

УДК 551.32

О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГЛЯЦИАЛЬНЫХ СЕЛЕЙ

© Васьков И.М., Тамаева М.Р.

*Северо-Кавказский горно – металлургический институт
(Государственный технологический университет), г. Владикавказ, Республика*

Статья посвящена вопросам происхождения высокоплотных гляциальных селей и связей механизма их развития на начальном этапе с размерами зон поражения. Возможности локального прогнозирования интенсивности негативного воздействия данных селевых процессов на людей и инфраструктуру территорий.

Ключевые слова: *гляциальные сели, потенциальная и кинетическая энергия, классификация селевых потоков, условия развития гляциальных селей, каменные глетчеры, локальное прогнозирование селей высокой плотности.*

Всплеск интереса к такому опасному природному явлению, как гляциальные сели, вызван не только увеличением их количества и объёмов, в частности на Центральном Кавказе и в Прибайкалье, но и массовым появлением в таких «не характерных» местах, как Северная Осетия. В т. ч. и одного из самых масштабных в Море селевых потоков, который был порождён Геналдонской катастрофой 2002 года. Результаты детального изучения причин возникновения и параметрических характеристик разномасштабных селевых событий, позволяют с иных позиций рассматривать их генезис, механизм образования и динамику развития, а, следовательно, энергетический ресурс и степень опасности подобных событий. Анализ данных, полученных в результате подробного изучения селевых бассейнов и отдельных событий, показал, что гляциальные сели являются производной как процесса деградации оледенения, вызванного глобальным изменением климата, так и интенсивности и направленного развития современной тектоники, но всегда представляют значительную опасность для инфраструктуры горной территории.

В качестве примеров, с точки зрения современных представлений об их генезисе и развитии, рассматриваются наиболее изученные гляциальные селе проявления, произошедшие в начале XXI века на Центральном Кавказе и в Прибайкалье.

Геналдонский гляциальный сель 20 сентября 2002 г. Крупная природная катастрофа в верховьях реки Геналдон привлекла внимание ученых всего мира.

Последовательное рассмотрение накопленной информации по Геналдонской катастрофе, от верхней точки зарождения - до нижней точки затухания процесса в целом привело к установлению зональности её развития по типам движения масс (рис. 1), где на заключительном этапе возник уникальный гляциальный селевой поток [8, 11]. В развитии Геналдонского гляциального селевого потока выделяется зона транзита и участки распада высокоплотного и низкоплотного селя общей протяжённостью 18,9 км.

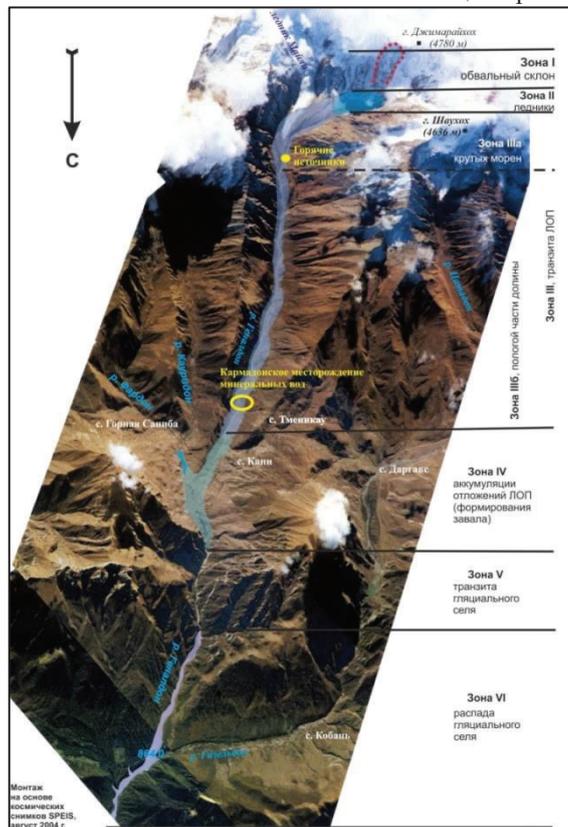


Рис. 1. Зоны развития Геналдонской катастрофы 20.09.2002 г.

Участок распространения гляциального селевого потока высокой плотности делится на две части.

