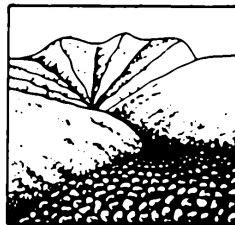


Труды Международной конференции

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Пятигорск, Россия, 22-29 сентября 2008 г.



Ответственный редактор
С.С. Черноморец

Институт «Севкавгипроводхоз»
Пятигорск 2008

Proceedings of the International Conference

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Pyatigorsk, Russia, 22-29 September 2008



Edited by
S.S. Chernomorets

Sevkavgirovodkhoz Institute
Pyatigorsk 2008

УДК 551.311.8
ББК 26.823

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды Международной конференции. Пятигорск, Россия, 22-29 сентября 2008 г. – Отв. ред. С.С. Черноморец. – Пятигорск: Институт «Севкавгипроводхоз», 2008, 396 с.

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the International Conference. Pyatigorsk, Russia, 22-29 September 2008. – Ed. by S.S. Chernomorets. – Pyatigorsk: Sevkavgirovodkhoz Institute, 2008, 396 p.

Ответственный редактор: С.С. Черноморец
Edited by S.S. Chernomorets

Редакция английских аннотаций: К. Маттар и О. Тутубалина
English versions of abstracts edited by K. Mattar and O. Tutubalina

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 978-5-91266-010-8

© Селевая ассоциация
© Институт «Севкавгипроводхоз»

© Debris Flow Association
© Sevkavgirovodkhoz Institute



Метод фонового прогнозирования селевой опасности на Центральном Кавказе и результаты его апробирования

А.Х. Аджиев¹, Н.В. Кондратьева¹, О.А. Кумукова¹, И.Б. Сейнова¹, Е.М. Богаченко²

¹*Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия*

²*Кабардино-Балкарский центр по гидрометеорологии и мониторингу природной среды, Нальчик, Россия*

Background forecasting for debris flow hazard in the Central Caucasus: method and application results

А.Н. Adzhiev¹, N.V. Kondratjeva¹, O.A. Kumukova¹, I.B. Seynova¹, E.M. Bogachenko²

¹*High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia*

²*Kabardino-Balkarian Centre for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Nalchik, Russia*

Модельно-статистический метод прогноза базируется на совместном анализе метеорологических условий и случаев селепроявлений за 40 лет непрерывных наблюдений в долине репрезентативной для Центрального Кавказа р. Баксан. Метод дает возможность прогнозировать селевую опасность в регионе на базе локального прогноза суточной температуры воздуха и суммы осадков с учетом предыстории суммарного увлажнения и накопления температур за теплый период. Проверка метода на независимом материале в течении 20 последующих после его первоначальной разработки лет показала оправдываемость более 75%. В настоящее время принято решение рекомендовать метод к использованию гидрометслужбой России в целях оперативного прогнозирования селевой опасности на Центральном Кавказе. В статье описывается оригинальный метод и дискусируются результаты его проверки на независимом материале.

The model-statistical method for debris flow forecast is based on the combined analysis of meteorological conditions and records of debris flow events during the 40 years of permanent monitoring in the Baksan River valley, which is representative of the Central Caucasus. This method makes it possible to forecast debris flow hazard in the region on the basis of local daily air temperature and daily precipitation forecasts and also taking into account data about the sum of precipitation and the sum of daily air temperatures during the warm period of that year. The forecast function was constructed on a basis of determination of critical values of each of the specified meteorological parameters and their weights in a process of debris flows formation. In the event the forecast function exceeded a certain critical value, then an alert of debris flow hazard may be required. The verification of this method during the 20 years after its original presentation shows that the prediction was correct in more than 75% of cases. Because of this success, the Russian Hydrometeorological Survey made an official decision recently to recommend this method be used for the short-term forecast of debris flow hazard in the Central Caucasus region. The original method and the results of its examination with the independent data are described in this paper.

1 Введение

Разработана методика фонового прогноза высокогорных гляцио-ливневых селей на основе аналогового физико-статистического моделирования. Принцип методики со-

стоит в приоритете совокупного влияния метеопараметров (температуры и осадков) в формуле прогноза по сравнению с их линейным эффектом. В результате получается более простой и достаточно эффективный метод прогноза, чем на основе обычного регрессионно-дискриминантного анализа.

2 Условия формирования селей в высокогорной зоне Центрального Кавказа (на примере Баксанской долины)

Высокогорная зона Главного Кавказского хребта является районом с высокой степенью селевой опасности. Условия формирования селей изучались здесь в период с 1953 по 2005 год в репрезентативном для этого района бассейне р. Баксан. За этот период по многочисленным притокам р. Баксан было зафиксировано около 400 случаев схода селевых потоков с выбросами от 10 тыс. м³ до 6 млн. м³. Такие масштабы селевых процессов предопределены высокой энергией рельефа и наличием значительного современного оледенения, под влиянием которого активизируются и усложняются условия их развития. Современные моренно-ледниковые комплексы являются потенциальной зоной зарождения наиболее катастрофических селей.

