

## Моделирование селевого потока при сходе ледника Колка в 2002 году

© 2010. И. В. Галушкин<sup>1</sup>, нач. отдела, Е. Ю. Галушкина<sup>2</sup>, к.г.-м.н., ст. преподаватель,

<sup>1</sup> ООО «Энергопроекттехнология»,

<sup>2</sup> Северо-Кавказский горно-металлургический институт,  
e-mail: ig\_geo@mail.ru; EVA@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы моделирования селевого потока во время схода ледника Колка в 2002 г., проведено его сравнение с событиями 1902 г. Приведены результаты моделирования селевого потока по двум методикам: вероятностной и количественной. Определены параметры селя, при которых он достигнет ближайшего населенного пункта с. Гизель.

The article deals with modelling mudflow of Kolka Glacier avalanching in 2002. It is compared with the event that took place in 1902. For modeling mudflow two methods were used: probabilistic and quantitative. The mudflow characteristics necessary for the mudflow's reaching Gizel settlement were calculated.

Ключевые слова: ледник Колка, р. Геналдон, с. Гизель, селевой поток, моделирование

Key words: Kolka Glacier, the Genaldon River, Gizel settlement, mudflow, modeling

Моделирование природных процессов в некоторых случаях является единственным способом изучения явлений, характеристики которых не зафиксированы, или отсутствуют данные прямых наблюдений. Этот вид исследований применяется также при прогнозе природных геоэкологических процессов, описании сценариев их протекания и для разработки защитных инженерно-экологических мероприятий.

Именно таким случаем является катастрофический сход ледника Колка в Горной Осетии в 2002 г. [1]. Несмотря на значительные усилия, приложенные к изучению этого явления [2], многие вопросы являются спорными либо недостаточно изученными. Одним из таких является описание характера протекания события.

Ледник Колка отнесён [3] к пульсирующему типу, хотя причины большинства событий (в т. ч. и 2002 г.) однозначно не установлены [4]. Ледник многократно выдвигался из своего ложа, большинство подвижек носило катастрофический характер [5, 6]. Не стал исключением и 2002 г., когда каменно-ледовые массы, оставляя на бортах ущелья следы до 300 м высотой, устремились вниз по долине. Через 17 км масса объёмом 110 млн. м<sup>3</sup> была остановлена тесниной Скалистого хребта (рис. 1), а вниз по долине устремился селевой поток (рис. 2), особенностью которого явился не только редкий генезис, но и наличие

значительного количества окатанных глыб льда. В первые дни после катастрофы была произведена съёмка селевых отложений, которая позволила осветить некоторые факты события. Эти данные были использованы на стадии обработки исходных данных и заверки результатов моделирования.

Моделирование отдельных параметров селевого потока катастрофического схода ледника Колка в 2002 г. необходимо для решения следующих как научных, так и практических вопросов:

- оценки состояния и картирования зоны поражения селевого потока 2002 г.;



Рис. 1. Кармадонская котловина. Отложение ледово-каменных масс. Фото Галушкина И.В.



Рис. 2. Селевой поток ниже Кармадонских ворот

– определения параметров селевого потока 2002 г. и установления зоны причинённого экологического ущерба;

– определения параметров, при которых селевой поток способен достичь с. Гизель, и размера зоны вероятного поражения населённого пункта.

Для получения более достоверной информации текущее событие было сопоставлено с аналогичным событием 1902 г. [7].

Основа моделирования – 3D модель рельефа. Векторная графика сначала была переведена в TIN-модель, а затем в модель GRID с ячейками размером 2, 5 и 25 метров. Каждая ячейка при этом описывает определённую усреднённую высоту для зоны своего покрытия.

Для решения поставленных задач выбрано моделирование двух типов: вероятностное и количественное. На основе вероятностной методики определяются параметры вероятного события схода ледово-каменных масс с верховий р. Геналдон, при которых поражающие факторы могут достичь с. Гизель, а также зону вероятного поражения населённого пункта, представляющего прямую экологическую угрозу для его жителей. На основе количественной методики решения обратной задачи определены параметры селевого потока.

Технология вероятностного моделирования разработана Цюрихским университетом как модуль ArcINFO v.8.3 и на основе модели местности описывает зоны распространения вещества при его движении по рельефу. Модель работает на основе GRIDa и в условных единицах определяет вероятность заполнения той или иной ячейки.

Исходными данными для моделирования, кроме модели района, является зона «старта»

процесса. Она определена по космическому снимку высокого разрешения, выделена как полигон, который в дальнейшем также переведён в GRID.

