктистова²

¹Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва,
seynova@gmail.com

²Кабардино-Балкарский ЦГМС, Россия, Нальчик, irish_fg@gmail.com

В высокогорье Центрального Кавказа современный тренд активизации селевых процессов связан с интенсивным энергомассообменом на стадии деградации оледенения. Непосредственная реализация схода селей происходит под воздействием комплекса гляцио-климатических факторов. В статье рассматривается метод разработки краткосрочного прогноза селей гляцио-ливневого генезиса на основе интерпретации ряда фактических наблюдений с 1951 по 1995 годы. Апробация методики путем сопоставления расчетных данных с непосредственными наблюдениями за сходом селей в течении последующих 1996-2017 гг. показала, что более 70% из них были идентифицированы, как достаточно вероятные для того, чтобы объявить предупреждение о селеопасной ситуации в регионе.

сели, методика прогноза, Центральный Кавказ

Methodology for the debris flows forecast in the Central Caucasus region and its approbation

I.B. Seinova¹, Y.B. Andreev¹, I.N. Krylenko¹, E.M. Bogachenko²,
I.G. Feoktistova²

¹Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia, country,
e-mail seynova@gmail.com

²Kabardino-Balkarian Hydrometeorological Department, Russia, Nalchik,
irish_fg@gmail.com

The current trend of activation of debris flow processes in the Central Caucasus mountains is associated with intensive energy and mass exchange at the stage of degradation of glaciation. Debris flows are triggered by the complex of glacio-climatic factors. The method of developing a short-term forecast of debris flows of glacial genesis based on the interpretation of observations data from 1951 to 1995 is considered. Approbation of the method by comparing the calculated data with the direct observations of debris flows during the following 1996-2017 has showed that more than 70% of them were identified as likely enough to declare a warning about a debris flow hazard in the region.

debris flows, methods of forecast, Central Caucasus

Введение

Высокогорная зона Кавказа достаточно хорошо освоена. Здесь находятся крупные населённые пункты, туристические и альпинистские объекты, гостиницы и города, дороги и коммуникации. Инфраструктура этой территории подвержена риску



воздействия стихийно-разрушительных процессов, характерных для горных систем. Сели наносят ощутимый ущерб не только в зоне их образования, но и далеко за её пределами. По руслам крупных рек, основных магистралей освоения гор, катастрофические потоки достигали равнинных территорий с развитым сельским хозяйством и урбанизацией в 1953, 1967, 1983, 2000, 2017 гг. Опыт применения селезащитных сооружений не обеспечивал должным образом безопасности населения, поэтому проблема прогнозирования селевых ситуаций актуальна.

Характеристика района исследования

Авторские наблюдения за режимом селеформирования проводились в типичных для Центрального Кавказа условиях высокогорья верховьев реки Баксан с его крупными притоками Чегем и Черек, автономно достигающих предгорных равнин. Истоки Баксана питают ледники наивысшей вершины Европы, вулкана Эльбрус (5642 м). Разветвленная сеть из 112 селевых притоков этих крупных рек, суммарной площадью 2100 км², с оледенением 550 км², дренирует северный склон Главного Кавказского хребта с высотами от 4000 до 5000 м. В условиях тектонически активного рельефа с оледенением создаются благоприятные предпосылки для образования селей с огромным энергетическим потенциалом. Их зарождение происходит в перигляциальной зоне у края ледников, в пределах высотного диапазона 3500-2200 м, где протекает постоянное пополнение потенциальных селевых очагов твердой, жидкой и ледовой субстанциями. Процессы разрушения моренно-ледниковых комплексов под воздействием внутренних гидротермических и внешних метеорологических факторов являются причиной формирования катастрофических селей на Центральном Кавказе.

Разработка методики краткосрочного регионального прогноза селей

Общая концепция методологии краткосрочного регионального прогноза селей

Методика прогноза представляет собой способ решения задачи при использовании информации о физико-географических и гидрометеорологических условиях, с целью выявления комплекса селеформирующих факторов, значимых в территориальных пределах рассматриваемого региона. При формировании селей в зоне оледенения учитывается совместное воздействие температуры и осадков.

В настоящей работе использован детерминировано – стохастический подход, при котором разработка математических алгоритмов базируется на логистическом анализе физической природы селевых процессов в пределах рассматриваемого региона.

Процесс разработки состоит из этапов: 1 - ретроспекции, 2 - диагноза и 3 – проспекции.

