

О СЕЛЯХ 2011 ГОДА НА СЕВЕРНОМ СКЛОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

THE 2011 DEBRIS FLOWS ON THE NORTHERN SLOPE OF THE CENTRAL CAUCASUS

ДОКУКИН М.Д.

Старший научный сотрудник ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», к.г.н., г. Нальчик, inrush@bk.ru

ЧЕРНОМОРЕЦ С.С.

Старший научный сотрудник географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, devdorak@gmail.com

СЕЙНОВА И.Б.

Ведущий научный сотрудник Университетского центра инженерной геодинамики и мониторинга, к.г.н., г. Москва, seynova@gmail.com

БОГАЧЕНКО Е.М.

Начальник ФГБУ «Кабардино-Балкарский республиканский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды — филиала ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» (Кабардино-Балкарского ЦГМС), к.ф.-м.н., г. Нальчик, kbmeteo@rambler.ru

САВЕРНЮК Е.А.

Научный сотрудник ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик, savernyuk@rambler.ru

ТУТУБАЛИНА О.В.

Ведущий научный сотрудник географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, ovt20@cam.ac.uk

ДРОБЫШЕВ В.Н.

Инженер Владикавказского научного центра РАН и Правительства РСО — Алания (ВНЦ РАН), dvn4444@rambler.ru

ФЕОКТИСТОВА И.Г.

Гидролог I категории ФГБУ «Кабардино-Балкарский республиканский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» — филиала ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» (Кабардино-Балкарского ЦГМС), г. Нальчик, kbmeteo@rambler.ru

МИХАЙЛОВ В.О.

Аспирант географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, vladg27@rambler.ru

КОЛЫЧЕВ А.Г.

Ведущий инженер ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик, artur_kavkaz07@mail.ru

DOKUKIN M.D.

A senior staff scientist of the High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Ph.D. in Geography, inrush@bk.ru

CHERNOMORETS S.S.

A senior staff scientist of the geography faculty of the Lomonosov Moscow State University, Ph.D. in Geography, Moscow, devdorak@gmail.com

SEYNOVA I.B.

A leading staff scientist of the University Centre for Engineering Geodynamics and Monitoring, Ph.D. in Geography, Moscow, seynova@gmail.com

BOGACHENKO E.M.

The head of the Kabardian-Balkarian Meteorology Centre, Ph.D. in Physics and Mathematics, Nalchik, kbmeteo@rambler.ru

SAVERNYUK E.A.

A staff scientist of the High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, savernyuk@rambler.ru

TUTUBALINA O.V.

A leading staff scientist of the geography faculty of the Lomonosov Moscow State University, Ph.D. in Geography, Moscow, ovt20@cam.ac.uk

DROBYSHEV V.N.

An engineer of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and the Government of North Ossetia — Alania, Vladikavkaz, dvn4444@rambler.ru

FEOKTISTOVA I.G.

A hydrologist of the first rank of the Kabardian-Balkarian Meteorology Centre, Nalchik, kbmeteo@rambler.ru

MIKHAILOV V.O.

A postgraduate student of the geography faculty of the Lomonosov Moscow State University, Moscow, vladg27@rambler.ru

KOLYCHEV A.G.

A leading engineer of the High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, artur_kavkaz07@mail.ru

Ключевые слова: селевой поток; ливень; ледник; морена; ледниковое озеро; обвал; оползень; селевые отложения.

Аннотация: в статье приведены данные маршрутных и аэровизуальных обследований селепроявлений 2011 г. в бассейнах рек Баксан, Чегем, Черек, Ардон (Центральный Кавказ), результаты дешифрирования космических снимков разных лет, а также параметры ливней в дни схода селей по данным метеостанций, гидропостов и метеорологического радиолокатора МРЛ-5.

Key words: mudflow; debris flow; heavy shower; glacier; moraine; glacial lake; landfall; landslide; mudflow deposits.

Abstract: the article presents data of ground surveys and remote sensing of 2011 debris flows in the Baksan, Chegem, Cherek, Ardon rivers (the Central Caucasus), interpretation results of satellite images of various years, as well as parameters of heavy showers taken place during debris flows by the data of meteorological stations, gauging stations and the MRL-5 meteorological radar.

Введение

В июле и августе 2011 г. происходил массовый сход ливневых, ливнево-гляциальных и гляциальных селей в Кабардино-Балкарии и Северной Осетии — Алании со склонов Скалистого и Бокового хребтов Северного Кавказа в бассейнах рек Баксан, Чегем, Черек, Ардон, Фиагдон. Эти селевые потоки были вызваны ливнями, аномальным таянием ледников при повышенном температурном фоне, а также прорывом

озера. Ливневые осадки, в основном послужившие триггерным механизмом для их схода, зафиксированы на метеостанциях, гидропостях и с помощью локаторов. Материалом послужили гляциальные и коллювиально-гляциальные отложения, а также коллювиальные отложения скальных кулуаров, осыпных шлейфов, обвалов и оползней, делювиально-коллювиальные отложения склонов. Самые значительные потоки с объемами выносов более 100 тыс. м³ прошли в бассейнах рек Баксан и Черек

Балкарский — по долинам рек Герхожан-Су, Куллумкол-Су, Гюльчи-Су. Сели с объемами выносов более 10 тыс. м³ были отмечены в бассейнах рек Чегем, Черек Безенгийский, Черек Балкарский, Баксан — в долинах рек Адай-Су, Гитче-Наратлы, Циркли, Тарташлы, Азау, Тютю-Су. Этими селевыми потоками был причинен значительный ущерб: занесены автодороги и рекреационные зоны, повреждены газопроводы и водопроводы, разрушены опоры ЛЭП, временные постройки и полотно автодорог, заблокировано транспортное сообщение населенных пунктов и рекреационных зон.

Целью настоящей статьи является характеристика масштабов селепроявлений 2011 г. на Центральном Кавказе, условий и особенностей их формирования.

Исходные материалы

В конце XX — начале XXI века на Центральном Кавказе региональные исследования селевых процессов не проводились и поэтому сведения о сходах селей носили отрывочный характер. После сезонов массового схода селей в 1967, 1977 и 1983 гг.

селепроявления впервые охватили значительные по площади территории летом 2011 г. Для того чтобы в полной мере оценить их масштабы и разнообразие, при подготовке данной статьи объединили усилия специалисты ВГИ, МГУ, КБЦГМС и ВНИЦ РАН.