Очаги зарождения селей формируются на высоте порядка 3000 м над ур. м., в области моренных отложений, представляющих собой толщи рыхлообломочного материала мощностью до нескольких десятков метров с линзами и пластами «мертвого» льда, массивы многолетнемерзлых пород и каменных глетчеров. В жаркую погоду с периодами ливней, которые выпадают на большой высоте в жидком фазовом состоянии, происходит критическое обводнение обломочного материала талыми ледниковыми и дождевыми водами. В результате возникает селеопасная ситуация благоприятная для формирования селей сложного гляциально-ливневого генезиса.

3 Методика определения критических параметров селеопасной ситуации

Основой для разработки фонового прогноза селей послужил ряд многолетних наблюдений с 1953 по 2005 гг. за частотой схода селей и условиями их образования в типичной для Центральной части Главного Кавказского хребта высокогорном бассейне р. Баксан.

Выполнялась специальная выборка дат селеопасных ситуаций, метеорологическая обстановка которых с достаточной степенью достоверности фиксировалась на метеорологической станции «Терскол» (высота 2100 м над ур. м.). Период с 1953 по 1983 г., который является наиболее характерным за последнее столетие, послужил основой для определения критических значений метеорологических параметров селеопасных ситуаций и построения формулы краткосрочного прогноза схода селей гляцио-ливневого генезиса, ранее выполненных в работе И.Б. Сейновой и Е.А. Золотарева (2001).

По методу, предложенному в работах (Андреев, Сейнова, 1984; Сейнова, Золотарев, 2001) были определены критические значения пяти метеопредикторов по достижении или превышении нижнего предела которых возникала селеопасная ситуация в высокогорных районах Центрального Кавказа.

Момент зарождения селя определяется термодинамическими параметрами ливня, который служит импульсом к сходу высокогорных селей. Эти параметры включают в себя:

1. Суточное количество осадков (мм):
 $x_{кр} = 20$ мм
2. Температуру воздуха в день с осадками ($^{\circ}$ C):
 $t_{кр} = 9,0^{\circ}$ C
3. При наборе положительных температур от даты устойчивого перехода суточной температуры воздуха через 0 к дате с интенсивным ливнем, $^{\circ}$ C:
 $h_{кр} = 670^{\circ}$ C
4. Сумме осадков за тот же период времени
 $w_{кр} = 180$ мм
5. Сумме суточных температур за шесть дней до схода селя

$$\sum_1^6 t_{\text{кр.}} = 72^{\circ}\text{C}$$

Для зарождения селя необходимо, чтобы все пять факторов (x , t , $\sum_1^6 t$, h , w) достигли критического уровня или превысили его к единому моменту времени.

Выделенная 5-мерная область наиболее вероятного схода селей является основой для построения функции прогноза.

Исходя из этой методики, на основе обработки 30-летнего ряда наблюдений (1953-1983 гг.) высокогорных ливневых селей в Баксанском ущелье на Центральном Кавказе (Сейнова, Золотарев, 2001), была получена нижеследующая формула прогноза:

$$F = 8 \cdot 10^{-4} xt + 10^{-2} \Sigma t_6 \quad (1)$$

где x - суточное количество осадков, мм; t – температура воздуха в день с осадками; Σt_6 – текущая сумма температур за 6 суток.

4 Практическое применение метода

Сели сходят при $F \geq 1$. Эта формула проверялась на практике по данным метеостанции «Терскол» (2100 м над ур. м.) в течение 21 года с 1984 по 2005 гг., показав оправдываемость краткосрочного прогноза около 80%, что говорит в пользу ее работоспособности. Хотя следует отметить, что для окончательной отработки формулы по статистическим критериям достоверности на уровне 0,90 требуется ряд не менее 60 лет.

Поскольку формула прогноза все-таки отражает усредненный результат, характерный для процессов массового схода, то недостающие 20% следует, вероятно, отнести на счет локального разброса орографических и метеорологических характеристик.

Разработанный нами метод краткосрочного фонового прогноза селей был апробирован в ГУ «Кабардино-Балкарский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

По данной методике были спрогнозированы сходы селей 15 июля и 12 августа 1995 г. и 25 июля 1996 г. Прогноз оправдался. В 2000 г. был заблаговременно спрогнозирован сход катастрофического селя по притоку Баксана р. Герхожансу. В 2006-2007 г.г. из 15 составленных по данному методу прогнозов схода селей на территории Кабардино-Балкарии оправдалось 13.

Для оценки успешности метода за период 2006-2007 гг. была составлена таблица сопряженности (табл. 1).

Табл. 1. Таблица сопряженности.

