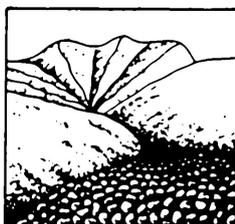


Труды Международной конференции

# **СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита**

---

Пятигорск, Россия, 22-29 сентября 2008 г.



Ответственный редактор  
С.С. Черноморец

---

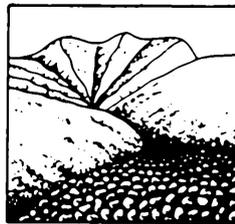
Институт «Севкавгипроводхоз»  
Пятигорск 2008

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



## Инверсионно-функциональная структура и кумулятивный механизм самовоспроизведения катастрофичности Геналдонского селя 2002 года

В. Л. Познанин

*Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов  
Министерства природных ресурсов и Российской академии наук, Москва, Россия*

## Inversion-functional structure and the cumulative mechanism of the catastrophic self-reproduction in the 2002 Genaldon debris flow

V.L. Poznanin

*Institute of Mineralogy, Geochemistry and the Crystal Chemistry of the Rare Elements of  
the Natural Resources Ministry and the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Впервые разработаны и изложены представления о внутреннем строении и функционировании элементов ледово-водо-каменного селя, возникшего при срыве ледника Колка в 2002 г. Установлено 3-хслойное строение потока с центральным положением ледяных блоков оптимального размера, глиссирующих по многослойной водо-грунтовой массе, которая при колебаниях давления циркулирует по контактам и порам в верхний, самый подвижный слой субтурбулентной массы. Статическая инверсионная неустойчивость вертикальной структуры потока при активной циркуляции жидкой массы в разных направлениях сменяется динамической устойчивостью высокоскоростного движения (60 м/с) гибкого ледяного тела с кинетической энергией ок.  $2 \cdot 10^{14}$  Дж. На срыв грунтовых масс с бортов объемом около 25 млн. м<sup>3</sup> тратится всего 1% этой энергии, около 22% – на разгон сорванных масс и только 1% - на внутреннее трение ламинарного в целом потока. Катастрофичность селя постоянно воспроизводится за счет действия кумулятивного механизма – мощных ударов ( $10^{14}$  Дж) лобовой волны потока высотой более 150 м по дну и бортам долины.

For the first time we develop and present a hypothesis about the internal structure and functioning of the elements of the ice-water - rock debris flow created by the Kolka glacier failure in 2002. We establish a three-layered structure of the flow with the central position of ice blocks of the optimum size, gliding on a multilayered water-debris mass which, with fluctuations of pressure, circulates upwards through contacts and pores towards the most mobile layer of sub-turbulent weight. If active circulation of liquid masses in different directions is present, the static inversional instability of the vertical structure of the flow is replaced by a dynamic stability of a high-speed (60 m/s) movement of a flexible ice body with kinetic energy ca.  $2 \cdot 10^{14}$  J. Failure of debris masses (about 25 million m<sup>3</sup> in volume) from the banks requires only 1% of this energy, about 22 % is needed for the dispersal of the broken mass and only 1% is needed for the internal friction of the generally laminar flow. The catastrophic nature of the debris flow is continually reproduced due to action of a cumulative mechanism: powerful impacts ( $10^{14}$  J) of a frontal wave of the flow (over 150 m high) against the valley bed and valley sides.

В публикациях, посвященных грандиозной Геналдонской селевой катастрофе 2002 г., весьма сжато излагаются сведения о движении потока, который со скоростью 50-90 м/с прокатился по долине в виде гигантской массы льда, воды и камней, уничтожая лес на склонах и сдирая рыхлые отложения крупными волнами высотой до 100-150 м (Петраков и др., 2004; Рототаева и др., 2005; Черноморец, 2005; Васьков, 2006 и др.).

В указанных и целом ряде других работ по Колке приведены некоторые дополнительные сведения о движении селя, полученные по следам катастрофы, но, к сожалению, отсутствуют данные о внутреннем устройстве такого потока, его элементах, их взаимном расположении и взаимодействии, т.е. о наиболее важных и сложных вопросах функциональной структуры, динамики, механизме самовоспроизведения катастрофичности потока, его энергетике, силовом и эрозионном воздействии на борта долины. Целый ряд поставленных вопросов поддается количественной оценке на основе опубликованных исходных параметров, установленных по следам катастрофы, что позволяет применить физические приемы расчетов интересующих нас селевых аспектов проблемы.

Значительную часть ответов на сформулированные выше вопросы, заполняющие существенный пробел в исследовании ледниковых катастроф, можно получить на основе данных о срыве ледника Колка, его динамической трансформации и механизме формирования высокоскоростного ледово-водо-каменного потока (Познанин, Геворкян, 2007).

