

УДК 551.2.05; УДК 551.33

## ОСНОВНЫЕ ТОПОГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И КИНЕМАТИКА ДЕВДОРАКСКОГО ОБВАЛА

17 МАЯ 2014 ГОДА

В.Н. Дробышев<sup>1</sup>, Х-М.З. Торчинов<sup>2</sup>, О.В. Тутубалина<sup>3</sup>, Х.М. Хубаев<sup>4</sup>

**Аннотация.** В работе представлен материал, характеризующий основные топогеодезические и динамические параметры ледово-каменного обрушения в долину р. Терек и на Военно-Грузинскую дорогу со стороны Девдоракского ледника 17 мая 2014 года. Высказывается небездоказательное предположение об опережающей активизации магматического фактора, сыгравшего роль первопричины, спровоцировавшего это мощное экзогенное движение катастрофического уровня в зоне Казбекского вулканического центра.

**Ключевые слова:** катастрофический процесс обрушения, гипсометрические параметры, фумарольные эманаии, кинематические параметры, магматическая камера, тепловые аномалии.

В северо-восточном направлении от вершины Казбек спускается Девдоракский ледник. Обрушения с его стороны неоднократно перекрывали в XVIII–XIX веках Военно-Грузинскую дорогу, проходящую по долине реки Терек. До середины 70-х годов XX века ледник рассматривался как представляющий потенциальную угрозу. Однако в связи с глобальным потеплением, прогрессирующим в течение последних 50 лет, ледник заметно деградировал (отступил, уменьшился) и обрел большую устойчивость. С точки зрения возможности нового обрушения он казался все менее опасным.

Катастрофическое обрушение ледово-каменных масс в 9:40 мск 17 мая 2014 года со стороны Девдоракского ледника в долину реки Терек и на Военно-Грузинскую дорогу было неожиданным и принесло немало бед. 8 человек погибло, движение автотранспорта было парализовано более чем на месяц, оборваны два газопровода, ведущие в Армению. Правительством Грузии было немедленно организовано оперативное обследование зоны катастрофы ведущими специалистами соответствующего профиля [1].

### ЗОНА ПОРАЖЕНИЯ

Обширная серия фотографий территории катастрофического природного явления была выполнена в ходе вертолетного облета территории 17 мая 2014 года 11:00÷13:00 (мск). Съемка выполнялась по заданию МВД Грузии с борта вертолета Ми-8 директором центра Geographic Георгием Гоциридзе. При первом же визуальном осмотре выяснилось, что причиной громадной лавины послужило обрушение значительного по своим размерам северо-восточного сегмента фирнового поля вершинного конуса горы Казбек. Миллионы тонн фирна и вовлеченного в движение разрыхленного скального субстра-

та понеслись вниз с нарастающей скоростью, оставляя по пути своего движения четкий след, обозначенный красноватым андезитовым цветом. Пройдя более 10 км, лавина остановилась, сформировав аккумулятивное тело, перегородившее долину реки Терек. Образованное подпрудное озеро достигло 300-метровой длины при максимальной ширине 80 метров. Возникла опасность прорыва.

Границы зоны поражения, охватывающие очаговую область, зону транзита лавинного материала и зону аккумуляции в долине р. Терек, были установлены путем идентификации характерных точек следа прохождения лавины, выбранных на аэрофотоснимках с этими же точками, опознанными на детальных спутниковых снимках Google. Это действие позволило определить их координаты и представить границы зоны поражения на космоплане в М 1:25 000, что обеспечило возможность проведения оценочных действий по определению количественных параметров катастрофического процесса (рис. 1., космоплан представлен в М 1:40 000).

Полученным граничным контуром зоны катастрофического процесса охватывается территория общей площадью:  $S_{\text{sum}} \sim 3,5 \text{ км}^2$ . Высшая точка кромки отрыва фирнового поля находится на высоте:  $H = 4\,511 \text{ м}$ , отметка нижней оконечности завала в долине р. Терек:  $H = 1\,336 \text{ м}$ . Зеркало подпрудного озера оказалось на отметке:  $H = 1\,395 \text{ м}$ . Общая длина зоны поражения составила 10 700 м. В диапазоне высот: 3 700÷2 600 м, ширина следа оценивается в 700÷900 м. На языковом ярусе Девдоракского ледника поток лавины существенно сужается, и ниже конца ледника, от высоты 2 370 м, его ширина регламентируется в основном габаритами глубокого вреза р. Амелишка, составляя 100÷150 м. Наиболее крутой участок зоны транзита приурочен к высотам:  $H > 2\,600 \text{ м}$  и в своей верхней части уклоны превышают  $40^\circ$ . Размеры завала в доли-

<sup>1</sup> Дробышев В.Н. – сотрудник Владикавказского научного центра РАН и Правительства РСО-А (innovpro@mail.ru).

<sup>2</sup> Торчинов Х-М.З. – главный специалист Владикавказского научного центра РАН и Правительства РСО-А.

<sup>3</sup> Тутубалина О.В. – к. г. н., доцент, в. н. с. географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

<sup>4</sup> Хубаев Х.М. – главный специалист Владикавказского научного центра РАН и Правительства РСО-А.

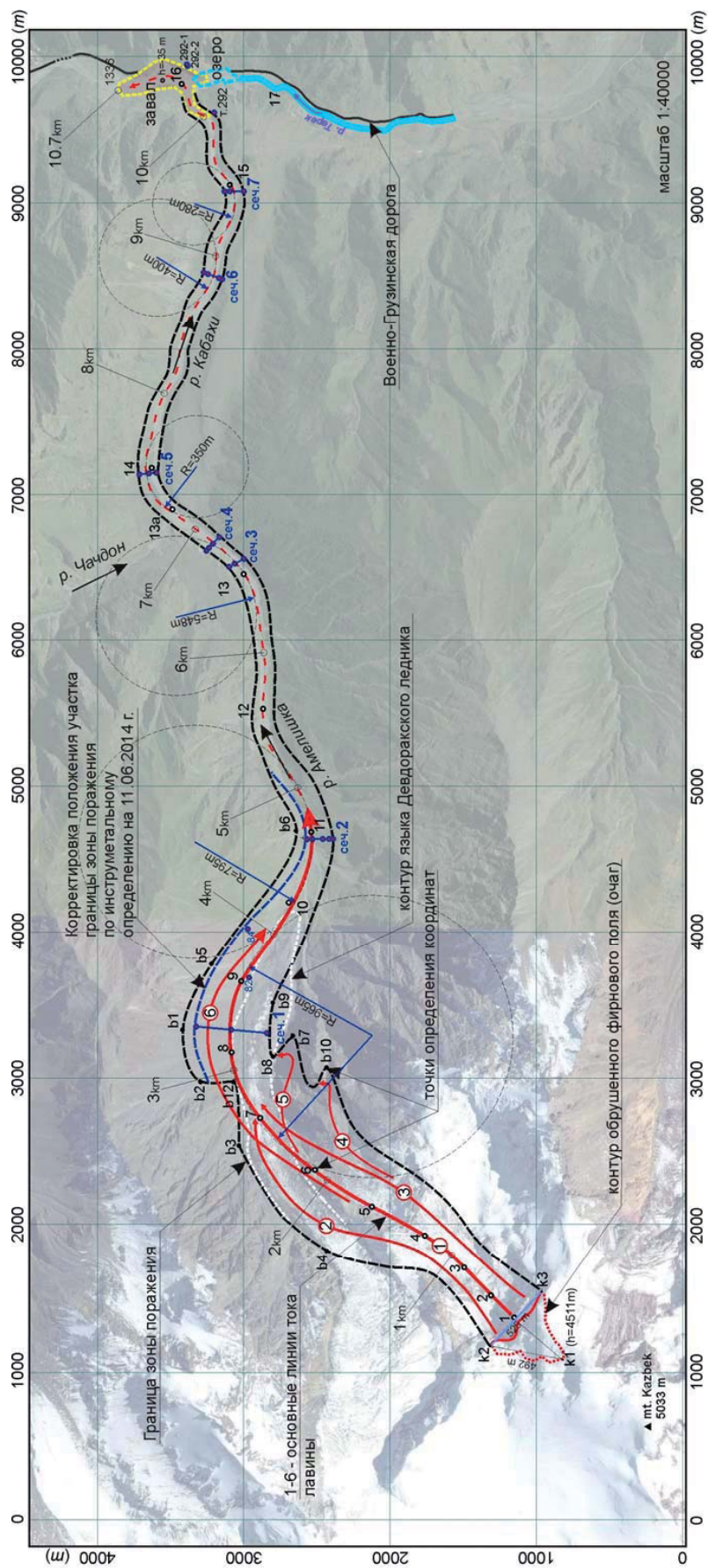


Рис. 1. Космоплан зоны поражения Девдаракской ледово-каменной лавины, сошедшей 17 мая 2014 г. со склона в. Казбек на Военно-Грузинскую дорогу.