Факты, даты и места схода селей устанавливались в результате: непосредственных наблюдений экспедиции МГУ в долине реки Черек Балкарский; обследования последствий селей в Чегемском ущелье и в бассейне р. Герхожан-Су специалистами ВГИ и КБЦГМС; в бассейнах рек Кулдумкол-Су и Азау специалистами МГУ, ВГИ и КБЦГМС; в бассейне реки Цейдон специалистами ВГИ; вертолетных облетов; просмотра видеороликов из Интернета [15, 16, 18, 19]; опросов очевидцев; анализа сводок МЧС и Центра мониторинга состояния недр [7]; сравнительного дешифрирования космических снимков разных лет.

В работе использованы космические снимки с разрешением от 0,7 до 20 м — оперативные (SPOT 5 HRG от 26.07.2011 г. и 31.07.2011 г. и EROS B от 14.09.2011 г.), полученные в рамках проекта «Геопортал МГУ», и архивные (SPOT 5 от 21.09.2011 г., IRS P5 от 29.08.2009 г. и 05.10.2010 г., SPOT 4 от 05.08.2010 г. и 05.09.2010 г., GeoEye от 19.09.2009 г., IRS-1C/1D от 31.07.2007 г. и 02.09.2003 г.), свободно предоставленные ИТЦ «СканЭкс». Также использованы материалы интернет-сервисов Google Earth (космические снимки GeoEye от 16.10.2009 г. и WorldView-2 от 29.07.2011 г.), Bing Maps (космические снимки WorldView-2 от 31.08.2010 г. и 05.04.2012 г.), а также аэрофотоснимки и вертолетные снимки разных лет. Все перечисленные материалы послужили основой для дешифрирования и анализа динамики

очагов формирования селей, выявления ареалов их схода, определения площадей их отложений.

Методы исследований

В ходе исследований использовались как наземные, так и дистанционные методы наблюдений.

Космический снимок SPOT 5 от 21.09.2011 г. был получен географически привязанным по орбитальным данным. Дополнительная геометрическая коррекция и привязка с применением пакета программ ERDAS Imagine 9.1 и ArcGIS 10 проводились для наиболее детальных снимков EROS B, GeoEye, WorldView-2, снимков IRS, SPOT 5 от 31.07.2011 г. и 26.07.2011 г., а также для аэрофотоснимков.

В ходе маршрутных и аэровизуальных обследований, а также геодезических работ были определены параметры селевых потоков и уточнены результаты дешифрирования космических снимков.

При составлении сводной таблицы характеристик селепроявлений и селевых бассейнов авторы использовали нумерацию кадастра [8]. В ряде случаев морфометрические параметры селевых бассейнов, полученные в результате измерений по космическим снимкам, не совпадали с данными этого кадастра. Для целей статьи значения площадей бассейнов, длины и уклона русел принимались по фактическим данным селепроявлений 2011 г. Всего было выделено 22 участка селепроявлений, представляющих собой как селевые бассейны (по кадастру [8]), селевые потоки в которых достигали конусов выноса, так и бассейны меньших порядков и участки склонов с микроселями до зон аккумуляции (табл. 1, рис. 1). Участки микроселей, выявленные по космическим снимкам, поз-

волили оценить ареалы интенсивных селеобразующих ливней.

Для расчета скорости движения селевых потоков, сошедших по рекам Гюльчи-Су и Тарташпа, применялась методика, основанная на оценке величины центробежного эффекта, проявляющегося на поворотах в зоне транзита, по результатам геодезических измерений теодолитом среднего класса Т-15М, совмещенным с геодезическим лазерным дальномером TruPULSE 200B (с точностью 0,1 м), разработанная В.Н. Дробышевым для расчета скорости катастрофического ледово-каменного селя в Кармадонском ущелье [21]. Для оценки скорости и расхода селя в долине р. Герхожан-Су на участке поворота русла ниже оползня «Бузулган» использовалась формула из руководства [11].

Объем селевых отложений на конусах выноса подсчитывался приблизительно на основе данных о площади, полученных по результатам измерений на космоснимках, и мощности отложений, измеренной в маршрутах в отдельных точках с разрезами отложений и в сравнении с реперными точками фотомониторинга.

Для оценки количества осадков в день схода того или иного селя использовались данные метеостанций «Терскол», «Чегет», гидропостов «Тырныауз», «Нижний Чегем», ведомственного поста «Верхняя Балкария», результаты автоматизированных измерений радиолокатором МРЛ-5, расположенным на полигоне ВГИ «Кызбурун» в долине реки Баксан [1].

Особенности селепроявлений 2011 г.