Срыв ледника Колка был вызван потерей сцепления с ложем за счет мощных гидравлических ударов в пористом слое и представлял собой ускоренное соскальзывание оторвавшейся части ледникового тела (около 80 млн м<sup>3</sup>) справа-налево-вниз с ротационным разрушением селевого очага и опорожнением до 3 млн м<sup>3</sup> воды вплоть до скользящего удара о левую боковую морену со скоростью более 3 м/с. Разгон ледникового тела по водонасыщенной массе пористого слоя, которая выжималась перед фронтом ледника с расходом до 100 тыс. м<sup>3</sup>/с и более, представлял собой стремительное глассирование с устойчивым возрастанием скорости на крутом участке русла до 35-60 м/с. Разгон ледникового тела сопровождался инерционным сбросом поверхностного потока воды вправо в районе моренного треугольника и ледника Майли, а также разламыванием ледника на разномасштабные блоки, чему способствовали неровности русла и потеря опоры на левом борту цирка. Это вызвало плавный поворот огромной массы льда, которая, имея скорость около 60 м/с, догнала селевой вал и сорвалась с него в виде грандиозного скользящего удара без потери скорости при сохранении глассирующего механизма движения. Ледниковое тело при высокоскоростном скользящем ударе о дно долины приобрело способность к самовоспроизведению внутренней структуры, которая представляла собой гибкий вытянутый объем ледяных блоков, насыщенный циркулирующей по контактам водо-грунтовой массой, окруженный вязкой грязекаменной оболочкой и способный сохранять высокоскоростной глассирующий механизм движения потока.

Высокоскоростное движение ледово-водо-каменного селя (50–60 м/с) характеризуется повышенной устойчивостью за счет оболочечного строения потока, в центральной части которого (гибком ядре) концентрируются ледяные блоки оптимального размера объемом около 50 тыс. м<sup>3</sup>, окруженные цепочками менее крупных блоков, защищающих динамическое ядро селя от внешних воздействий.

Вертикальная статическая структура селевого потока имеет трехслойное строение. Снизу на грунтовой основе залегает многослойная, но маломощная (до 5% объема) масса различных по динамическим свойствам водо-грунтовых слоев, на которых расположен второй – основной по объему (около 80%) слой подвижных ледяных блоков – главный носитель количества движения и стабилизатор функциональной устойчивости потока. Верхний слой, занимающий около 15%, представлен селевой массой растворенного воздуха, воды, ледяного крошева и горных пород – он обеспечивает связь с нижним слоем. Однако различия в плотности вещества слоев определяют инверсионную неустойчивость такой структуры в статическом состоянии.

Инверсионная неустойчивость формирующегося потока сменяется устойчивостью при возрастающей скорости селя с активной миграцией, перетеканием и выдавливанием водо-грунтовой массы по контактам между ледяными блоками по порам и карверам в любом направлении. Циркуляция массы играет роль главного компенсатора колебаний, скачков давления, ударов и разворотов любых ограниченных перемещений ледяных блоков. Водо-грунтовая многослойная масса нижнего яруса испытывает гигантские перепады давления, но имея минимальную скорость (до 10 м/с) периодически по порам выдавливается вверх, где самый подвижный абсолютно слой (более 60 м/с)

селевой субтурбулентной массы регулирует компактность основного тела и внешней формы.

Энергетическое состояние потока в зоне транзита характеризуется огромными различиями в количестве потенциальной и кинетической энергии селя – 80 и 20 % соответственно, что обусловлено ламинарной структурой потока в целом. Кинетическая энергия селя при средней скорости движения потока 60 м/с возрастает вниз по руслу от  $1,61 \cdot 10^{14}$  до  $2,09 \cdot 10^{14}$  Дж за счет ее накопления при эрозионном срыве грунтовых масс с бортов ( $0,25 \cdot 10^{13}$  Дж) и разгона этих масс до средней скорости селя ( $0,46 \cdot 10^{14}$  Дж). Остаток кинетической энергии – 2 млн. МДж, представляющий затраты на трение потока, эквивалентен таянию всего 8 тыс м<sup>3</sup> льда, что в 100 раз меньше теплового воздействия на лед захваченных потоком масс грунта с температурой +3 °С.

Огромная разница в потенциальной и кинетической энергиях потока ( $0,8 \cdot 10^{15}$  Дж) служит источником питания кумулятивного механизма самовоспроизведения катастрофичности селевого потока. Механизм представляет собой периодические кумулятивные удары лобовой волны селя высотой 150–170 м с энергией  $0,5–0,8 \cdot 10^{14}$  Дж, что является реализацией динамического давления гибкого ледяного ядра на фронтальную часть с периодическим выделением (выбросом) избытка потенциальной энергии, которая расходуется в процессе движения потока порционно – в виде концентрированных силовых воздействий на русло и борта долины.

#### *Список литературы*

- Васьков И.М. Возможные признаки и критерии образования катастрофических обвалов. – Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах. Доклады Международной конференции. Владикавказ–Москва, 23-26 июня 2004 г. Владикавказ: Олимп, 2006, с. 80–91.
- Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. По следам Геналдонской катастрофы: год спустя. – Криосфера Земли, т. VIII, № 1, 2004, с. 29–39.
- Познанин В.Л., Геворкян С.Г. Импактный механизм подготовки ледника Колка к селевой катастрофе: физические процессы при крупных обвалах. – Криосфера Земли, т. XI, № 2, 2007, с. 84–91.
- Рототаева О.В., Котляков В.М., Носенко Г.А., Хмелевский И.Ф., Чернов Р.А. Исторические данные о подвижках ледников на Северном Кавказе и Кармадонская катастрофа 2002 г. – Материалы гляциологических исследований, вып. 98, 2005, с. 136–145.
- Черноморец С.С. Селевые очаги до и после катастроф. Москва: Научный мир, 2005, 184 с.