не реки Терек достигают 600 м в долинном направлении при наибольшей ширине 200 м.

Представленные ниже расчеты выполнены с целью установления непротиворечивой математической сбалансированности между гипсометрическими и расчетными кинематическими параметрами процесса обрушения. Вся совокупность вычислительных операций размещена в рамке единой электронной таблицы. Полевые измерения по поперечным створам выполнялись специалистами экспедиционной группы С.С. Черноморца (УЦИГМ МГУ им. В.М. Ломоносова) 10–12 июня 2014 г.

### ОЧАГ

Координаты опорных точек границы очага определены путем совмещения аэрофотоснимка, выполненного с борта вертолета 17 мая 2014 г, 13:00 мск. (В. Тавасиев; НПП «Инфотерра»; (рис. 2а) с 3D-инсталляцией по карте Google (рис. 2б). Оценка толщины фирнового покрова была выполнена по снимку Г. Гоциридзе 17 мая 2014 г., приведенному по точкам k1 и k2 к масштабу 1:25 000 (рис. 2с), и составила величину порядка 40 м. Процедура геометризации обрушенного блока по координатам точек k1, k2, k3 позволила также определиться в следующих величинах: максимальная ширина в нижней части достигает 525 м, расстояние от реконструкции палеозэскарпа фирнового поля до высшей точки границы отрыва k1 составляет 597 м при крутизне склона более 41°. Исходя из обозначенных габаритов, по формуле вычисления объема трехгранной призмы получена величина минимального объема опустевшего пространства:  $U = 597 \cdot 525 \cdot 40 / 2 = 6\,268\,500 \text{ м}^3$ . К этому объему можно добавить объем подстилающей скальной породы, вовлеченной в процесс обрушения. К сожалению, в конфигурации применяемых измерительных приемов определение такого объема будет крайне эфемерным. Можно говорить о 20% ...

### ОБЛАСТЬ АККУМУЛЯЦИИ

В обвальном процессе, несомненно, вовлеклось большое количество рыхлообломочного материала, в изобилии присутствующего по пути его движения. Опираясь на интуитивно-глазомерные оценки нескольких специалистов количественного содержания каменного материала в теле завала, можно говорить о 50 %.

Определение основных геометрических параметров аккумулятивного образования в долине р. Терек выполнено по космическому снимку PL1A\_20140518\_081358 (ИТЦ СКАНЭКС по заказу НЦУКС МЧС России 18.05.2014 г.), приведен-