1. Площадь селепроявлений

Селепроявления 2011 г. по площади значительно уступали массовым сходам

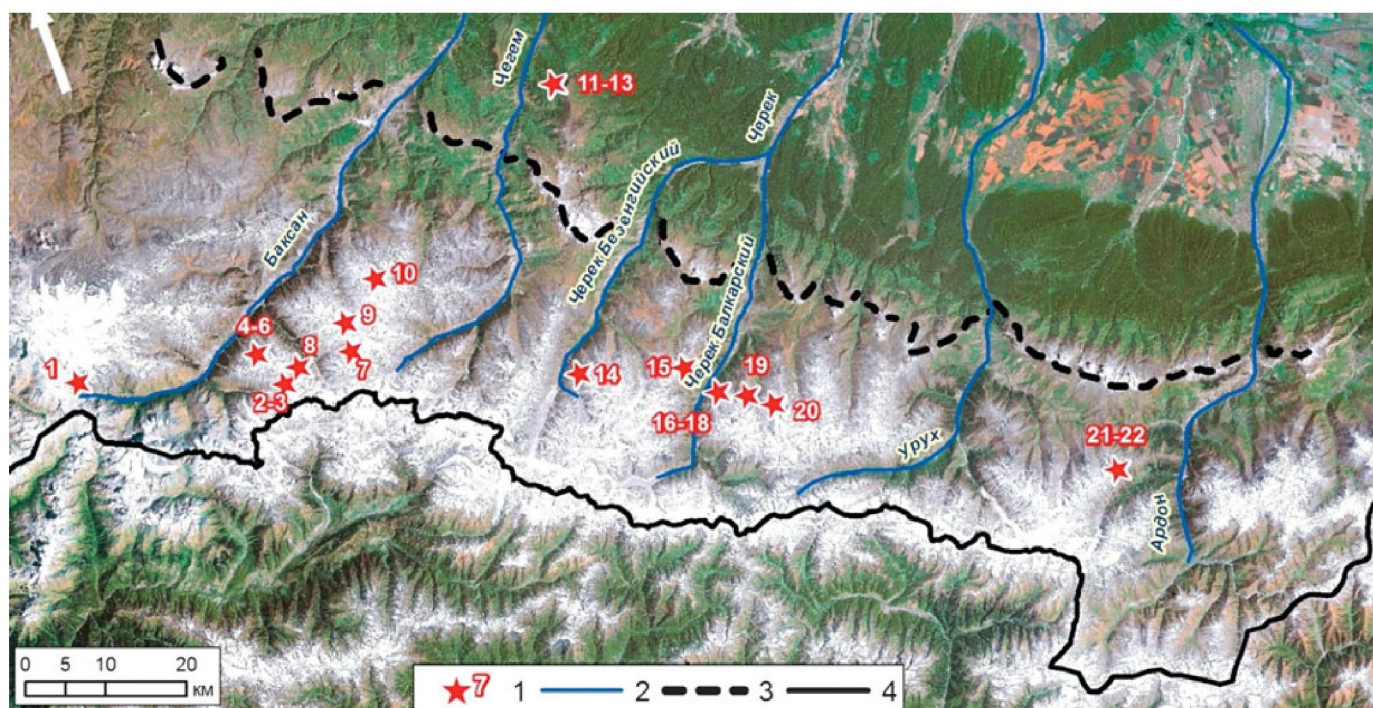


Рис. 1. Схема участков селепроявлений 2011 г. на северном склоне Центрального Кавказа: 1 — участок и его номер (см. табл. 1); 2 — река; 3 — Скалистый хребет; 4 — Водораздельный хребет

Сводный каталог селепроявлений 2011 г. в бассейнах рек Баксан, Чегем, Черек, Ардон

Бас- сейн реки	Селевой бассейн	№ по [8]	Селевой бассейн меньшего порядка	№ се- левого участ- ка	Площадь бассейна (селеактив- ная пло- щадь), км ²	Длина реки (селево- го рус- ла), км	Средний уклон селевого русла	Площадь отложений, тыс. м ²	Объем выноса, тыс. м ³	Примечание
Баксан	Малая Азау	2-28	-	1	15,1 (1,0)	2,5* (2,2)	0,38	17,8	15–18	Прорыв озера
	Адыл-Су	2-35	-	-	100,8	21,5*	-	-	-	-
			Джанкуат	2	(1,8)	2,2 (0,85)	0,35	10,8	5–6	Врез в морене ледника Койавган
				3	(0,8)	1,6 (0,22)	0,45	4,2	1–3	Врез в морене ледника Виатау
	Андырчи	2-37	-	4	4,6 (1,4)	2,4* (1,4)	0,36	-	-	Сошло 4 микроселя
	Курмычи	2-39	-	-	12,2	4,8* (1,4)	-	-	-	-
	-	-	-	5	(1,1)	1,4	0,39	-	-	Сошло 6 микроселей с левого склона
	-	-	-	6	(0,25)	1,7	0,41	-	-	Сошел 1 микросель с правого склона
	Адыр-Су	2-40	-	-	111,1	43,8*	-	-	-	-
			Куллумкол-Су	7	22,2 (8,0)	3,5 (2,9)	0,33	160 — зона отложений (106 — крупная фракция)	250–300	Селевой процесс продолжался более 3 дней
			Джаловчат	8	6,7 (0,5)	1,6 (1,6)	0,40	-	-	Сошло 3 микроселя с правого склона
	Тютю-Су	2-44	-	9	54,1 (2,5)	24,4* (1,6)	0,29	43,6	25–30	Сошел поток с ледника Большой Тютю (левая ветвь)
Чегем	Адай-Су	3-45	-	11	11,6 (11,6)	12,2* (5,3 и 4,0)	0,12 и 0,14	20	15–20	Длина и уклон приведены для рек Адай-Су и Сары-Жарлы-Су
			-	12	11,5 (11,5)	10,5* (4,5)	0,10	15	6–7	-
			-	13	0,12 (?)	1,6* (0,6)	0,37	15	6–7	-
Черек	Гитче-Наратлы	4-18	-	14	2,6 (1,4)	4,1* (1,1)	0,62	16	более 10	Площадь обвального массива 0,15 км ²
	Суддур-Су	4-41	-	15	3,7 (2,5)	3,6 (2,5)	0,67	-	5	Точная дата схода селя неизвестна (21.07 или 22.07)
	Циркли	4-50	-	16	1,1 (1,1)	2,7 (2,7)	0,51	5,9	10–15	-
	Тарташпа	4-50	-	17	1,6 (1,6)	2,6 (2,6)	0,5	5,2 на конусе, 7,0 в русле Черек-река	30–40	-
	Гюльчи-Су	4-51	-	18	11,0 (11,0)	5,7* (4,6)	0,57	48 на конусе, 20 в русле Черек-река	до 200	Максимальный размер глыб 13 м
	Рцывашки	4-53	-	-	54,2*	28,9*	-	-	-	-
			-	19	(2,5)	(1,1)	0,53	-	-	С левого склона сошло 4 микроселя
	-	-	-	20	(3,5)	(1,6)	0,39	зона отложений в русле р. Рцывашки 2,5 км длиной	-	С правого склона сошло 2 микроселя, с водосбора 1-го порядка сошел 1 селевой поток
Ардон	Цеядон	3-09	-	-	100,1*	28,3*	-	-	-	-
			Шачерпай-комдон	21	2,0 (2,0)	2,7 (2,7)	0,44	-	5–6	Объем выноса приведен по данным сводки [7]
			Комидон	22	3,3 (3,3)	3,2 (3,2)	0,42	-	5–6	

* Звездочкой отмечены параметры, взятые из кадастра [8].