Прогноз	Наблюдалось		Сумма
	селеопасно	неселеопасно	
селеопасно	9 (n_{11})	2 (n_{12})	11 (n_{10})
неселеопасно	1 (n_{21})	3 (n_{22})	4 (n_{20})
сумма	10 (n_{01})	5 (n_{02})	15 (n_{00})

n_{11} – число оправдавшихся прогнозов с формулировкой «селеопасно»,

n_{12} – число неоправдавшихся прогнозов с формулировкой «селеопасно»,

n_{21} – число неоправдавшихся прогнозов с формулировкой «неселеопасно»,

n_{22} – число оправдавшихся прогнозов с формулировкой «неселеопасно»,

$n_{10} = n_{11} + n_{12}$ – число всех оцениваемых прогнозов с формулировкой «селеопасно»,

$n_{20} = n_{21} + n_{22}$ – число всех оцениваемых прогнозов с формулировкой «неселеопасно»,

$n_{01} = n_{11} + n_{21}$ – число всех оцениваемых случаев со сходом селей,

$n_{02} = n_{12} + n_{22}$ – число всех оцениваемых случаев без схода селей,

$n_{00} = n_{10} + n_{20} = n_{01} + n_{02}$ – число всех оцениваемых случаев.

Основными показателями для оценки селевой опасности являются:

Общая оправдываемость прогноза $P = (n_{11} + n_{22}) / n_{00} \times 100$

$$P = (9+3) / 15 \times 100 = 80 \%$$

Предупрежденность наличия явления, $P' = (n_{11} / n_{01}) \times 100$

$$P' = 9/10 \times 100 = 90 \%$$

Дополнительными показателями для оценки прогнозов селевой опасности являются:

Оправдываемость прогноза наличия явления $P_{ня} = (n_{11} / n_{10}) \times 100$

$$P_{ня} = (9 / 11) \times 100 = 82 \%$$

Оправдываемость отсутствия явления

$$P_{оя} = (n_{22} / n_{20}) \times 100$$

$$P_{оя} = (3 / 4) \times 100 = 75 \%$$

Предупрежденность отсутствия явления

$$P'_{оя} = (n_{22} / n_{02}) \times 100$$

$$P'_{оя} = (3 / 5) \times 100 = 60 \%$$

Критерий качества прогнозов Пирси – Обухова

$$T = (n_{11} / n_{01}) - (n_{12} / n_{02}) = (n_{22} / n_{02}) - (n_{21} / n_{01})$$

$$T = 0,7 = 0,7$$

Критерий надежности по Н.А. Багрову $H = \frac{U - U_0}{1 - U_0} = 0,52,$

где $U_0 = (m_1 + m_2) / n_{00} = 0,58,$ $U = (m_{11} + m_{22}) / n_{00} = 0,80$

$$m_1 = n_{10}n_{01} / n_{00} = 7,33, \quad m_2 = n_{20}n_{02} / n_{00} = 1,33$$

Ошибка риска метода: $\alpha = n_{21} / n_{01} = 0,1$

Ошибка страховки метода: $\beta = n_{12} / n_{02} = 0,4$

Критерий точности по А.М. Обухову: $Q = 1 - \alpha - \beta = 0,5$

По результатам расчетов можно сделать вывод, что испытываемый метод прогноза селей может приниматься в качестве основного, так как выполняются неравенства:

$P + P' > P_я + 100$, где $P_я$ - природная повторяемость случаев с явлениями в процентах;

критерий надежности по Н.А. Багрову $H > 0,5.$

Итоговые результаты оценки метода представлены в таблице 2.

Табл. 2. Прогнозы и их оправдываемость.

Дата	Всего прогнозов			Прогнозы с явлениями			Прогноз без явлений				
	Дано	Оправдываемость		Дано	Оправдываемость		Предупрежд.	Дано	Оправдываемость		Предупрежд.
		Кол-во	%		Кол-во	%			Кол-во	%	
2006–2007	15	12	80	11	9	82	90	4	3	75	60

5 Заключение

Практическая апробация метода фоновое прогнозирование селевой опасности показала его достаточно высокую оправдываемость и может успешно применяться на всей территории Центрального Кавказа.

Список литературы

- Андреев Ю.Б., Сейнова И.Б. Модельно-статистический подход к разработке прогноза ливневых селей на примере высокогорного Центрального Кавказа. – Вестник Московского ун-та, сер. 5, география, 1984, № 4, с. 86–92.
- Андреев Ю.Б., Трошкина Е.С. Методика статистического макрофизического моделирования условий лавинообразования. – Материалы гляциологических исследований, вып. 85, 1998, с. 165–169.
- Korn G.A., Korn T.M. Mathematical Handbook for scientists and engineers. New York, San-Francisco, Toronto, London, Sydney: McGraw-Hill Book Company, 1968.
- Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья. Москва: Научный мир, 2001. 204 с.