На процесс оказывают влияние два пространственных фактора, располагающиеся в зонах обрыва ледово-каменных масс и зоне собственно тела ледника Колка. Соответственно было построено две модели: первая – для зоны обрушения, вторая – для комплекса «зона обрушения плюс тело ледника Колка». Результаты сравнительного анализа показали преимущества второй модели, которая и была применена в дальнейших расчётах. При выборе пространственного разрешения GRIDa использована модель с размером ячейки 25 м как наиболее корректная для описания процесса. Как показали опыты, такая точность является достаточной и оптимальной для решения поставленных задач.

Сам процесс моделирования проводится в программе ArcINFO v.8.3 на основе выше описанного модуля. В процессе моделирования создаются вспомогательные данные, сглаженная модель рельефа, коды направлений, направления в градусах, высоты между зоной старта и расчетным гридом и т. д.

Далее на основе вероятностных характеристик модели и на количественных характеристиках предыдущих событий была проведена интерполяция по системе «вероятность – расстояние – объём» и получены количественные характеристики. При этом потенциальное событие, по поставленным условиям, должно было достичь с. Гизель. Составлен график распределения объёма, расстояния от ледника Колка и вероятности достижения с. Гизель. В полученных данных имелся пробел в виде объёма на рассчитываемое событие. При этом параметр «вероятность» умножен на 100, с целью получения значений одного порядка.

Согласно исследованиям [7] обвал 1902 г. имел объём 53,2 млн. м<sup>3</sup>, обвал 2002 г. объём 110 млн. м<sup>3</sup> и 5 млн. м<sup>3</sup> в селевой зоне. Материал в 1902 г. остановился на уровне с. Тменикау, в 2002 г. в районе с. Гизель. Параметры вероятности и расстояния имеют логарифмическую форму. Таким образом, интерполяция, применённая к параметру объём, также должна иметь логарифмический характер. Для расчёта интерполяции применён метод тренда. Результаты интерполяции составляют минимальный объём порядка 150 млн. м<sup>3</sup>. Параметры событий и вероятностей приведены в таблице 1.

Количественное моделирование проведено на основе программного комплекса Flow 2D,

Таблица 1

Сравнительные параметры событий 1902, 2002 гг. и моделируемого потенциального события

Параметры	Год		Потенциальное событие
	1902	2002	
Вероятность, у.е.	0,772729	0,644772	0,637627
Объем, млн.м <sup>3</sup>	53,2	115,0	150,0*
Расстояние от ледника Колка, км	10,5	30,7	39,5

Примечание: \* – расчётное значение.

в качестве основы для моделирования также используется модель рельефа в формате GRID (рис. 3). Для уменьшения объёма данных модель ограничена участком Кармадонские ворота – с. Гизель, где и прошёл собственно селевой поток.

Для проведения моделирования произведено сглаживание рельефа и ликвидация отрицательных форм. Затем данные посредством инструментов ArcINFO переведены в формат ASCII. Разрешение модели составляет 25 м.

Ключевыми моментами количественного моделирования являются зона старта селевого потока и гидрограф, расход потока. Поскольку начало старта селя определено Кармадонскими воротами, то от них и начинается моделирование. По различным экспертным оценкам объем селя составил около 5 млн. м<sup>3</sup>, в течении 20 – 30 мин. В расчёте была принята максимальная оценка в 5 млн. м<sup>3</sup>, в течении 0,5 часа. Форма гидрографа для селевых потоков обычно начинается с «0» и заканчивается также «0».

При этом многие параметры остаются неизвестными и могут быть уточнены на основе количественного моделирования. Опорными факторами и данными для расчёта служат

объём и зона поражения. Расход, фактически гидрограф, может быть уточнён опытным путём, подбором времени процесса. Так как расчёт занимает весьма значительное время, подбор параметров гидрографа проводился и на модели с низким разрешением (100 м). При совпадении параметров фактической и расчётной зон поражения полученные характеристики гидрографа применялись для расчёта модели более высокого разрешения (25 м).

Расчётные результаты по мощности отложений и скорости потока в целом незначительно отличаются от наблюдений и экспертных оценок. Данные представлены в виде GRIDa.

При потенциальном прорыве с рассчитанными характеристиками волна достигнет черты населённого пункта Гизель. Это подтверждает корректность вероятностного расчёта.

Таким образом, при расчётных характеристиках (объём обрушенной массы в 150 млн. м<sup>3</sup> и селевого потока в 7 млн. м<sup>3</sup>) природное геоэкологическое явление способно достигчь населённого пункта, следовательно, эти параметры должны считаться экологически предельно безопасными для жителей с. Гизель.