Таблица 2

Осадки в день схода селей, зафиксированные метеостанциями, гидропостами и радиолокатором

Бассейн реки	Река	Время (дата) схода селя	Пункт измерения осадков	Осадки в день схода селя, мм	
				осадкомер	радиолокатор
Черек Балкарский	Гюльчи-Су, Тарташла, Циркли	16.07	с. Верхняя Балкария	25,0	31,2
			МС «Терскол»	9,4	
			МС «Чегет»	13,0	
Чегем	Адай-Су, Кийикчи-Су, Ырхыкол	21.07	с. Нижний Чегем	54,3	166,2
			МС «Терскол»	1,0	
			МС «Чегет»	4,3	
	Ырхыкол	ночь с 24.07 на 25.07	с. Нижний Чегем	40,0	101,7
Баксан	Герхожан-Су	03.08	г. Тырныауз	6,4	5,8
			МС «Терскол»	17,0	
			МС «Чегет»	21,7	

селей в 1967, 1977 и 1983 гг. За основу сравнения с этими аномальными сезонами были взяты площади бассейнов селеопасных рек.

В годы максимального развития селевых процессов ими были охвачены бассейны целиком. Например, в 1977 г. в бассейне р. Герхожан-Су сели прошли по обоим притокам (Сакапиль-Су и Кая-Арты-Су), в 1983 г. селевыми процессами была охвачена вся площадь бассейна р. Адыр-Су вплоть до конуса выноса (реки Куллумкол-Су, Джаловчат, Суллуккол-Су). Для 2011 г. за селеактивные были приняты только участки этих бассейнов (бассейны меньших порядков) и площади отложений на конусах выноса. Подсчет всех селеактивных площадей в бассейне реки Баксан с использованием данных публикаций [2, 12–14, 17] показал, что при площади бассейна реки Баксан 2303 км² (до створа в районе села Атажукино) селеактивная площадь составляла в 1983 г. около 500 км², в 1977 г. около 250 км², в 1967 г. около 100 км², а в 2011 г. немногим более 41 км². Всего в рассматриваемых бассейнах в 2011 г. селепроявлениями была охвачена площадь более 90 км² (см. табл. 1). Для участков склоновых микроселей площади отложений не подсчитывались.

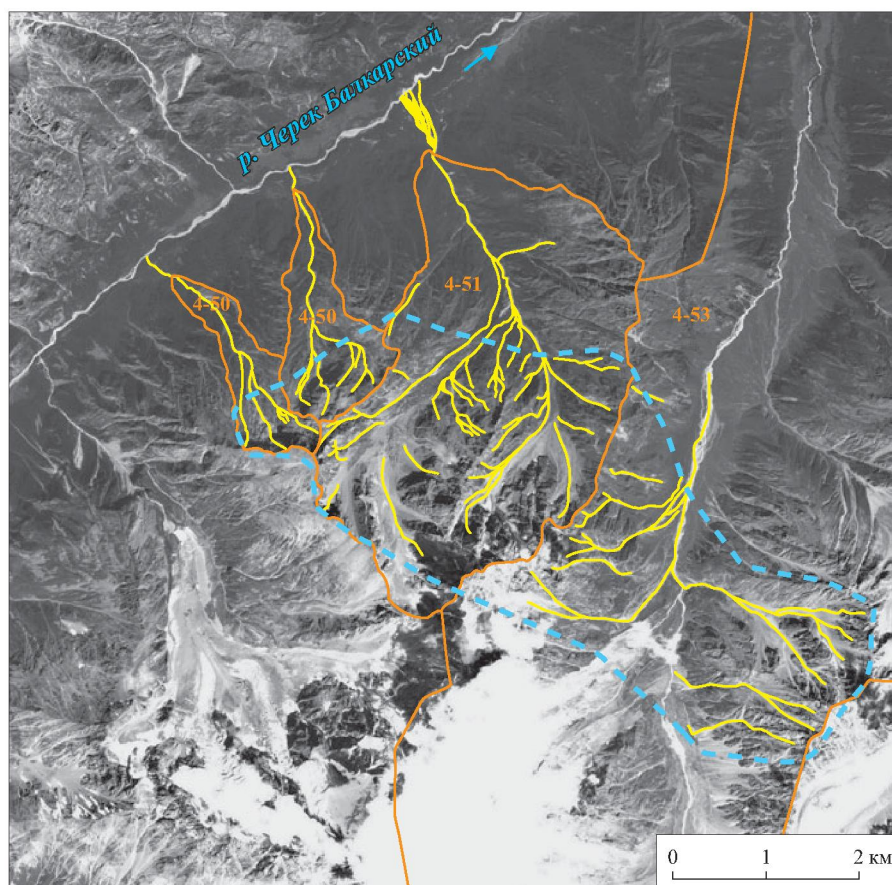
Наибольшие площади охвата селепроявлениями отмечены для селевых бассейнов Герхожан-Су, Куллумкол-Су, Адай-Су, Кийикчи-Су, Гюльчи-Су — от 8 до 24 км². Бассейн реки Ырхыкол имеет наименьшую площадь — 0,12 км², но селеактивная площадь в 2011 г. была значительно больше за счет вовлечения в селевой процесс ливневого стока по грунтовой дороге с верховьев соседних водосборных бассейнов.

2. Связь селепроявлений с осадками и температурой воздуха (генезис селей)

Установлена связь селепроявлений в бассейне реки Чегем (на реках Адай-Су, Кийикчи-Су, Ырхыкол) с выпадением ливневых осадков 21 и 24 июля (табл. 2), зафиксированных на гидропосту в поселке Нижний Чегем (54,3 и 40 мм) и с помощью

радиолокатора (166,2 и 101,7 мм) [1]. Данные локатора показывают, что в селевых бассейнах рек Адай-Су и Кийикчи-Су осадков было больше, чем в устьевой зоне, где стоял осадкомер (см. табл. 2).

Максимумы осадков наблюдались на локальных участках, поэтому часто они оставались незамеченными на метеостанциях и гидропостах. Например, 15 и 16 августа прошли ливни в бассейне реки Че-



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- Пути схода микроселей и селевые русла
- Границы селевых бассейнов и их номера по [8]:
4-50 – Циркли, Тарташла (слева направо); 4-51 – Гюльчи-Су; 4-53 – Рцывашки)
- Ареал наибольшей интенсивности ливня

Рис. 2 Ареал распространения многочисленных микроселей, вызванных локальным ливнем 16 июля 2011 г. в бассейне реки Черек Балкарский (фрагмент космического снимка SPOT 5 от 31.07.2011 г.)