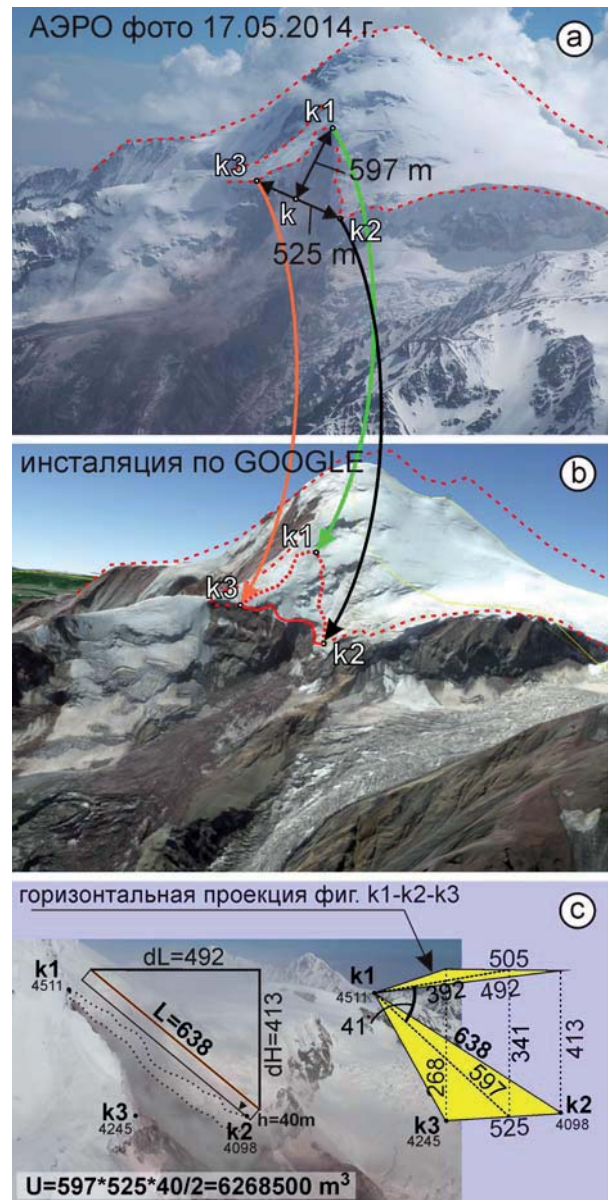


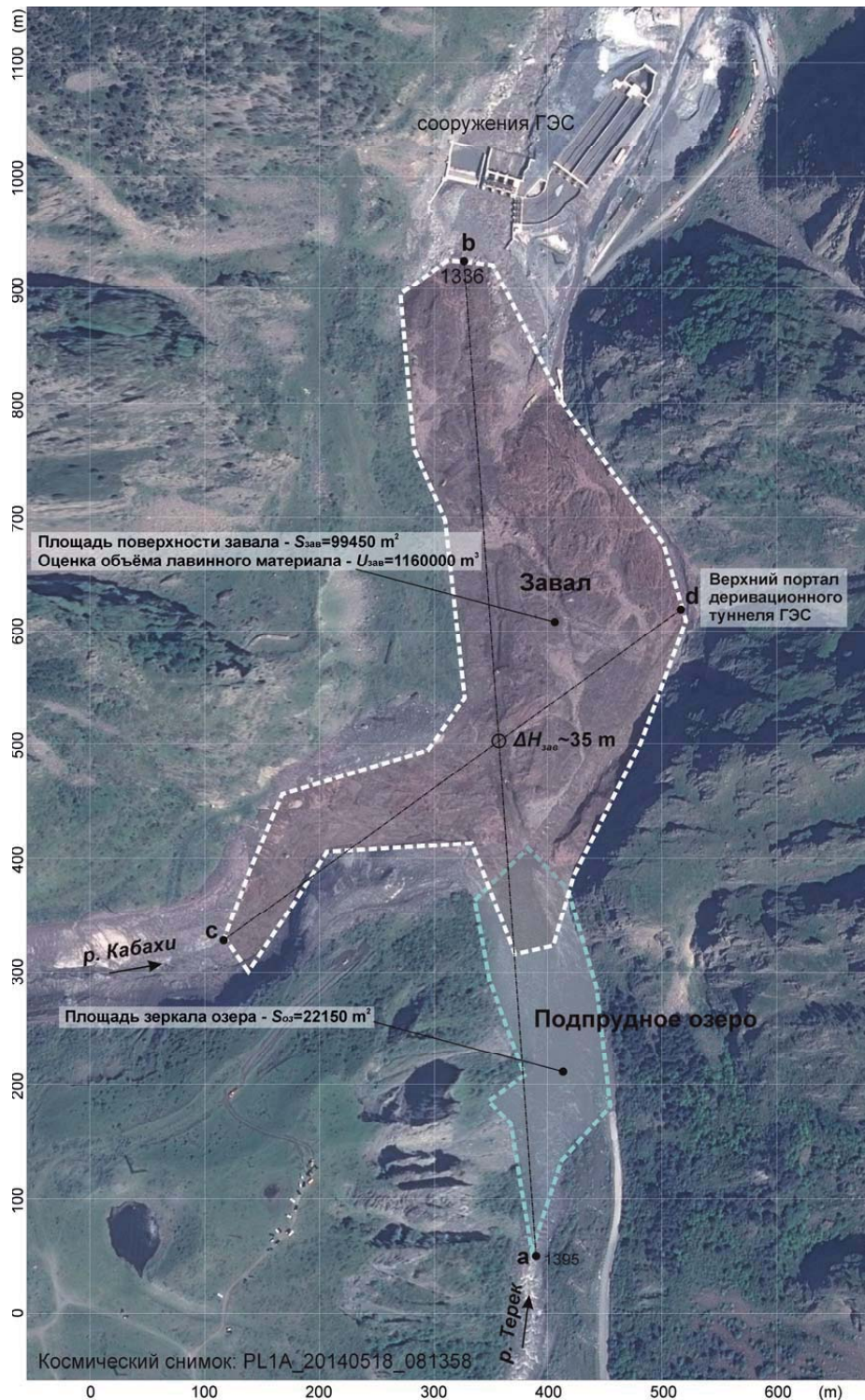
Рис. 2. Очаговая область

а, б – идентификация и определение координат опорных точек границы отрыва: k1, k2, k3;

с – геометризация и оценка объема упавшего блока

ному к масштабу 1:5 000 (рис. 3). Вычисление площадей проведено координатным способом, получены следующие результаты: площадь завала:  $S_{зав} = 99\,500 \text{ м}^2$ , площадь зеркала озера:  $S_{оз} = 22\,000 \text{ м}^2$ . Превышение точки «а» над точкой «б» по линии, соединяющей по дну ущелья верхнюю оконечность озера с нижней точкой завала, составляет 60 метров (топографическая карта М 1:25 000).

Логично предположить, что стремнина выброса обвального материала располагалась в области линии с-d, образовав гребневую или перевальную зону завала, что подтверждается блокировкой течения р. Терек вблизи этого рубе-



**Рис. 3.** Завальное тело, перекрывшее долину р. Терек и подпрудное озеро. Космическая съемка выполнена ИТЦ СКАНЭКС по заказу НЦУКС МЧС России 18.05.2014 г. Масштаб 1:5 000

жа. Заметив, что линия с-d проходит, примерно, над серединой линии a-b, можно предположить, что в этом месте мощность завала превышает 30 м ( $\Delta H = \Delta H_{a-b} / 2 = 60 \text{ м} / 2 = 30 \text{ м}$  по линии a-b). На рисунке 4 запечатлено высотное положение гребня завала на 18.05.2014 г., возвышающегося

над уровнем озера примерно на 5–6 метров. Учитывая приведенные доводы, к расчету была принята величина:  $\Delta H_{зав} = 35 \text{ м}$ . Определение минимального объема завала может быть выполнено по формуле расчета объема конического тела с телесным углом при вершине:  $P_{зав} = S_{зав} * \Delta H_{зав} / 3$





**Рис. 4.** Подпрудное озеро по состоянию на 20:00 (мск) 18 мая 2014 г. (вид на завал со стороны втекающей в озеро р. Терек). Фото С.С. Черноморца

$= 99\,500 \cdot 35/3 = 1\,160\,833 \text{ м}^3$ . Таким же приемом можно оценить объем чаши озера, приняв  $\Delta H_{\text{оз}} = 10 \text{ м}$ , получим:  $P_{\text{оз}} = S_{\text{оз}} \cdot \Delta H_{\text{оз}} / 3 = 22\,000 \cdot 10/3 = 73\,333 \text{ м}^3$ . Оставляя оценки параметров неразмытыми в границах интервалов погрешностей, в тексте подчеркивается, о какой именно границе идет речь.

### ЗОНА ТРАНЗИТА

Наряду с дистанционными приемами определения границ зоны транзита, по семи створам было выполнено поперечное профилирование между правым и левым ограничивающими следами потока с применением лазерного дальномера «TruePULS», оснащенного опцией измерения вертикальных углов наклона визирного луча. Местоположение точек стояния выбиралось на поворотных участках, где центробежные эффекты потока проявлялись наиболее контрастно. Наклон гребня передовой (или максимальной) волны в поперечном направлении, оставившей следы по бортам пути транзита, обуславливается, наряду с гипсометрическими особенностями участка движения и собственной скоростью лавины. Определение координат точек стояния осуществлялось GPS-приемником. Сечения через поток лавины показаны на рис. 5. По каждому сечению определялась его площадь –  $S$  и угол наклона ( $\alpha$ ) гребня реконструированной волны, выражаемый через  $-\text{tg}(\alpha)$ . Плановое расположение выполненных сечений обозначено на космоплане (рис. 1).

### РАСЧЕТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА

Величина угла наклона гребня волны при прохождении очередного поворотного участка имеет функциональную связь со скоростью лавины,

так как отображает угол отклонения от нормали вектора силы тяжести, вследствие действия центробежной силы.

Для решения задачи в первом приближении требуется определение двух основных параметров:

1) угла наклона гребня волны ( $\alpha$ ),

2) радиуса срединной линии тока ( $R$ ) на поворотном участке (по космоплану).

Величина центробежной силы ( $F_C$ ), действующей на материальную точку, движущуюся по окружности с постоянной скоростью:

$$F_C = m \frac{V^2}{R}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса, приложенная к центру тяжести (ЦТ) материального сечения (материальным сечением следует считать сечение, которому присваивается толщина в одну единицу линейного измерения),

$R$  – радиус круговой траектории движения точки (ЦТ),

$V$  – скорость движения точки ЦТ по круговой траектории.

Сила тяжести материального сечения, приложенная к точке ЦТ,

$$F_g = m \cdot g, \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, ( $9,8 \text{ м/с}^2$ ).

Принимаемая версия:

$$\text{tg} \alpha = \frac{F_C}{F_g} = \frac{V^2}{R \cdot g}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – угол наклона дневной стороны материального сечения (гребня волны),

откуда:

$$V = \sqrt{R \cdot g \cdot \text{tg} \alpha} \quad (4)$$

Определение радиусов поворотов выполнялось по космоплану (рис. 1).