Верхняя часть, протяжённостью 5,2 км, от окончания зоны транзита на выходе из узкой щели каньона до устья р. Геналдон (рис. 2), где дно долины было пересечено дорожной насыпью высотой до 3 м над активной поймой р. Геналдон, отметка 869,0, уклон 0,025 (или $1^{\circ}25'$). Объём селевых масс в этой части оценивался в 6,7 млн. кубометров, а твёрдой составляющей, после таяния льда в 2004 г. в 4,5 млн. м³.



Рис. 2. Вид вниз (на север) по течению реки. Отложения гляциального селя верхней части участка «высокой плотности» до устья р. Геналдон. Поверхность отложений ровная, с многочисленными ветвящимися водотоками. (Фото Г.А. Долгова, полдень 21.09.2002 г.)

Нижняя часть высокоплотного селя (рис. 3) имела протяжённость 3,7 км до отметки 780 м; общий уклон 0,024 (или $1^{\circ}23'$) и отличалась дальнейшим уменьшением скоростей (до 33 м/сек.) и объёмов движущихся масс. По экспертной оценке первоначальный объём этой части мог достигать 3 млн. м³, в т.ч. твёрдой составляющей до 2 млн. м³.



Рис. 3. Нижняя часть зоны распада низкоплотного селя водно-ледово-грязевого состава. Примечательным 21-22 сентября 2002 г. было наличие на поверхности ярко белых глыб (до 0,5 м в поперечнике) высокогорного снега – фирна. На высокой террасе левого борта долины – с. Верхняя Саниба, на заднем плане, на правом берегу – с. Гизель. (Фото Г.А. Долгова, полдень 21.09.2002 г.)

При выяснении морфометрических параметров селевого потока операционным методом были рассчитаны размеры поперечных сечений потока, уклоны и углы склонов, направления движения, объёмы движущихся масс [3]. Для селевых отложений полевыми и лабораторными методами определялись гранулометрический, петрографический и минералогический состав, физико-механические характеристики [4].

В результате выявилось, что отложения в зоне распада гляциального селя в своем составе содержат 51,2% обломков крупнее 10 мм, которые по петрографическому составу разделяются следующим образом (от 100%): алевролит – 28,4%; вулканоген – 50,3%; гранодиорит – 7,5%; диабазы – 6,9%; кварцит – 3,9%; андезит – 0,1%; известняк – 0,8%; кварц (жильный) – 2,1%.

Мелкие фракции (менее 10мм) составляют 48,8% от общего объема и имеют следующий минерально-петрографический состав: алевролит – 40,7%; вулканоген – 23,9%; кварцит – 0,5%; кварц – 14,0%; кальцит – 6,0%; полевые шпаты – 7,0%; глинисто-слюдистые минералы – 7,7%; рудные минералы (пирротин, пирит и т.д.) – 0,2%.

Сопоставление полученных данных со стратотипами разрезов долины Геналдона указывает на их высокую степень корреляции (0,92) с вещественным составом циклаурской свиты, выходящей на поверхность в правом борту долины ледника Колка, образуя восточный и северный отроги г. Джимарайхох (рис. 1).

Плотность (ρ) селевых отложений – 1.85кг/дм³,

Влажность (W_0) селевых отложений – 7.42%.

Размываемость высокая, что связано с особенностями формирования этих геологических тел, а именно: - высокая скорость движения селевой массы обусловила отсутствие, какой либо дифференциации материала по крупности и удельному весу;

- наличие в селевой массе льда, в количестве от 30 до 60%, который к осени 2004 г. полностью растаял, привело к общему дополнительному разуплотнению отложений, которые по физико-механическим свойствам, стали похожи на насыпные грунты;

- наличие многочисленных крупных и мелких промоин от небольших временных водотоков на их современной поверхности.

Известны динамические характеристики верхней части гляциального селевого потока: скорость движения 33 м/с; масса $10,5 \times 10^6$ кг. Значит кинетическая энергия, унаследованная от энергии исходного обвала с восточного отрога г. Джимарайхох на тыловую часть ледника Колка, составляла не менее $0,6 \times 10^{10}$ Дж.

В мировой практике описано большое количество гляциальных селевых событий подобного рода, когда начальный энергетический импульс порождался катастрофическими обвалами [12, 13, 24]

Западный и Восточный Кайсарские ледники [5] находятся на южном склоне северного хребта Цейской подковы отрога Главного Кавказского хребта (Центральный Кавказ) под вершиной Цейхох (4139 м).