Рис. 3. Поле крупноглыбовых отложений селя в долине р. Куллумкол-Су (фото Е.А. Савернюк)

рек. Наибольшее количество осадков (25 мм) было зафиксировано в ночь с 15 на 16 августа на посту в поселке Верхняя Балкария на высоте над уровнем моря 1149 м. Днем 16 августа осадков не было, в ночь с 16 на 17 августа согласно утреннему замеру выпало 3 мм. По этим данным можно было бы сделать вывод о том, что сели, сошедшие 16 августа после 20 часов по рекам Гюльчи-Су, Тарташла, Циркли, не были вызваны ливнем. На расстоянии 7 км

от устьевого створа бассейна р. Гюльчи-Су перед сходом селей дождя практически не было. Однако, по данным участников экспедиции, находившихся между реками Гюльчи-Су и Тарташла, перед прохождением селей была гроза с градом. Локатором в этот день над селевыми бассейнами было зарегистрировано 31,2 мм, что при условии выпадения 25 мм за 12 часов до селя можно считать достаточным для селеформирования.



Рис. 4. Исследователи селевых потоков (слева направо: К.Н. Носов, И.Б. Сейнова, И.В. Мальнева, Э.В. Запороженко, С.С. Черноморец) у одной из крупнейших глыб, вынесенных 16 июля 2011 г. рекой Гюльчи-Су в бассейне реки Черек Балкарский (фото Н.З. Мизирова)

Ареал локального ливня был установлен при дешифрировании космического снимка SPOT 5 от 31.07.2011 г. (рис. 2). Наиболее интенсивные ливневые осадки (возможно, больше 31 мм) охватили площадь около 15 км² в верховьях рек Циркли, Тарташла, Гюльчи-Су и Рцывашки (см. участки 16–20 на рис. 1 и в табл. 1). На этой площади выше отметок 2800–2900 м практически из каждого скального кулуара (микроводосбора) микроселями выносился обломочный материал. Ниже из подобных кулуаров микросели не сходили, не были отмечены и селепроявления в соседних ущельях рек Измялцы-Су, Ортозюрек, Ахсу, также изобилующих скальными селевыми очагами.

В ущельях Ортозюрека и Ахсу бассейна р. Карасу сели прошли в 2012 г. после ливня 19 августа. Они вызвали паводок на реке Черек Балкарский, в результате которого был разрушен мост в селе Верхняя Балкария.

По данным публикации [7], 16 июля в результате ливня прошли сели в бассейне реки Цейдон. В этот день метеостанцией СКВС «Нар», расположенной в 16 км от селевых бассейнов, зафиксировано всего 0,6 мм осадков.

В работе [5] проанализировано влияние температуры воздуха на сход селя 3 августа в бассейне р. Герхожан-Су. Селю предшествовало 9 дней со среднесуточными температурами воздуха, превышающими 10°C на высоте более 3000 м (по данным метеостанции «Чегет»). В день схода селя осадки были отмечены на метеостанциях «Терскол», «Чегет», на гидропосту «Тырныауз» (см. табл. 2). Максимальный зафиксированный слой осадков составил 21,7 мм. Относительно Герхожанского селя был сделан вывод о его гляциальном генезисе, так как данные локатора показали суммарные осадки в бассейне 5,8 мм — почти такие же, как и в Тырныаузе.

В результате дешифрирования космического снимка SPOT 5 от 21.09.2011 г. по ареалам микроселей были выявлены следы интенсивного ливня на склонах бассейнов рек Андырчи, Курмычи и в балке Джаловчат бассейна р. Адыр-Су (см. участки 4–6, 8 на рис. 1). Приуроченность склоновых микроселей к ливню 3 августа подтверждают очевидцы селепроявлений в балке Джаловчат.

Возможно, что ливень 3 августа способствовал сходу селей в бассейнах рек Джанкуат, Куллумкол-Су, но при этом ведущим фактором селеформирования оставались высокие температуры воздуха, вызвавшие интенсивное таяние ледников. Среднесуточные температуры воздуха на высоте 3000 м достигали 15–16°C. О прохождении ливня с градом в ущелье Адыр-Су говорят очевидцы В.П. Петухов, Е. Леви, М. Луканичев, находившиеся в день схода неординарного селя в бассейне р. Куллумкол-Су. Селепроявления фиксировались в нем ежедневно с 30 июня по 3 августа, когда дождей не было. Паводок на р. Адыр-Су был отмечен 1 августа. Возможно, в эти жаркие дни сформировался

и сель в верховьях р. Тютю-Су, следы которого видны ниже участка ледника с характерным гротом.

Таким образом, селевые потоки 3 августа в бассейне реки Баксан на водосборах ледникового питания можно считать ливнево-гляциальными и гляциальными.

3. Параметры селей

Объемы отложенного на конусах выноса селевого материала рек Герхожан-Су и Гюльчи-Су достигали 200 тыс. м³, а река Куллумкол-Су вынесла до 300 тыс. м³ глыбового и песчаного материала (рис. 3, 4). Это связано с тем, что очаги твердого питания в этих бассейнах в основном представлены гляциальными и коллювиально-гляциальными отложениями значительной мощности и что практически отсутствовали зоны промежуточной аккумуляции.

По крупности перенесенного обломочного материала уникальными являются отложения селя р. Гюльчи-Су. Поперечник нескольких глыб гранитов превышал 6 м (рис. 4) и достигал максимума 13 м. Среди селевых отложений встречались еще и глыбы льда, что подтверждает коллювиально-гляциальный генезис отложений в верховьях, которые содержат в своем составе мертвые и погребенные льды. В заполнители селевых отложений преобладает гравийная фракция, что характерно для продуктов разрушения гранитов.

В результате геодезических измерений авторами были построены поперечные профили и план русловой зоны р. Гюльчи-Су и по этим данным рассчитаны скорость потока и максимальный расход селя. Он составил порядка 1800 м³/с на участке со скоростью движения 12 м/с.

Сходы селей по р. Гюльчи-Су были отмечены в 1953, 1960, 1966 и 1977 гг. [8].