За начало отсчета длины пути лавины была принята верхняя точка очага –  $k_1$ . Исходной площадью поперечного сечения логично считать графически определенное значение площади фронтального эскарпа обрушенного блока:  $S = 525 \cdot 40 = 21\,000 \text{ м}^2$  (произведение максимальной ширины на среднюю толщину фирнового поля). Начальная скорость:  $V = 0$ . Все получаемые по наблюдаемым створам параметры, такие как: площадь поперечного сечения –  $S$  ( $\text{м}^2$ ) (таблица № 1; столбец 8), (рис. 6; линия 2с); вычисленная скорость лавины –  $V$  ( $\text{м/с}$ );  $V$  ( $\text{км/ч}$ ) (таблица № 1; столбцы 4; 5), (рис. 6; линия 1b), были интерполированы для каждых 500 метров горизонтальной проекции траектории и вынесены в электронную таблицу № 1. По установленному метражу были графически определены (топографическая карта М 1:25 000) высотные отмет-

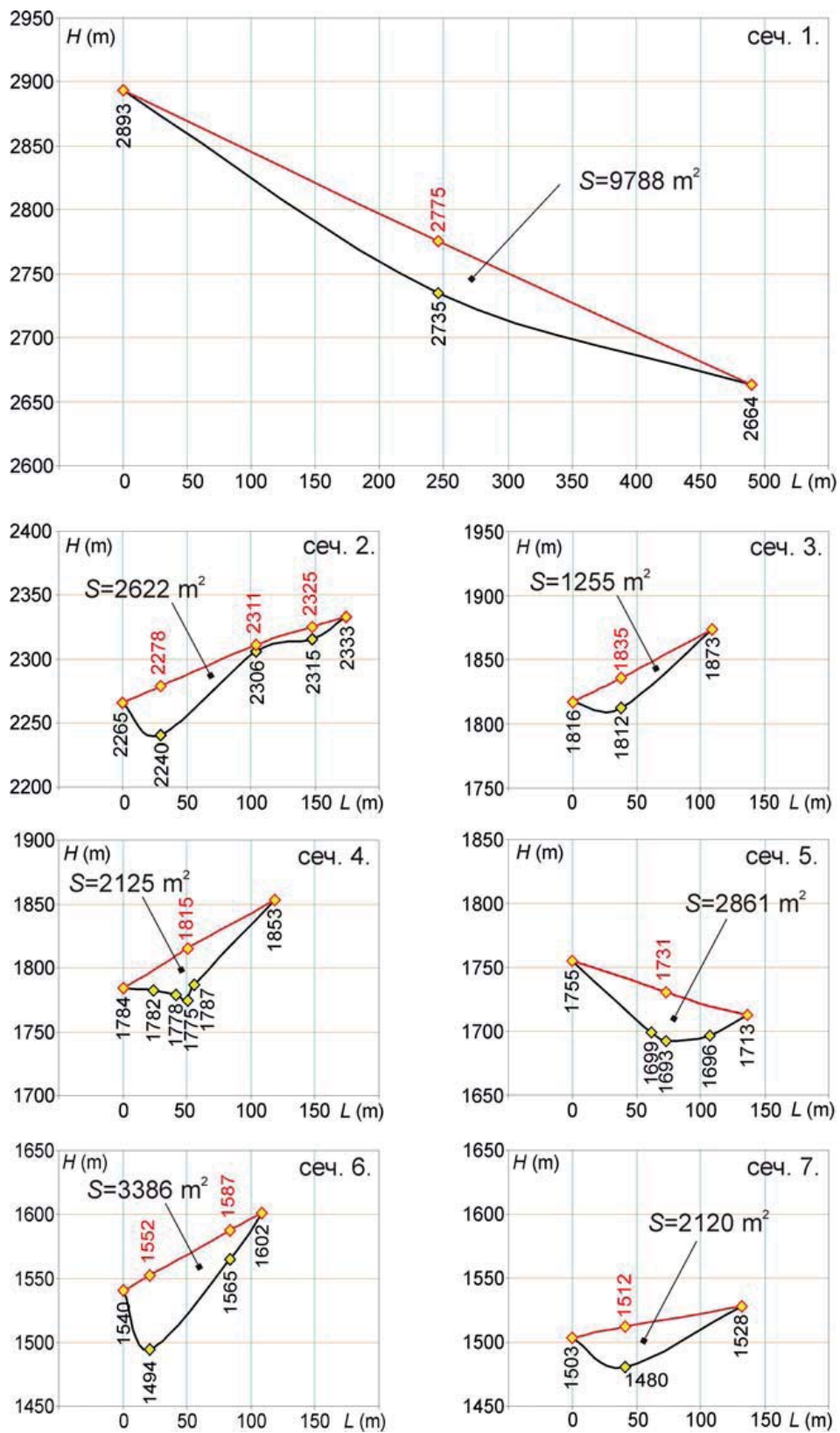


Рис. 5. Поперечные сечения через зону транзита, выполненные инструментально

Таблица расчета кинематических и количественных физических параметров Девдоракской ледово-каменной лавины, сошедшей со склона г. Казбек на Военно-Грузинскую дорогу 17 мая 2014 года

№	L (m)	H (m)	V (m/s)	V (km/h)	T (s) 500	ST (s)	S (m <sup>2</sup> )	tg(a)	1-tg(a)	Uf (m <sup>3</sup> )	Eff stop	U <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	U <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> /s)	dU <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )
1/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	4511	0	0	0	0				6300000				
2	500	4080	11,39	41	87,80	87,80	21000	0,8620	0,1380		60,7	48099,1	219805,6	6300000
3	1000	3740	22,50	81	29,51	117,31	19300	0,6800	0,3200		253,4	200939,1	396000,0	6251901
4	1500	3545	33,06	119	18,00	135,31	17600	0,3900	0,6100		645,2	511579,9	528888,9	6050962
5	2000	3260	44,17	159	12,95	148,26	16000	0,5700	0,4300		539,4	427632,4	627166,7	5539382
6	2500	2940	54,72	197	10,11	158,38	14200	0,6400	0,3600		492,5	390477,0	684027,8	5111749
7	3000	2745	62,78	226	8,51	166,89	12500	0,3900	0,6100		815,7	646702,6	668583,3	4721272
8	3500	2618	68,06	245	7,64	174,53	10650	0,2540	0,7460		868,2	688315,8	581875,0	4074570
9	4000	2445	64,44	232	7,55	182,08	8550	0,3460	0,6540		488,9	387623,8	373777,8	3386254
10	4500	2310	55,56	200	8,33	190,41	5800	0,2700	0,7300		243,3	192926,0	166666,7	2998630
11	5000	2190	56,11	202	8,96	199,36	3000	0,2400	0,7600		170,6	135242,0	112222,2	2805704
12	5500	2020	59,44	214	8,65	208,02	2000	0,3400	0,6600		117,7	93318,1	89166,7	2670462
13	6000	1925	63,06	227	8,16	216,18	1500	0,1900	0,8100		137,9	109335,5	85125,0	2577144
14	6500	1890	53,06	191	8,61	224,79	1350	0,0700	0,9300		123,4	97800,9	66319,4	2467809
15	7000	1790	55,56	200	9,21	234,00	1250	0,2000	0,8000		213,3	169140,6	133333,3	2370008
16	7500	1708	31,94	115	11,43	245,43	2400	0,1640	0,8360		154,9	122805,8	92638,9	2200867
17	8000	1665	34,72	125	15,00	260,43	2900	0,0860	0,9140		196,8	156003,6	107638,9	2078061
18	8500	1605	43,89	158	12,72	273,15	3100	0,1200	0,8800		262,6	208226,2	149222,2	1922058
19	9000	1570	45,00	162	11,25	284,40	3400	0,0700	0,9300		284,6	225628,3	153000,0	1713831
20	9500	1505	22,50	81	14,81	299,22	3400	0,1300	0,8700		88,1	69839,9	50625,0	1488203
21	10000	1405	18,06	65	24,66	323,87	2250	0,2000	0,8000		173,3	137426,8	108333,3	1418363
22	10300	1350	12,50	45	32,73	356,60	5000	0,1833	0,8167		102,1	80936,4	62500,0	1280936
23	10750	1340	0,00	0	80,00	436,60	0	0,0222	0,9778	1200000	0,0	1200000,0	0,0	1200000