### Заключение

По зоне катастрофического схода ледника Колка 2002 г. проведено повариантное моделирование катастрофических селевых событий. Для проведения моделирования и заверки его результатов потребовалось создание модели местности крупного масштаба, ортофотопланов масштаба 1:10 000 [8], применение космических данных.

Модель создана в государственной системе координат, на основе карт масштаба 1:10 000 и 1:25 000. Форматы модели – Шейп-файл, GRID, TIN.

Моделирование проведено по двум методикам: вероятностной и количественной. Обе

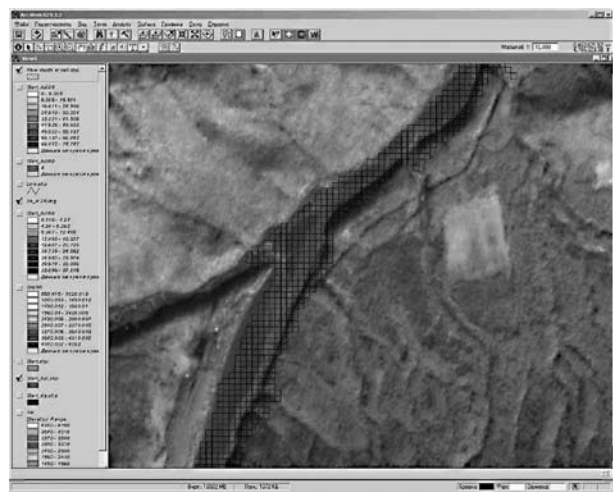


Рис. 3. Фрагмент результатов моделирования. Устье р. Геналдон

методики базируются на рельефе местности, что делает результаты не только реалистичными, но и дает возможность оценить их достоверность на картографических и дистанционных данных.

На основе моделирования были сделаны следующие выводы:

- моделирование достаточно устойчиво и правдоподобно описывает распространение природного геоэкологического процесса;
- зона поражения селевого потока потенциально распространяется на часть населённого пункта Гизель, что представляет непосредственную экологическую угрозу для жителей поселка;
- для поражения части с. Гизель первоначальный объём должен составить не менее 150 млн. м<sup>3</sup>;
- в связи с изменившимися условиями рельефа и деградации стабилизирующих природных экосистем по бортам долины после схождения ледника для поражения населённого пункта Гизель, при сохранении генезиса катастрофического явления, достаточный объём должен быть меньше расчётного;
- необходимое количество материала для этого может быть рассчитано на основе топографической съёмки после стабилизации ситуации в Кармадонской котловине.

## Литература

1. Haeberli W., Huggel C., Käab A., Zraggen-Oswald S., Polkvoj A., Galushkin I., Zotikov I. and Osokin N. The Kolka-Karmadon rock/ice slide of 20 September 2002: an extraordinary event of historical dimensions in North Ossetia, Russian Caucasus // *Journal of Glaciology*. № 50. P. 533–546
2. Котляков В.М., Рототаева О.В., Десинов Л.В., Осокин Н.И. Причины и следствия катастрофического выброса пульсирующего ледника Колка в Центральном Кавказе // *ДАН*. 2003. Т. 389. № 5. С. 688–692.
3. Рототаев К.П., Кренке А.Н., Ходаков В.Г. «Исследование пульсирующего ледника Колка». Москва. 1983. 167 с.
4. Запорожченко Э.В. Ледник Колка и долина р. Геналдон: вчера, сегодня, завтра // *Сб. научных трудов института «Севкавгипроводхоз»*. 2003. Вып. 16. Пятигорск. 2003. С. 15–35.
5. Запорожченко Э.В. Геналдонская гляциальная катастрофа 2002 года // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2003. № 1. С. 2–6.
6. Поповнин В.В., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Гляциальная катастрофа 2002 года в Северной Осетии // *Криосфера Земли*. 2003. Т. VII. № 1. С. 3–17.
7. Штебер Э.П. Ледниковые обвалы в истоках Геналдона // *Терский сб.* 2003. Вып. 7. Владикавказ. 1903. С. 72–81.
8. Запорожченко Э.В., Никитин М.Ю., Галушкин И.В., Галушкина Е.Ю. Дистанционные методы, цифровая аэросъемка в проектировании // *Сборник научных трудов Северо-Кавказского института по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства*. Пятигорск. 2007. Выпуск 17. С. 150–155.