Подобные детальные исследования в других бассейнах не проводились. В бассейне р. Герхожан-Су на участке скального русла ниже оползня «Бузулган» проведены замеры поперечного сечения потока с разновысокими отметками на левом и правом берегах, по которым была вычислена скорость потока. Она достигала 7 м/с, а приблизительный расход селя в этом месте составил до 700 м³/с [5]. Селевыми массами реки Герхожан-Су подруживалась река Баксан, уровень которой поднимался на 1,5 м. По следам высшего селевого горизонта на скалах верхнего гранитного ущелья р. Каяарты-Су определено, что расход селя на этом участке в 2011 г. был таким же, как и в 2000 г.

По площади отложений лидером является конус выноса р. Куллумкол-Су, где ниже участка глыбовых отложений без заполнителя площадью 106 тыс. м² происходило отложение песчаной и песчано-гравийной фракции. Общая площадь зоны отложений составила 160 тыс. м².

Особенностью зоны отложений селей р. Гитче Наратлы является наличие в массе щебнисто-мелкоглыбовой фракции селевых отложений глыб поперечником до 5–6 м, ранее принесенных обвалом.



Рис. 5. Следы прорывного паводка на поверхности ледника Каяартыбаши (фото М.Д. Докукина, 15.08.2011 г.): 1 — участок выхода потока талых вод на поверхность; 2 — участок входа в подморенный туннель; 3 — участок выхода потока из подморенного туннеля

В выносах из балки Ырхыкол в Чегемском ущелье встречаются крупные глыбы размером до 2–3 м.

4. Разнообразие типов селевых очагов и механизмов селеформирования

В 2011 г. зарождение селей происходило в традиционных действующих (в селевых врезках в конечно-моренных комплексах и коллювиально-гляциальных массивах, в скальных очагах рассредоточенного селеобразования, во врезках в древних гляциальных и деляпсивных отложениях) и новых (во врезе на конечно-моренном комплексе ледника Западный Джайлык, в свежем обвальном массиве в долине р. Гитче-Наратлы) очагах твердого питания, а также на новых участках формирования водных импульсов (в верхнем цирке лед-

ника Каяартыбаши, в новом направлении прорыва озера у ледника Малый Азау, в месте прорыва озера на леднике Западный Джайлык).

Особенностью селеформирования в балке Ырхыкол стало действие антропогенного фактора.

Формирование прорывных паводков на ледниках

При обследовании следов прохождения селя 3 августа 2011 г. по р. Кая-Арты-Су была выявлена его причина, которая ранее не фигурировала в списке возможных причин предыдущих селей [5]. Первоначальный водный импульс селя своим происхождением обязан прорыву талых ледниковых вод, накопление кото-



Рис. 6. Нижняя часть нового селевого вреза на участке отложений внутридолинного конуса выноса в долине р. Куллумкол-Су (фото М.Д. Докукина, 05.06.2011 г.). Справа на бровке вреза — фигуры людей

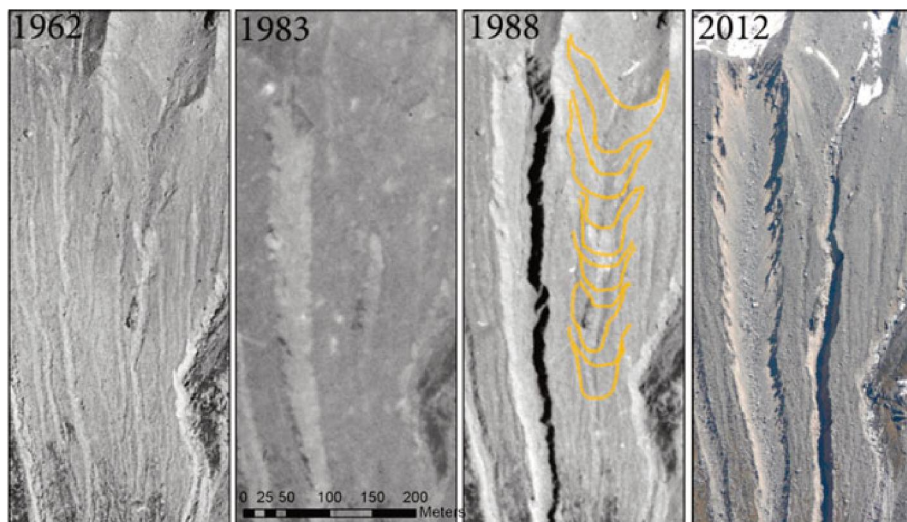


Рис. 7. Формирование и развитие селевых врезов на конечно-моренном комплексе ледника Западный Джайлык в верховьях р. Куллумкол-Су: 1962–1988 гг. — аэрофотоснимки, 2012 г. — вертолетный снимок М.Д. Докукина 04.06.2012 г. Дугами желтого цвета обозначены конечно-моренные валы

рых происходило в районе верхнего цирка ледника Каяартыбаши в подледниковых условиях или в толще ледника. Выход на поверхность концентрированного потока талых ледниковых вод произошел на участке ледораздела между восточным и западным языками ледника Каяартыбаши (рис. 6). Трансформация паводка в селевой поток происходила в районе верхнего моренного каньона в результате донной и боковой эрозии и обрушений блоков морены и коллювиальных шлейфов. Такие паводки могут образоваться при условии максимальной абляции в районе верхнего цирка, когда почти вся его поверхность освобождается от снежного покрова, как это было в 2011 г., в 1999 г. и, возможно, в 2000 г., но не наблюдалось в 2012 г.

Нарастание мощи селевого потока происходило в районе нижнего моренного каньона и оползня «Бузулган» в результате заторно-прорывного характера движения из-за многочисленных обрушений блоков коллювиальных шлейфов и делювиально-коллювиального чехла склонов.

Сель на участке № 9 (см. табл. 1) в бассейне р. Тютю-Су, возможно, также сформировался в результате гляциального паводка.

Формирование и развитие селевых врезов на моренах

Самый значительный сель в 2011 г. сформировался в долине р. Куллумкол-Су бассейна р. Адыр-Су. В этой долине сходы селей отмечены в 1911, 1936, 1940, 1947,

1953, 1958, 1961, 1966, 1973, 1979, 1980, 1983 гг. [13].

С 30 июня по 3 августа на массиве моренного комплекса ледника Западный Джайлык происходило формирование нового вреза протяженностью до 1400 м, шириной 22–28 м и глубиной до 10–15 м (рис. 7). Моренный комплекс до схода селя морфологически был выражен серией конечно-моренных валов типа фронтальных пьедесталов по типизации [3], что хорошо видно на рис. 6 (в 1962 и 1988 гг.).