#### Столбцы таблицы

1. Номера по порядку
2. Плановое расстояние L(m) от высшей точки очага обрушения – k1
3. Отметка, поверхности на соответствующем расстоянии H (м)
4. Скорость обвала вдоль траектории движения V (м/с)
5. Скорость обвала вдоль траектории движения V (км/ч)
6. Время прохождения соответствующего 500-метрового участка T (с) 500
7. Набегающее время движения лавины от момента отрыва до соответствующего створа ST (с)
8. Площадь поперечного сечения через поток лавины S (м<sup>2</sup>)
9. Тангенс уклона рельефа на участке траектории движения лавины tg(a)
10. Разность [1-tg(a)]
11. Объемы обвалившегося скально-ледового массива и завального тела Uf (м<sup>3</sup>)
12. Индекс благоприятности участка зоны транзита для аккумуляции объемов материала, покидающих основной поток – Eff stop (характеризует пологость участка; см. ниже)
13. Объем обвального материала, имеющего возможность остановиться на данном участке зоны транзита – U<sub>i</sub> (м<sup>3</sup>) (распределение объема разности объемов очага и завала по пути прохождения лавины с учетом индекса Eff stop и расхода U<sub>t</sub> (м<sup>3</sup>/с))
14. Максимальное значение расхода потока лавины через соответствующий створ зоны транзита U<sub>t</sub> (м<sup>3</sup>/с)
15. Объем лавинного материала, проходящего через соответствующий створ зоны транзита с учетом уже отброшенных масс – dU<sub>i</sub>(м<sup>3</sup>)

ки рельефа и построен продольный профиль (табл. № 1; столбец 3), (рис. 6; линия 1а).

По 6-му столбцу таблицы выполнен расчет времени, затраченного на прохождение очередного 500-метрового участка – T (с) 500. По 7-му столбцу выводится набегающий результат суммирования значений T (с) 500 от начального момента, т. е. выполнен хронометраж по дискретно обозначенным через каждые 500 метров створам – ST (с) (табл. № 1; столбец 7); (рис. 6; линия 2b).

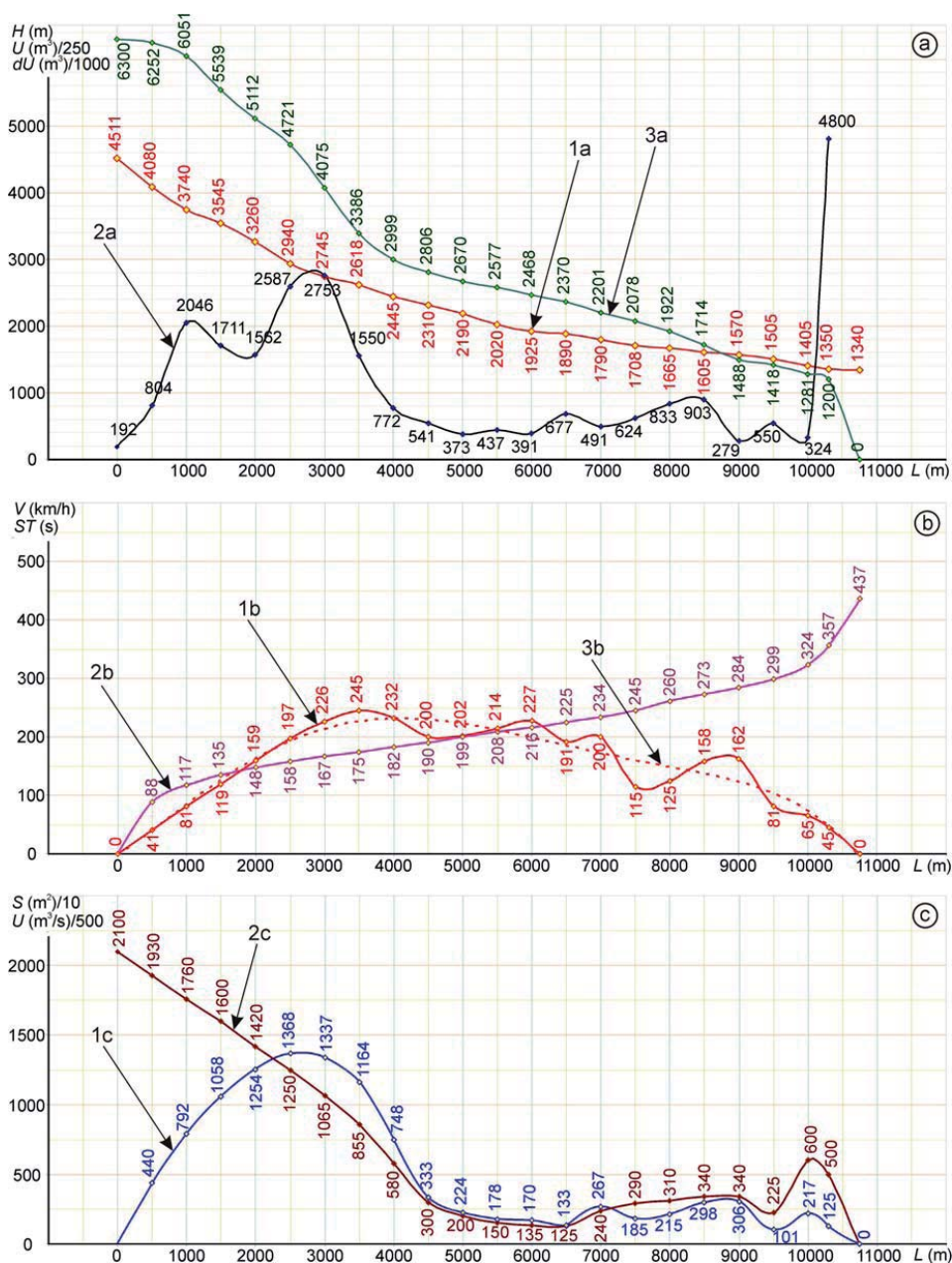
Оценка максимальных расходов потока – U<sub>t</sub> (м<sup>3</sup>/с) (таб. № 1; столбец 14); (рис. 6; линия 1с) выполнялась по рассчитанным скоростям потока – V (м/с) (табл. № 1; столбец 4); (рис. 6; ли-

ния 1b) и площадям поперечных сечений – S (м<sup>2</sup>) (табл. № 1; столбец 8); (рис. 6; линия 2с).

Для получения доступа к оценке объемов лавинного материала, покинувшего основной поток по пути своего продвижения вниз, понадобилось введение в расчет некоторых дополнительных критериев. Исходя из предположения, что предельный угол естественного откоса для рыхлых пород составляет 41°÷43°, применим параметр [1-tg(a)]. Заметим, что при углах наклона поверхности рельефа, близких к 45°, значение параметра [1-tg(a)] будет стремиться к 0, а при углах наклона, близких к 0°, значение параметра

[1-tg(a)] будет стремиться к 1. Логика проста: на склоне с крутизной, близкой к 45°, условия





**Рис. 6. Комплект графиков динамических параметров Девдоракского ледово-каменного обвала 17 мая 2014 года**

**Диаграмма «а»**

линия 1а: Продольный профиль по срединной линии потока лавины –  $H$  (м),  
линия 2а: График распределения объемов наплесков в пределах зоны транзита –  $U_i$  (м<sup>3</sup>)/250,  
линия 3а: Количество материала, проходящего через соответствующий створ –  $dU_i$  (м<sup>3</sup>) / 1000.

**Диаграмма «б»**

линия 1б: График скорости продвижения лавины –  $V$  (км/ч). Добавлен тренд (пунктир),  
линия 2б: Хронометраж продвижения фронта лавины –  $ST$  (с),  
линия 3б: Тренд по линии 1б графика скорости продвижения лавины.

**Диаграмма «с»**

линия 1с: Распределение показателя максимального расхода потока лавины –  $Ut$  (м<sup>3</sup>/с)/500,  
линия 2с: График изменения площадей поперечных сечений через поток лавины –  $S$  (м<sup>2</sup>) / 10.