В строении субстрата основную роль играют верхнепалеозойские граниты и их палингенный контакт с кристаллическими сланцами среднего протерозоя. Граниты, в свою очередь, прорваны цейскими гранодиоритами среднеюрского возраста, а в северной части верхнеэоценовыми гранодиоритами теплинского комплекса и их производными. И если внедрение интрузивов и вулканизм верхнего неогена происходили в условиях растяжения, то позже произошла смена геодинамической обстановки на сжатие, которая сохраняется и в настоящее время [5, 6, 7]. Именно этот обще кавказский цикл тектонической активности привёл к формированию горного сооружения Центрального Кавказа в современном виде. Реализация усилий сжатия при сокращении площадей приводит к интенсивным дизъюнктивным деформациям кристаллических пород, имеющим в основном взбросо-надвиговый характер. В нивальной зоне фронтальные части новейших и современных взбросов и надвигов, выведенные на поверхность, являются источником обильного поступления обломков горных пород на ледники. Это приводит к созданию мощных комплексов морен, ледниковых пьедесталов и каменных глетчеров при деградации оледенения. Типичным примером таких процессов и являются Кайсарские ледники (рис. 4 и 5)

В связи с увеличением темпов отступления долинных ледников и уменьшения площадей распространения многолетнемерзлых пород в последние десятилетия возросла угроза селевой опасности в высокогорной зоне Центрального Кавказа, в т. ч. в обширном моренном поле карово-долинных ледников Западный Кайсар (№ 63) и Восточный Кайсар (№ 63) [19].

Ледники бассейна р. Кайсардон разделены северным отрогом от гребня г. Цейхох. Они носят название Западно-Кайсарский (42°49'26" сш; 43°50'51" вд) и Восточно-Кайсарский (42°49'24" сш; 43°51'33" вд) и имеют общую северную экспозицию. Концы языков расположены на высотах 3186 м и 3187 м н.у.м. соответственно.

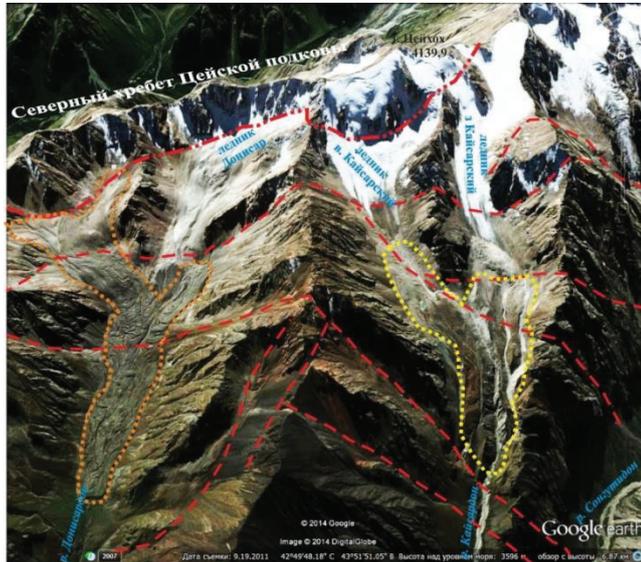


Рис. 4. Верховья долин рек Кайсардон и Донисардон с полями морен, ледниковыми пьедесталами и ансамблями каменных глетчеров на северном склоне северного хребта Цейской подковы



Рис. 5. В центре снимка – моренное поле и совмещенный моренный пьедестал западного и восточного Кайсарских ледников, разрезанные глубокими селевыми врезами. Под Зап. ледником на высоте 3200 м – «бараньи лбы». На высоте 3100 м – срединная морена. На этой же высоте слева – ровная часть моренного пьедестала. В середине нижней части снимка – отложения кайсарских селевых потоков в пойме р. Сонгутидон

Активизация гляциальной селевой деятельности в перигляциальной зоне ледников приходится на конец июля 1998 г., когда селевые отложения объемом около 500 тыс. м³ перекрыли флювиогляциальную пойму р. Сонгутидон на протяжении 2,1 км от устья реки Кайсардон. Поток низкой плотности по руслу Сонгутидона достиг с. Дунта, пройдя 3,1 км. 29 июля 2007 года сошел следующий селевой поток объемом более 200 тыс. м³ (рис. 6).



Рис. 6. Отложения гляциального селевого потока с верховьев р. Кайсардон, сошедшего 29.07.2007 г. Объем селевого выброса – более 200 тыс. кубических метров. На снимке эти отложения отличаются светлой окраской и на их поверхности нет растительности.