Подобные процессы формирования врезов отмечались и ранее, максимума они достигли в 1983 г., когда селом был уничтожен альплагерь «Джайлык» [6].

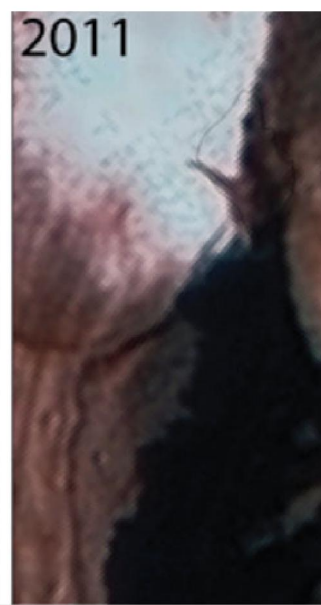
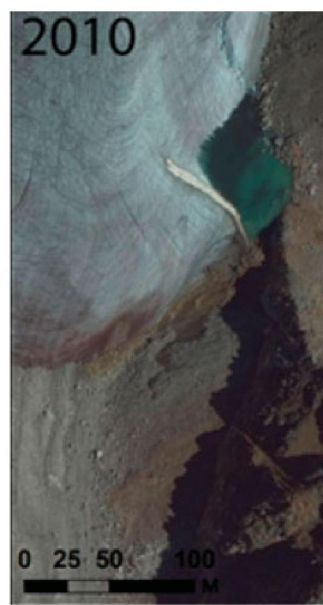
В 1983 г. врез образовался на фронтальном пьедестальном моренном комплексе, в котором конечные морены слились в единый массив с почти неразличимыми границами отдельных валов. Ширина вреза, образовавшегося в 1983 г., за последние 28 лет увеличилась с 50 до 85 м. В период с 1983 по 1988 г., как показывает сравнение аэрофотоснимков, в этом врезе сформировался значительный сель, образовавший новое поле отложений в пределах конуса выноса в долине Адыр-Су.

В отличие от 1983 г. в 2011 г. отложения селевого материала у подножия конечно-моренного комплекса не происходило. Весь материал в результате эрозионной деятельности потоков талых ледниковых вод, усиленных ливневым стоком, вынесен на конус выноса р. Куллумкол-Су.

Формирование селевого вреза могло быть спровоцировано паводком, следы которого видны на леднике Западный Джайлык ближе к правому краю (снимок SPOT 5 от 21.09.2011 г.). Выше этих следов эрозии расположен разбитый трещинами правый поток ледника, начинающийся у подножия г. Тютюбаши (4404 м). Возможно, накопление воды в леднике и дальнейший



а



б

Рис. 8. Озеро на леднике Западный Джайлык до и после прорыва: а — фото Е. Леви (2010 г.), б — фрагмент космического снимка WorldView-2 от 31.08.2010 г. с интернет-сервиса Bing Maps (2010 г.), фрагмент космического снимка SPOT 5 (21.09.2011 г.). Хорошо видны следы эрозии прорывного паводка на поверхности ледника и на морене

прорыв связаны с «мини-пульсацией» этого ледникового потока.

Особенностью крупномасштабных эрозионных процессов на моренах пьедестального типа является то, что они происходят в тот момент, когда моренные массивы приходят в неустойчивое состояние после длительного периода эволюции, продолжавшегося десятки или сотни лет. Своевременное распознавание наличия таких моренных комплексов позволит оценить потенциальную селевую опасность и максимально возможные объемы единовременных селевых выносов.

В результате анализа эволюции моренного комплекса за период 1957–1988 гг. было выявлено, что селевые потоки в новых врезках сходили неоднократно. Это позволяет предположить, что в будущем формирование селей в новом врезе продолжится.

В пределах ледниково-моренного комплекса Западный Джайлык в результате сравнительного дешифрирования космических снимков в 2011 г. был выявлен прорыв небольшого озера, располагавшегося у левого края языка ледника (рис. 8). Площадь этого озера в 2010 г. составляла 2750 м². Сток воды из него осуществлялся в южном направлении. Существование данного озера выявлено на аэрофотоснимках 1978 г. и 1983 г., в 2007 и 2009 гг. подтверждено дешифрированием космоснимков IRS P5 от 29.08.2009 г. и IRS-1C/1D от 31.07.2007 г. Русло, по которому прошел прорывной паводок в 2011 г., впадает в новый селевой врез у окончания последнего, вследствие чего можно констатировать, что прорыв озера не стал причиной формирования нового селевого вреза.

С развитием существующих селевых врезов связано формирование селей на моренах ледников Койавган и Виатау в бассейне р. Адыл-Су (см. участки № 2 и № 3 в табл. 1).

Особенностью эволюции врезов в гляциально-коллювиальных массивах является заполнение их отложениями снежных лавин и камнепадов после прохождения селей и возможность развития оплывинного механизма селеформирования в результате таяния погребенных льдов и снежников.

В верховьях р. Гюльчи-Су сели при интенсивных ливнях формируются во врезе протяженностью около 2000 м, пересекающем разновозрастные генерации гляциально-коллювиальных отложений (рис. 9).

За период с 1957 г. по настоящее время сформировался новый массив гляциально-коллювиальных отложений (см. № 2 на снимке 2011 г. на рис. 9). Сель 1953 г., следы которого видны на аэрофотоснимке, образовал более значительный врез, чем в 2011 г. Выпуклый характер его отложений на конусе выноса говорит о больших мощностях и объеме, превышающих таковые для отложений 2011 г. как минимум в 1,5 раза. Эрозионная деятельность селя 2011 г. не затронула новый гляциально-коллювиальный массив, который полностью скрыл следы селя 1953 г. Это говорит о том, что селевой очаг р. Гюльчи-Су еще не реализовал свой огромный по-

тенциал и в будущем следует ожидать селей, по масштабам не меньших, чем в 1953 и 2011 гг.

Активизация селей в очаге обвального типа в бассейне реки Черек Безенгийский

В последние годы наибольшую селевую активность в бассейне реки Черек Безенгийский проявляет новый селевой очаг, обязанный своим происхождением обвальным процессам, происходящим на левом склоне долины р. Гитче-Наратлы в течение последних 10 лет (рис. 10). Дно ущелья завалено обвальными массами до высоты 50–70 м. Площадь проекции обвального массива составляет 0,15 км², протяженность от вершины обвального конуса до начала селевого конуса выноса превышает 1 км. По грубым подсчетам объем накопившегося материала достигает 5 млн м³.