(Применение масштабирующих коэффициентов к основным параметрам с целью удобного совмещения числового ряда разнородных шкал в рамках одной диаграммы является искусственным приемом и к расчетам не имеет никакого отношения).



для торможения лавины полностью отсутствуют, на горизонтальных площадках условия торможения наиболее благоприятны. Наряду с фактором крутизны площадки в границах зоны транзита  $[1-tg(a)]$ , сопутствующие потери материала будут пропорционально (в первом приближении) зависеть от актуальной величины основного потока –  $Ut$ . Исходя из этих соображений, темпы деградации лавины могут характеризоваться индексом благоприятности участка зоны транзита для аккумуляции объемов материала, покидающих основной поток:

$$Eff\ stop_i = [1-tg(a)] \cdot Ut_i; \quad (\text{таб. № 1; столбец 12}).$$

По оценкам объемов очагового пространства и аккумулятивного тела в долине р. Терек можно судить о количестве материала, отставшего от лавины:  $6\ 300\ 000\ \text{м}^3 - 1\ 200\ 000\ \text{м}^3 = 5\ 100\ 000\ \text{м}^3$ . Это количество материала распределяется по 500-метровым  $i$ -участкам пути транзита в долях, пропорциональных индексу благоприятности соответствующего участка –  $Eff\ stop_i$ :

$$U_i = 5\ 100\ 000 \cdot \frac{Eff\ stop_i}{\sum_{i=1}^{i=23} Eff\ stop_i};$$

(табл. № 1; столбец 13); (рис.6; линия 2а), где  $i$  – порядковый номер строки ( $i$ -участка) табл. 1.

В 15-м столбце таблицы выставлены значения объемов лавинного материала –  $dUi$  ( $\text{м}^3$ ), прошедших через соответствующий створ зоны транзита. Расчет выполнен с учетом объемов уже отставшего материала. (рис.6; линия 3а).

### АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Продольный профиль по пути движения лавины по фактору крутизны можно разделить на 4 участка:

1 – верхний 2,5-километровый ( $L = 2\ 500\ \text{м}$ ), наиболее крутой участок – от точки  $K1$  ( $H = 4\ 511\ \text{м}$ ) до среднего яруса Девдоракского ледника ( $H = 3\ 000\ \text{м}$ );

2 – участок транзита по языку ледника до входа в узкий речной врез ( $L = 4\ 200\ \text{м}$ ;  $H = 2\ 320\ \text{м}$ );

3 – участок транзита по

относительно прямолинейному врезу р. Амелишка до слияния с р. Чач ( $L = 7\ 200\ \text{м}$ ;  $H = 1\ 750\ \text{м}$ );  
4 – транзит по прямолинейному, осложненному лишь несколькими пологими поворотами, врезу р. Кабахи до створа ( $L = 9\ 500\ \text{м}$ ;  $H = 1\ 500\ \text{м}$ ).

На первом участке обрушенные массы фирна и скальной породы, свободно распространяясь по ширине, испытывали набор скорости, достигшей на третьем километре величины порядка  $230\div 250\ \text{км/ч}$ . Затем крутой правый поворот и постепенное защемление зоны транзита бортами ледниковой долины затормозили поток до скорости  $200\ \text{км/ч}$ , которая практически не менялась до области слияния с р. Чач, где лавинный поток вновь круто отбивался вправо. Скорость была снижена до  $120\ \text{км/ч}$ . На 4-м участке она немного возросла: до  $150\ \text{км/ч}$ . На рубеже ( $L = 9\ 500\ \text{м}$ ;  $H = 1\ 500\ \text{м}$ ) скорость потока, при прохождении крутого поворота влево, была снижена до  $80\ \text{км/ч}$ . С такой же скоростью, по-видимому, он выскочил в долину р. Терек ( $L = 10\ 300\ \text{м}$ ) и полностью аккумуляровался (по расчетам) за 81 секунду. От момента начала движения и до выхода в долину р. Терек (рис. 1; тчк. № 16) лавине понадобилось при таком скоростном режиме всего 356 секунд. На 436-й секунде поступательное движение потока было прекращено (рис. 1; отметка 1 336 м). Люди, попавшие в зону поражения и ставшие жертвами такого стремительного выброса, не имели шансов на спасение.

По пути транзита на первых двух километрах из потока было выведено  $1\ 578\ 000\ \text{м}^3$  лавин-

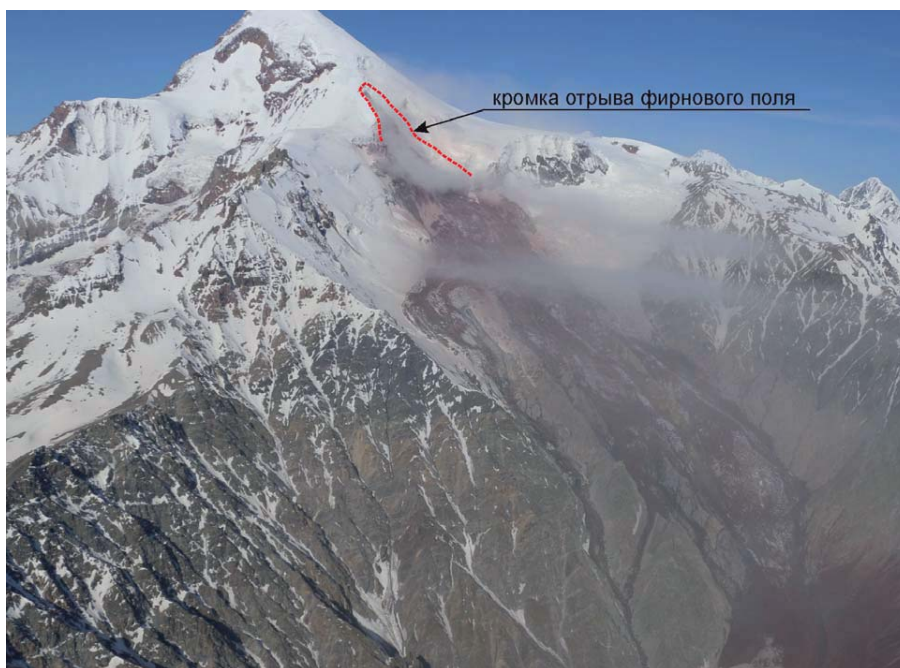
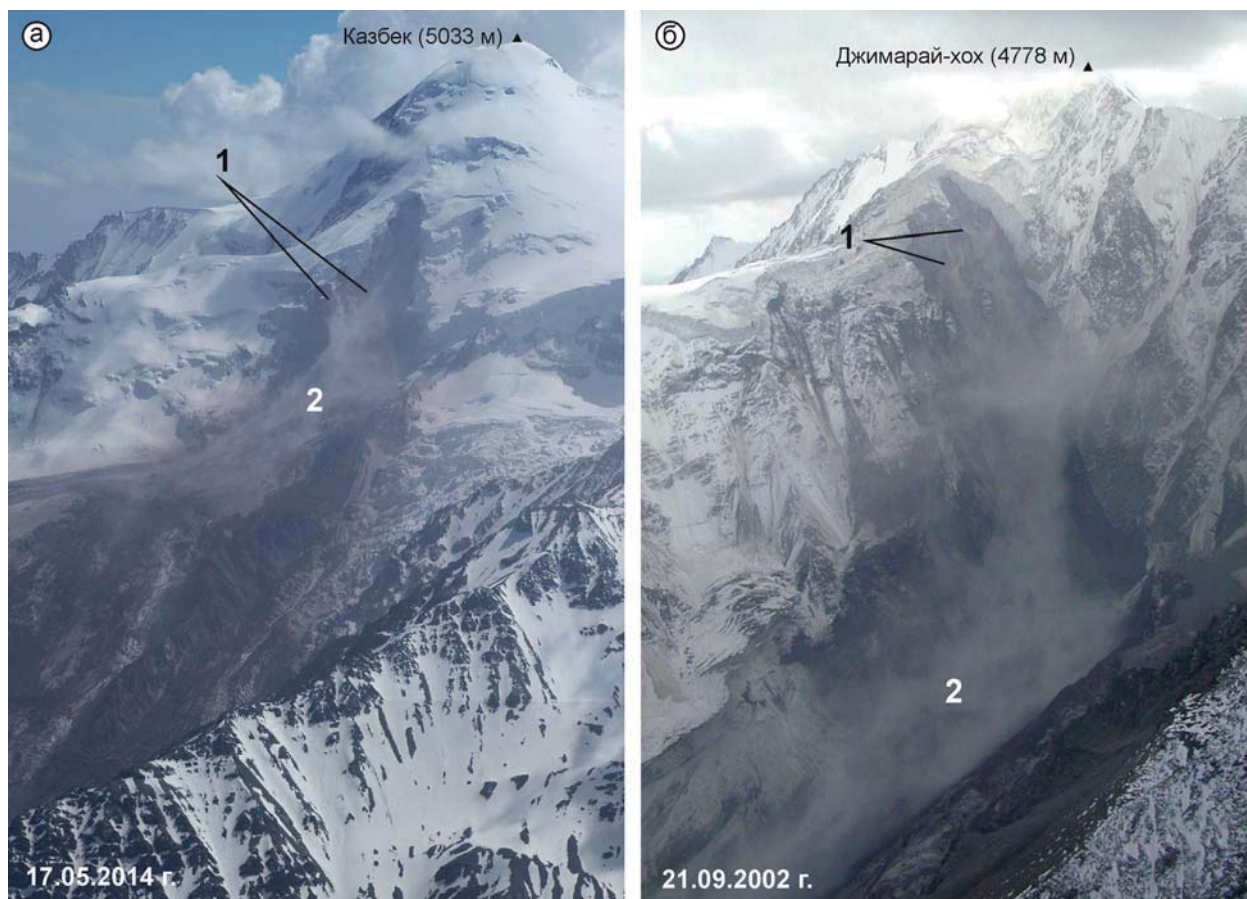