На этапе ретроспекции (1) осуществляется сбор и анализ данных о прошедших селевых потоках, обобщение и оценка условий и факторов их образования. В результате составляются кадастры селевых бассейнов, выполняется картирование территории по активности селепроявлений и формируется банк данных. Результирующим итогом является пространственно-временная характеристика селеопасности территории с информацией о морфометрических данных селевых бассейнов, датах схода селей, генезисе и количественной оценки их параметров.

Как пример, представлен фрагмент карты селевых бассейнов верховьев р. Баксан в масштабе 1:200 000 (рис.1).

На этапе диагноза (2), опираясь на представления, полученные при детерминированном анализе фактического материала, разрабатываются прогнозные функции и модели, адекватные объекту исследования.

На заключительном этапе (3) выполняется прогноз и его последующая проверка.

Основой краткосрочного регионального прогноза селей на Центральном Кавказе и проверки его оправданности послужил собранный и систематизированный авторами с 1951 г. по 2017 гг. ряд наблюдений за селевыми процессами. Для интерпретации метеорологических факторов селевых ситуаций за 66 лет наблюдений использованы



данные метеорологической станции Терскोल (2100 м) [Сейнова, Татьяна 1977; Андреев, Сейнова, 1984; Сейнова, Золотарёв, 2001; Черноморец, 2005].

В течении 66 лет в бассейне Баксана было зафиксировано 45 селеопасных ситуаций, во время которых по его притокам сошло 440 селевых потоков. Массовые катастрофы, от 30 до 100 случаев схода селей на Центральном Кавказе происходили в 1953, 1966, 1967, 1975, 1977, 1983, 1987, 2002 годах. Локальный сход селей, одновременно на 10-20 притоках, отмечался в 1970, 1979, 1984, 1985, 1995, 2001, 2003, 2005 гг. Аналитический обзор ситуаций показал, что преобладающим являлся гляцио-ливневой генезис, когда при различных сочетаниях метеопредикторов предшествовавшего селевым процессам влажно-температурного режима погоды, ливень служил заключительным триггером.