Основная масса каменного материала прижата к правому берегу реки Сонгутидон

Сход селевых потоков по р. Кайсардон непосредственно не угрожает населенным пунктам и объектам инфраструктуры, но большое количество обломочного материала скапливается в поймах рек Сонгутидон и Айгамуга, что вызывает плановые и вертикальные деформации русел рек, нарушается функционирование малой ГЭС «Фаснальская», возникает угроза разрушения мостов.

Заключение. Селевые события, описанные выше в качестве примеров, по генезису можно разделить на две группы:

1) *Гляциальные сели, как завершающая стадия ледово-каменных обвалов.* Для них характерны следующие особенности:

- большая дальность выброса – до сотен километров (180 км по р. Рио Санта, Уаскаран 1970 [26];
- объёмы до десятков миллионов кубометров;
- скорости перемещения до 50 м/сек. и более;
- события повторяются либо с большими и не регулярными временными промежутками (до сотен и тысяч лет), либо единичны;
- высокая кинетическая энергия потока наследуется от кинетической энергии породных обвальных масс.

Катастрофические события этой группы отмечены во всех районах Мира, где происходит современное горообразование.

В пределах Центрального Кавказа это серия Девдоракских обвалов XVIII и XIX веков (10 событий), последний обвал произошёл 17 мая 2014г., Цатадонский обвал с северного склона г. Шаухох (около 300 лет назад) [8], Гизельдонский обвал (около 8000

лет назад) [6], обвал Шхельда в 1863 г. [15]. Более 60 гляциальных селевых потоков, вызванных обвалами, отмечено Ю.Б. Виноградовым [13] на Аляске.

2) *Гляциальные сели, как результат деградации нивальной зоны высокогорных областей* выбрасывают селевой материал на меньшие расстояния (километры) имеют меньшие объёмы (до 3-5 млн. м³) и скорости движения (от 3-5 м/сек.), повторяемость масштабных событий до 10-15 случаев в столетие, которые не укладываются в ритмический ряд. Начальный импульс движения возникает в результате перехода потенциальной энергии в кинетическую, которая сосредотачивается в падающих крупных (0,5 м и более) обломках горных пород, имеющих плотность 2,7-2,8 г/см³. Падение происходит в результате быстрого уменьшения коэффициента сцепления между частицами грубообломочных грунтов при увеличении их влажности или замачивании.

Исследования последних лет показали единство основных морфологических элементов долин, в которых генерируются гляциальные сели выделенных групп. Это наличие ледниковых пьедесталов и каменных глетчеров, нависающих над их цирками с тыла или борта долины скальных стен – фронтальных частей современных взбросонадвигов (рис. 1, 6, 7, 9, 10). Во многих случаях долины, где происходили катастрофические ледово-каменные обвалы, имеют в своём составе ледниковые пьедесталы, которые являются источниками гляциальных селей второй группы.

В обеих выделенных группах гляциальных селей литологический состав породных обломков в зонах коррелятивных отложений соответствует таковому в цирках питающих ледников и каменных глетчеров. Это свидетельствует о постоянном, в случае малых обвалов и осыпей, или импульсном, при катастрофических обвалах, поступлении каменного материала различной крупности на поверхность ледника или каменного глетчера.

Литература

1. Структурно-вещественный анализ селевых отложений Аршана / *Н.И. Акулов, В.В. Акулова, С.И. Штельмах и др.* // Материалы IV Международной конференции Россия, г. Иркутск – пос. Аршан (Республика Бурятия). Иркутск: Изд-во Инс-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. С. 3-7.
2. *Будаев Р.Ц., Коломиец В.Л.* Цикличность селевых явлений в Тункинских гольцах (Восточный Саян) // Материалы IV Международной конференции Россия, г. Иркутск – пос. Аршан (Республика Бурятия). Иркутск: Изд-во Инс-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. С. 25-28.
3. Оценка физических параметров каменной части Геналдонского обвала / *И.М. Васьков, Р.Х. Калов О.А. Кумукова, М.М. Хаджиев* // Тезисы Всероссийской конференции по селям (26–28 октября 2005 г. ВГИ). Нальчик. 2005. С. 15–16.
4. *Васьков И.М.* Параметрические характеристики катастрофического обвала в долине ледника Колка // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. Нальчик, 2005. № 1 (13). С. 73–80.
5. *Васьков И.М., Валиев А.Л.* Деградация Кайсарских ледников и увеличение селевой активности // Геология, география и глобальная энергия, 2008. № 3 (30). С. 150–152.
6. *Васьков И.М., Валиев А.Л., Гогичев Р.Р.* Палеообвалы в долине р. Гизельдон, Северная Осетия // Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных изменений. Материалы VII Международной научной конференции. Владикавказ, 2010. 11 с.
7. *Васьков И.М., Валиев А.Л.* Активизация гляциальных селей на территории РСО-Алания в начале XXI века // Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных изменений. Материалы VII Международной научной конференции. Владикавказ, 2010. 6 с.
8. *Васьков И.М.* Ледово-каменные обвалы и их прогнозирование. Опыт Геналдонской катастрофы, Центральный Кавказ / Монография. LAP LAMBERT Fcademic Publishing. Саабрюкен, Германия, 2011. 233 с.
9. *Васьков И.М.* Локальное прогнозирование опасных экзогенных процессов на базе интегрированного анализа данных функционирующих систем мониторинга (геологического, сейсмического, гидрометеорологического и др.) // Геология и геофизика Юга России, 2012. № 3. С. 13–21.