Рис. 7. Зона зарождения обвала. Фото Г. Гоциридзе, 17 мая 2014 г. Видны устойчивые облака, которые, по мнению Г. Гоциридзе, являются скоплениями вулканического газа



**Рис. 8. Фумарольные эманаии на склонах г. Казбек и г. Джимарай-хох**

1 – фумаролы; 2 – устойчивое облако белесого газа (предположительно – сернистого);  
 а – фумарольные эманаии в очаговой области обрушения фирнового поля с вершинного конуса вулкана Казбек 17.05.2014 г. Фото В. Тавасиева., НПП «Инфотерра»; б – фумарольные эманаии в очаговой области обрушения фирнового поля со склона вершины Джимарай-хох 21.09.2002 г. Фото И. Галушкина; НПП «Инфотерра»

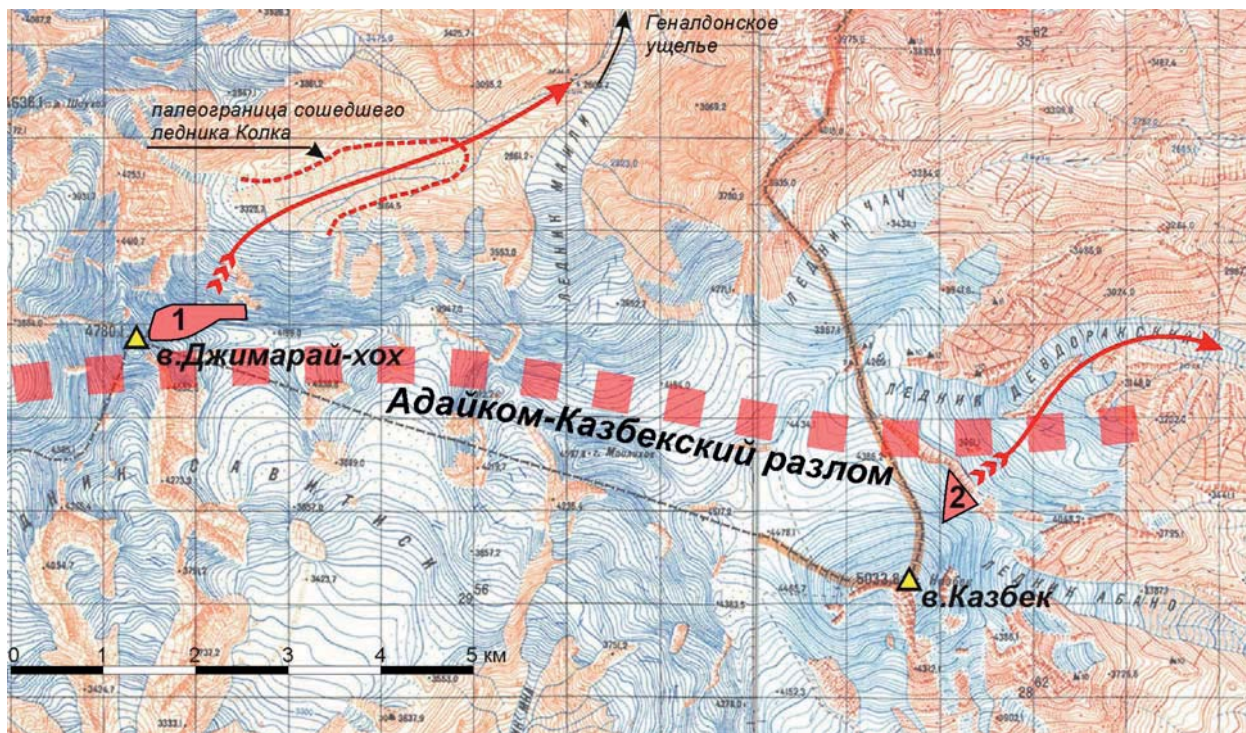
ного материала. Между  $L \sim 2\,000 \div 4\,500$  м (язык Девдоракского ледника) потоком потеряно еще  $2\,050\,000\text{ м}^3$ , во врезе р. Амелишка на дистанции  $L \sim 4\,500 \div 7\,200$  м оставлено  $748\,000\text{ м}^3$ . От слияния с р. Чач до завала на ВГД ( $L \sim 7\,200 \div 10\,000$  м) можно было 17 мая 2014 года найти еще  $722\,000\text{ м}^3$  фирна, смешанного с литогенным материалом. Остаток в количестве  $1\,200\,000\text{ м}^3$  аккумулировался в Дарьяльском ущелье, причем первые  $\frac{3}{4}$  этого объема были выброшены менее чем за 40 с. При оценке времени, затраченного на образование завального тела, принималось, что лавинное образование перед устьем р. Кабахи продвигалось со скоростью  $V = 22,5$  м/ч (табл. № 1; столбец 4). Протяженность от головной волны до хвостовой оконечности составляла на тот момент не менее  $1\,500 \div 1\,800$  м с постепенным уменьшением площади поперечного сечения от  $S = 2\,250\text{ м}^2$  до «0».

Величина интервала достоверности для результатов расчетов:  $\sigma = \pm 10\%$  будет вполне достаточной.