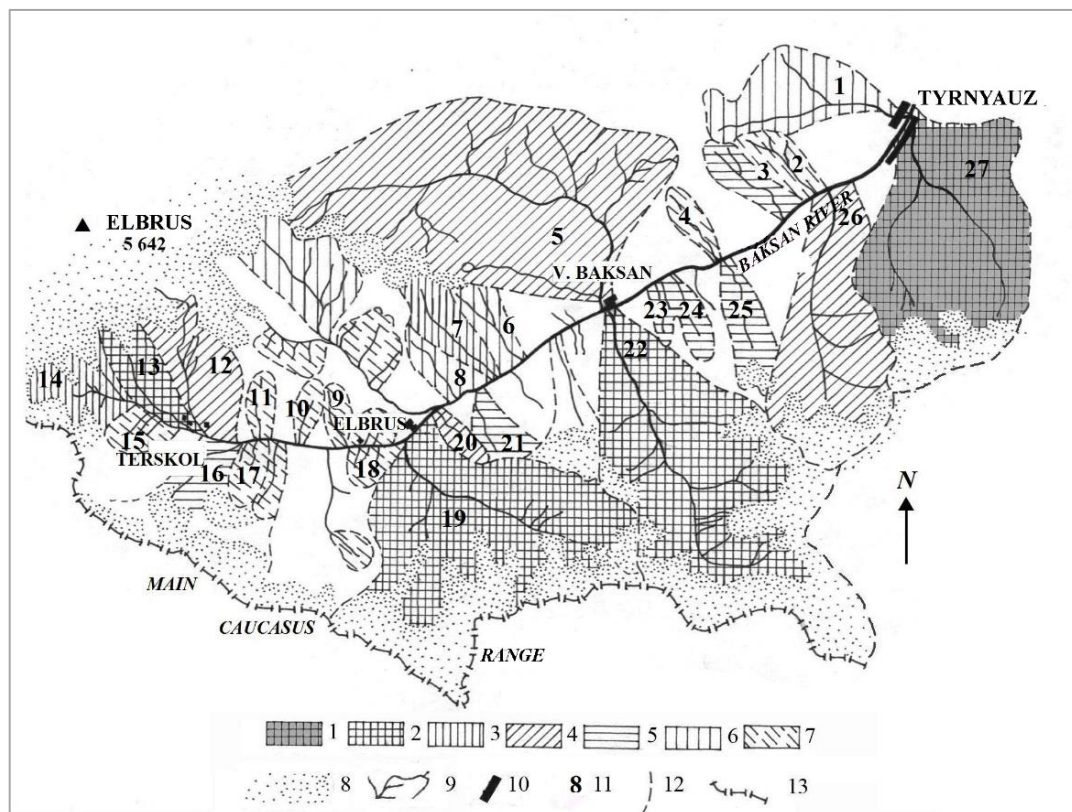


Рис. 1. Карта селеопасных бассейнов – притоков р. Баксан. 1–7: максимальные объемы селей (тыс. м³): 1. >5000, 2. 5000-1000, 3. 1000 - 500, 4. 500-200, 5. 200-100, 6. 100-50, 7. 50-10; 8 – ледники, 9 – реки, 10 – населенные пункты.

Селепроявлениям гляциального генезиса предшествовало накопление значительных объемов талых ледниковых вод за период экстремально жаркой погоды в течении от 4 до 11 дней. Среди них самыми катастрофичными были последствия обвальных процессов морены в верховьях р. Герхожансу 19 июля 2000 г. и прорыва озера Башкара 1 сентября 2017 г.

Имеющийся 66-летний ряд наблюдений, является статистически достаточным для установления оптимальных значений метеопредикторов, причинно-следственных и коррелятивных связей, необходимых для разработки и проверки функции прогноза.

Определение критических значений метеопараметров

Важнейшей задачей этапа диагностирования является установление диапазона количественных значений метеопараметров, значимых для возникновения и развития селеопасных ситуаций в условиях гляциальной зоны Центрального Кавказа.



Определен оптимальный диапазон количественных критериев комплекса метеопредикторов, характеризующих: а) степень предварительной подготовки потенциального селевого массива (1-3), б) импульс селеформирования (4-5).

Критические показатели с индексом «сг» устанавливают пограничное состояние селеопасных и неселеопасных ситуаций:

1. Сумма среднесуточных температур воздуха от даты устойчивого перехода через 0 °C до даты схода селя: $1450 \geq Q \geq Q_{cr}$, $Q_{cr} = 670$ °C;
2. Сумма осадков за тот же период времени: $540 \geq W \geq W_{cr}$, ($W_{cr} = 180$ мм);
3. Сумма температур воздуха за шесть суток до даты схода селя:
 $105 \geq \sum_1^6 T \geq \sum_1^6 T_{cr}$ ($\sum_1^6 T_{cr} = 72$ °C)
4. Прогнозное значение количества осадков X суточной заблаговременности: $70 \geq X \geq X_{cr}$ ($X_{cr} \geq 20$ мм)
5. Прогнозное значение суточной температуры воздуха: $14 \geq T \geq T_{cr}$, ($T_{cr} = 9$ °C).

Фактическими наблюдениями установлен сход селей при превышении порогового значения критических параметров к единому моменту времени.

Разработка прогнозной функции

Выделенная 5-мерная область вероятного схода селей является основой для построения функции прогноза. Для построения методики предприняты следующие шаги:

1) перемножение метеопараметров - для квазифизического описания реализации «потенциала» схода селя при совместном кратковременном воздействии температуры и осадков. Произведение этих параметров представляет собой одну из разновидностей гидротермического показателя, широко используемого в климатологии.

2) суммирование суточных значений метеопараметров за некоторый текущий период заблаговременности - для описания условий подготовки ПСМ к сходу селя.

Обобщенное описание процесса селеформирования представлено в виде аналоговой формулы, зависимой от взятых параметров и действительной в критической области:

$$F = AXT + BQW + C, \quad (1)$$

где коэффициенты A , B , C – некоторые постоянные. Для их вычисления используются:

1. Критические значения метеофакторов, определяющих граничные условия селевых и неселевых ситуаций. Их величины X_{cr} , T_{cr} , Q_{cr} , W_{cr} определены детерминированным способом по данным фактических наблюдений.

2. значения весов каждого метеофактора P_X , P_T , P_Q , P_W , или их совместного влияния на сход селей P_{XT} , P_{QW} , $P_{\sum_1^6 T}$. Вес факторов определялся как относительная частота случаев схода селей к общему числу суточных наблюдений в используемом для построения прогнозной формулы диапазоне оптимальных значений метеопараметров.

$$P_i = N_r / N_i \quad (2)$$

где N_r - число фактических случаев с известными датами схода селей при достижении или превышении 5 метеопредикторов.