10. Васьков И.М., Кожиев Х.Х. Современное состояние проблемы прогнозирования природных катастроф // Устойчивое развитие горных территорий. Владикавказ: Изд-во СКГМИ (ГТУ), 2014. № 2. С. 53–60.
11. Васьков И.М. Катастрофические обвалы: происхождение и прогноз. / Монография. МАВР. Владикавказ, 2016. 370 с.
12. Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. Л.: Гидрометиздат, 1980.
13. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Современные проблемы гидрологии. М.: Академия, 2008. 319 с.
14. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Прикладная Гидрология. Санкт-Петербург ГЛТУ, 2014. 193 с.
15. Динник Н. Я. Горы и ущелья Терской области // Зап. Кавказского отделения императорского геогр. общества, 1884. Кн. 13. Вып. 1. Тифлис. С. 1–48.
16. Докукин М.Д. К вопросу о формировании и трансформации селей в бассейне р. Герхожансу // Труды ВГИ, 1985. С. 58-72.
17. Докукин М.Д., Савернюк Е.А., Богаченко Е.М., Иванов Г.И. Сель 3 августа 2011 г. в бассейне реки Герхожан-Су: причины, динамика и возможные последствия // ГеоРиск, 2012. № 2. С. 48-56.
18. Запорожченко Э.В., Каменев Н.С. Гляциологический фактор активизации селевых процессов на северном склоне Центрального Кавказа в начале XXI в. // Лед и снег, 2011. № 1 (113). С. 131–136.
19. Каталог ледников СССР. Т. 8. Северный Кавказ. Ч. 10. Бассейны рек Фиагдона и Гизельдона. Ч. 11. Бассейн верховьев р. Терека. Л.: ГИМИЗ, 1977. 67 с.
20. Морфодинамика горного бассейна после селевой катастрофы / И.В. Крыленко, Д.А. Петраков, О.В. Тутубалина, С.С. Черноморец. URL: [istina.msu.ru/media/.../9с7/.../ Morfodinamika_2002.pdf](http://istina.msu.ru/media/.../9с7/.../). (дата обращения: 22.03.2018 г.).
21. Лапердин В.К., Макаров С.А., Бардаш А.В. Селеопасность бассейна реки Кынгарги // Материалы IV Международной конференции Россия, г. Иркутск – пос. Аршан (Республика Бурятия). Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. С. 124-127.
22. Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья (эволюция оледенения и селевой активности). М.: Научный мир, 2001. 204 с.
23. Сейнова И.Б. Климатические и гляциальные условия формирования селей Центрального Кавказа на стадии регрессии Малого ледникового периода // Селевые потоки: риск, прогноз, защита. Труды Международной конференции. Пятигорск: Изд-во Ин-та Севкавгипроводхоз, 2008. С. 121–124.
24. Хромовских В.С. Каменный дракон. М.: Мысль, 1984. С. 95. URL: <http://lib.rus.ec/b/185878/read> (дата обращения: 22.03.2018 г.).
25. Черноморец С.С. Селевые очаги до и после катастроф. М.: Научный мир, 2005. 184 с.
26. Evans S.G., Bishop N.F., Smoll L.F., Murillo P.V., Delaney K.B., Oliver-Smith A. A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascarán, Cordillera Blanca, Perú, in 1962 and 1970. // Engineering Geology, 2009. Vol. 108. P. 96–118.