## О ПРИЧИНЕ КАТАСТРОФЫ

На перспективных аэрофотоснимках, выполненных 17 мая 2014 года непосредственно после катастрофического обрушения фирнового поля, четко просматриваются облака белесого газа, стекающего по обнажившимся скалам очаговой области (рис. 7, рис. 8а). При внимательном рассмотрении можно с уверенностью утверждать, что это – не пылевые облака и исходят они непосредственно из локальных выходов в скальном субстрате, т. е. фумарол. Через несколько часов эманаии газа исчезли. Не исключено, что активизация фумарольных эманаии произошла несколько ранее. Выходы нехолодного газа эндогенной природы на контакте скального субстрата с ледово-фирновым полем сопровождалась развитием термокарста. По мере продолжения этого разрушающего процесса всяческий ледово-фирновый массив терял целостность и как следствие – прочность, что привело его к осыпанию. С такой же картиной специалисты сталкивались





**Рис. 9.** Взаиморасположение очаговых областей обрушений фирновых полей, имеющих катастрофические последствия:

1. 20 сентября 2002 года в верховьях гляциального бассейна ледника Колка,
  2. 17 мая 2014 года в верховьях Девдоракского гляциального бассейна.
- Красными стрелками обозначены траектории движения обвалов.

при первичном обследовании очаговой области Геналдонской гляциальной катастрофы 21 сентября 2002 года, расположенной к западу от г. Казбек (рис. 8б; рис. 9). Аналогия фактов очевидна. Расстояние между этими двумя очагами – 9 км, и они локализованы в области Адайком-Казбекского глубинного разлома (рис. 9). Это тектоническое нарушение высокого ранга, имеющее субширотное простираение с крутыми углами падения на север, в геологическом восприятии, отделяет структурно-формационную зону Южного склона Кавказа от Мамисон-Казбекской зоны и зоны Главного хребта. Сам разлом по своему определению является зоной разуплотнения, а локальная активизация участков разлома может сопровождаться образованием каналов, соединяющихся с магматическими камерами, расположенными на небольшой глубине [3; 4].

После катастрофического обрушения ледника Колка в Геналдонском ущелье были инициированы фундаментальные геофизические исследования окрестностей Казбекского вулканического центра. Интерпретация результатов, полученных такими методами, как магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) [6], гравиметрическое зондирование [7] и дешифрирование тепловой космической съемки [8], однозначно указывала на повышение температуры и значительное разуплотнение геологической сре-

ды на глубинах 1 км (кровля) – 7 км (подошва) в направлении с севера к Казбекскому вулканическому сооружению [7]. Такие факты можно рассматривать как весомые признаки существования неглубоко расположенных магматических камер. В работе [8] отмечена тепловая аномалия на восточных склонах г. Казбек, выявленная еще в 2003 году при дешифрировании космических снимков ASTER.

## ВЫВОДЫ

Гравиметрическое зондирование по Геналдонскому профилю свидетельствует о наличии интенсивной отрицательной аномалии силы тяжести, начинающейся южнее с. Тменикау и прогрессирующей по направлению к г. Казбек. Такие градиентные зоны обычно бывают приурочены к крупным сбросам амплитудой порядка 0,5–1 км, перекрытым осадочными толщами. Однако наличие подобного объекта в данном регионе не подтверждается имеющейся геолого-геофизической информацией. Пока его можно трактовать, по аналогии с известной серией публикаций Авдулова и Короновского об интерпретации Эльбрусского гравитационного минимума [9], как разуплотнение геологической среды на небольшой глубине (первые километры), связанное с наличием еще не остывшего магматического тела под спящим вулканом Казбек [7].

Это предположение, безусловно, является предварительным, до получения новых гравиметрических и других геофизических данных. Однако оно подтверждается наличием значительно более горячих, чем в Приэльбрусье, минеральных источников по мере приближения к Казбеку, а также результатами электроразведки методом МТЗ и дистанционного теплового зондирования [6; 8]. Для более уверенной интерпретации потребуются дополнительные геофизические, геологические и гидрогеологические данные, в том числе результаты площадной гравиметрической съемки (по возможности). Это обеспечит корректное разделение наблюдаемого гравитационного поля на региональную часть, вызванную притяжением изостатических корней Кавказского

хребта, и локальную, обусловленную эффектом верхней части разреза, включая предполагаемую магматическую камеру [7]. Эволюция магматической камеры (или нескольких камер) вполне может оказаться первопричиной деградации покровного оледенения Казбеко-Джимарайского массива, сопровождающейся высокоскоростными экзогенными процессами катастрофического уровня [7; 8]. Комплексный геофизический мониторинг в зоне Казбекского вулканического центра позволит выявить тенденции развития магматического процесса, отследить динамику тепловых аномалий на поверхности и, вполне возможно, получить инструмент прогноза природных катастрофических проявлений на рассматриваемой территории.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Черноморец С.С. Новый Казбекский завал 17 мая 2014 года // Отчет о полевом обследовании 18–20 мая 2014 года. [http://rsk.land.ru/pdf/Chernomorets\\_Devdorak\\_2014.pdf](http://rsk.land.ru/pdf/Chernomorets_Devdorak_2014.pdf)
2. Evans S.G., Tutubalina O.V., Drobyshev V.N., Chernomorets S.S., McDougall S., Petrakov D.A., Hungr O. Catastrophic detachment and high-velocity long-runout flow of Kolka Glacier, Caucasus Mountains, Russia in 2002. // *Geomorphology*, vol. 105, Amsterdam, Netherlands: Elsevier, p. 314–321 (2009).
3. Дробышев В.Н. Анализ сейсмической обстановки на территории Северной Осетии в 2002 году // Биржа интеллектуальной собственности, МИПС, Т. VIII, 2009, № 6.
4. Нечаев Ю.В., Собисевич А.Л. Новые технологии мониторинга внутренней структуры вулканов // Вестник Владикавказского научного центра, 2007 г., № 4, том 7. С. 29–35.
5. Drobyshev, V. N. (2006), *Glacial catastrophe of 20 September 2002 in North Ossetia*, *Russ. J. Earth Sci.*, 8, ES4004, doi:10.2205/2006ES000207.
6. Арбузкин В.Н., Фельдман И.С., Трофименко Е.А. Результаты первого этапа электроразведочных работ АМТЗ и МТЗ в Геналдонском ущелье // Вестник Владикавказского научного центра, 2004 г., № 3, том 4. С. 12–24.
7. Копаев А.В., Гурбанов А.Г. Гравиметрические исследования в Геналдонском ущелье: первые результаты // Вестник Владикавказского научного центра, 2004 г., № 3, том 4. С. 9–11.
8. Корниенко С.Г., Ляшенко О.В., Гурбанов А.Г. Выявление признаков очагового магматизма в пределах Казбекского вулканического центров по данным тепловой космической съемки // Вестник Владикавказского научного центра, 2004 г., № 3, том 4. С. 25–32.
9. Абдулов М., Короновский Н.О. О геологической природе Эльбрусского гравитационного минимума // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология, 1993. № 3. С. 94–101

## MAIN TOPOGRAPHICAL DATA AND KINEMATICS OF THE DEVDORAKSKIY COLLAPSE ON MAY 17, 2014

V. N. Drobyshev<sup>1</sup>, H-M. Z. Torchinov<sup>2</sup>, O.V. Tutubalina<sup>3</sup>, H.M. Hubaev<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and the Government of the Republic North Ossetia-Alania.

<sup>2</sup> Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and the Government of the Republic North Ossetia-Alania.

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University.

<sup>4</sup> Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and the Government of the Republic North Ossetia-Alania

**Abstract.** In the present work, the material characterizing the main topographical and dynamic parameters of ice-rock collapse in the valley river Terek and Georgian Military road from the Devdorak glacier May 17, 2014. There is not unsubstantiated assumption about anticipatory activation of magmatic factor that played a role root cause that triggered a powerful exogenous movement catastrophic level in the area of Kazbegi volcanic centre.

**Keywords:** catastrophic process failure, the hypsometric parameters, fumarole emanations, kinematic parameters, magmatic chamber, thermal anomalies.