Получены следующие величины весов или оправдываемости метеофакторов за период наблюдений с 1951 - 2005 гг.:

$$P_X=0,11; P_T=0,05; P_Q=0,14; P_W=0,6; P_{XT}=0,27; P_{QW}=0,07; P_{\sum_1^6 T} = 0,76; P_{XTQW}=0,53$$

Для вычисления коэффициентов A , B , C требуются значения весов каждого метеофактора или их совместного влияния на сход селей в некоторой окрестности значимых параметров, определяемой 90% доверительными интервалами.



$$A = \frac{P_{XT}}{X_{op} T_{op}} \quad B = \frac{P_{QW}}{Q_{op} W_{op}} \quad C = \frac{P_{\sum_1^6 T}}{\sum_1^6 T_{op}} \quad (3)$$

Впервые формула прогноза селей была получена по данным наблюдений 1951 – 1983 гг. [Андреев, Сейнова, 1984]:

$$F = 7,15 \cdot 10^{-3} XT + 2,4 \cdot 10^{-6} QW \quad (4)$$

На базе данных наблюдений за 1951 - 1995г. формула была преобразована и упрощена.

Принята окончательная версия формулы:

$$F = 8 \cdot 10^{-4} XT + 10^{-2} \sum_1^6 T \quad (5)$$

где X – прогнозируемое количество осадков, мм; T – прогнозируемая температура воздуха в день с осадками, °C; $\sum_1^6 T$ – сумма температур за предшествующий 6-суточный интервал, °C.

Прогнозирование вероятности схода селей в высокогорном регионе Центрального Кавказа осуществляется на основании метеорологического прогноза суточной заблаговременности при расчетной величине прогнозной функции по формуле 5. Прогноз схода селей выдается при превышении порогового значения прогнозной функции F_{cr} :

$$F \geq F_{cr}, F_{cr} \geq 1 \quad (6)$$

Апробация методики

Оправдываемость методики (Φ) определялась как отношение правильно предсказанных случаев схода селей к числу прогнозируемых по формуле при проверке на статистическом материале (табл.1).

При оценке за многолетний период наблюдений получены величины:

$\Phi=77\%$ - за 1953-1995 гг. - теоретическая оценка на зависимом материале,

$\Phi=81\%$ - за 1995-2017 гг.- период проверки функции на независимых данных,

$\Phi=79\%$ - средняя оправдываемость функции прогноза за 1953-2017 гг.

В результате статистической обработки многолетнего ряда получено, что значения прогнозной функции квазинормально распределены вокруг средней величины, равной 1,16 с отклонением в $\pm 0,17$. То есть удалось установить, что тренд селевой активности за период наблюдений был практически нулевым при том, что природные циклы изменений метеопредикторов селеформирования проявлялись с периодичностью порядка 16–17 лет [Андреев и др., 2009]. Это открывает возможности для корректировки методики с использованием выборок небольшого объема, что необходимо провести для текущего периода 21 века.

Следует отметить, что представленная в итоге расчетная формула прогноза селей была выведена в результате статистической обработки массива данных от единичных до массовых случаев единовременных селепроявлений в течении многолетнего ряда наблюдений. Она отражает результат, усредненный для всех случаев схода селей, имевших место в пределах региона с наличием оледенения, что не предполагает учета индивидуальных отклонений в конкретных бассейнах. По этой причине не было выдано предупреждение о сходе селей с катастрофическими последствиями для населения 14 августа и 1 сентября 2017 года.

Следующий уровень усовершенствования прогноза предполагает использование локальных детерминированных моделей. Их разработка связана с учетом совокупной массы факторов и процессов селеформирования в конкретных очагах зарождения, что в настоящее время не осуществимо. Для своевременного прогноза грядущих катастроф необходима организация службы контроля и наблюдений за состоянием конкретных



селевых очагов на период селеопасной ситуации, временная продолжительность которой устанавливается по разработанной методике регионального прогноза. Следует организовать проведение мониторинга в 2018 году в гляциальных очагах зарождения катастрофических селей 2017 года, в связи с вероятностью повторного проявления.

Таблица 1. Проверка прогнозной функции.

№	Даты ситуаций с критическими значениями метеофакторов	Критические значения					Функция прогноза	Факт схода селя	Совпадение
		20 мм	9°C	72 °C	180 мм	670 °C			
		X	T	$\sum_{i=1}^6 T$	W	Q	F		
1.	15.07.95	34,2	11,5	72,1	238	669	1,03	1л	+
2.	29.07.95	25,4	9,7	72,6	318	833	0,92	0	+
3.	12.08.95	38,3	10,4	73,0	397	1011	1,05	1л	+
4.	19.07.96	20,0	12,0	88,4	225	821	1,076	0	-
5.	24.07.96	22,5	12,4	74,5	223	884	0,97	0	+
6.	25.07.96	36,3	9,5	72,0	260	893	1,0	1л	+
7.	28.07.96	23,1	10,6	72,4	359	916	0,94	0	+
8.	22.08.96	29,5	10,2	73,1	457	1235	0,97	0	+
9.	04.07.97	20,1	10,6	75,5	193	574	0,92	0	+
10.	01.09.97	21,1	11,6	79,7	324	1292	0,99	0	+
11.	01.09.98	38,7	11,5	92,9	281	1451	1,28	1л	+
12.	06.08.99	45,4	12,9	96,1	300	938	1,43	1м	+
13.	19.08.99	3,3	15,6	88,9	318	1120	0,93	1л	-
14.	19.07.2000	9,2	15,4	104,7	265	717	1,16	1л	+
15.	20.07.00	13,7	16,9	105,1	280	732	1,24	1л	+
16.	08-09.07.01	42,1	9,4	68,0	405	665	1,15	1л	+
17.	31.07.01	39,0	16,2	100,7	481	981	1,5	1м	+-
18.	05.08.03	37,0	13,0	76,1	344	909	1,15	0	-
19.	12.08.04	46,8	9,9	76,3	443	1045	1,13	0	-
20.	13.06.05	21,0	13,2	71,1	413	970	0,93	0	+
21.	11.08.06	0,5	16,7	105	325	1134	1,05	1е	+
22.	2-3.08.07	14,0	13,7	85,7	330	1045	1,01	1е	+
23.	14.08.07	20	12,3	83,2	372	1207	1,03	0	-
24.	15.07.08	45,9	11,0	79,1	226	587	1,19	1л	+
25.	13.07.10	10,4	14,5	100,5	221	841	1,09	1е	+
26.	15.07.11	25,0	14,6	80,4	252	747	1,12	1л	+
27.	3.08.11	17,0	15,7	106,1	296	1043	1,14	1е.	+
28.	29.07.12	15,0	13,7	94,0	330	1076	1,10	1л	+
29.	20.08.14	29,0	13,8	92,8	515	1359	1,23	1е	+
30.	22.07.16	35,0	14,4	84,2	438	1093	1,26	1л	+
31.	14.08.17	1,0	15,5	96,2	380	1192	1,0	1е	+
32.	01.09.17	34,0	12,0	75,3	540	1480	1,13	1л	+

Обозначения в таблице: 0 – отсутствие селя; 0,5 – информационная неопределенность; 1 – сход селя (1е – единичный, от 1-го до 10 случаев, 1л – локальный, от 10 до 20 случаев, 1м – массовый, больше, чем 20).

Заключение

Основой авторской методики регионального прогноза селей является близкий по продолжительности к генеральному 66-летний ряд фактических наблюдений за сходом селей. Апробация расчетной формулы прогноза селевых ситуаций в регионе



Центрального Кавказа с оледенением показала оправдываемость более 77%. Приемлемый результат достигнут с помощью детерминантного анализа введения критериев метеопредикторов, значимых в отношении степени подготовки к селевому процессу, в сочетании с методом статистической обработки исходного материала. Настоящая методика может быть рекомендована для прогнозирования селей в Кабардино - Балкарском Центре Гидрометслужбы.

Список литературы

- Андреев Ю.Б., Сейнова И.Б. (1984). Модельно-статистический подход к разработке прогноза ливневых селей на примере высокогорного Центрального Кавказа. Вестник Моск. ун-та, сер. 5, география, 4: 86-92.
- Андреев Ю.Б., Божинский А.Н., Сейнова И.Б. (2009). Анализ многолетнего хода значений функции краткосрочного фонового прогноза высокогорных гляцио-ливневых селей Северного Кавказа. Материалы международной конференции «Гляциология в начале XXI века» к столетию Г.К.Тушинского. М., Университетская книга, 92-97.
- Сейнова И.Б., Татьян Л.В. (1977). Критические значения метеорологических параметров селеопасных ситуаций высокогорного района Центрального Кавказа. Метеорология и гидрология, 12: 74-82.
- Сейнова И.Б. (2008). Климатические и гляциальные условия формирования селей Центрального Кавказа на стадии Малого ледникового периода. Труды Межд. конф. «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита». Пятигорск, 2008, 121-125.
- Черноморец С.С. (2005). Селевые очаги до и после катастроф. М., Научный мир, 184 с.