Согласно геологической карте Кабардино-Балкарской АССР масштаба 1:100 000, составленной в 1963 г. В.П. Павловым и В.А. Снежко, обвальные процессы на этом участке связаны с разломом, разделяющим блоки пород разного состава и возраста — палеозойских гранитов и протерозойских кристаллических сланцев безенгийской свиты. Источник обвалов — раздробленный скальный массив гранитов и сланцев, в котором сосредоточены и крупные глыбы, и щебнистый материал. Коренные породы перекрыты чехлом древних ледниковых отложений, благодаря чему в составе обвальных масс в избытке присутствует мелкозем, что облегчает формирование грязекаменной массы. Возможной причиной активизации обвальных процессов является оттаивание и увлажнение многолетнемерзлых ледниковых отложений и коренных пород.

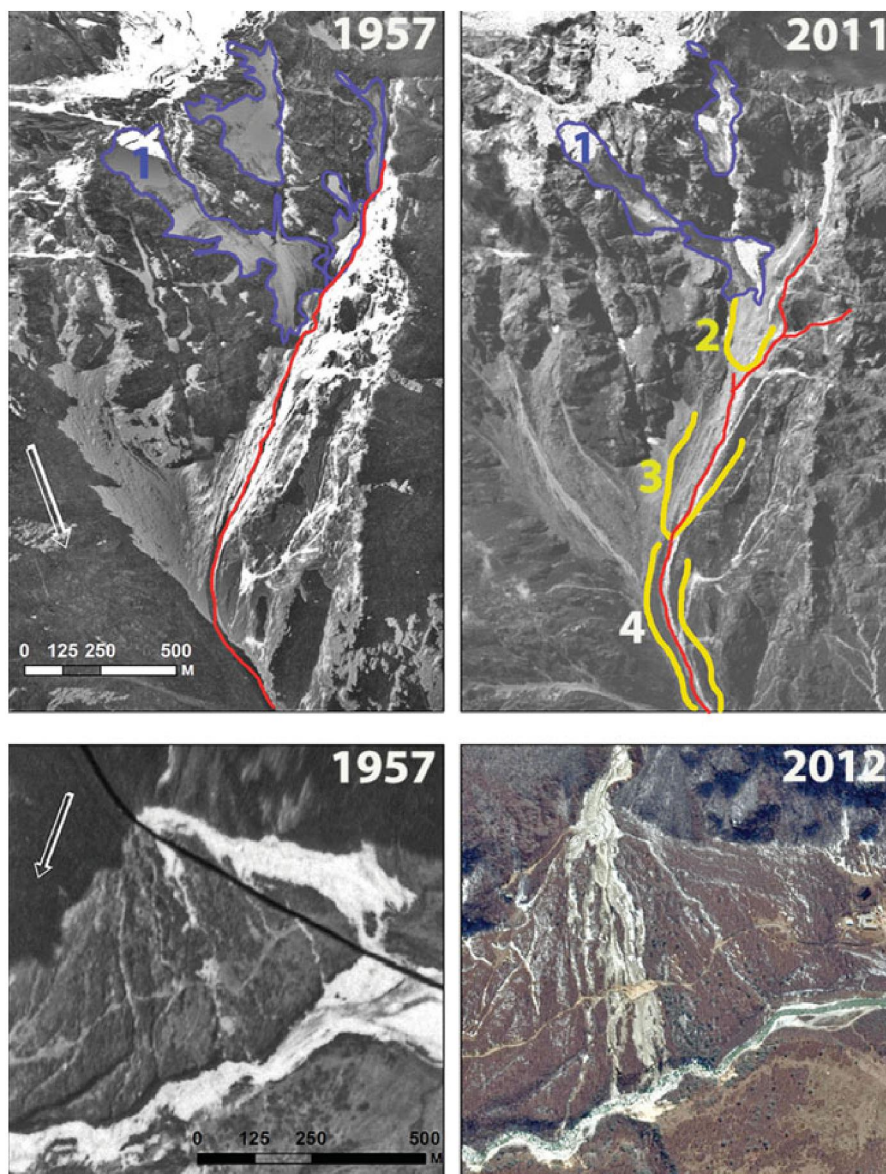


Рис. 9. Селевой очаг в верховьях р. Гюльчи-Су и конус выноса со следами прохождения селей в 1953 и 2011 гг.: 1 — ледники; 2 — современные гляциально-коллювиальные отложения; 3, 4 — отложения поздних возрастных генераций; линии красного цвета обозначают селевые врезы; 1957 г. — фрагменты аэрофотоснимка 10.09.1957 г.; 2011 г. — фрагмент космического снимка SPOT 5 от 31.07.2011 г.; 2012 г. — фрагмент космического снимка WorldView-2 от 05.04.2012 г.

Зона отрыва активно развивается, и обвальные процессы еще далеки от стадии затухания. Возможно, что в составе обвального массива присутствует захороненный снег снежных лавин, сходявших каждую зиму и перекрытых обвальными обломками, так как по результатам опроса очевидцев обвальные процессы на данном участке не прекращаются даже зимой.

Селевые процессы в долине р. Гитче-Наратлы находятся в самой активной фазе, когда после каждого ливня возможны заносы дороги к альплагерю «Безенги» селевыми массами. Объемы единовременных выносов превышают 10 тыс. м³. Протяженность участка дороги на конусе выноса составляет 850 м. Равновероятно, что любой ее участок может быть занесен селевыми массами. В результате селя 15.07.2011 г. протяженность завала составила более 100 м. В следующем году дорога также была занесена селевыми отложениями, но уже на другом участке. При обследовании 19.08.2012 г. были выявлены следы свежего селя, выносы которого не достигли дороги.

Прорыв озера у ледника Малый Азау

В спектре селепроявлений 2011 г. особое место занимает случай прорыва озера

Малое Азау у ледника Малый Азау в третьей декаде августа.

В 2005 г. по данным [9] площадь озера составляла 19,8 тыс. м², средняя глубина — 3,4 м, максимальная глубина — 8,3 м, объем — 66,7 тыс. м³. Западнее долгое время существовало еще одно озеро (см. снимок 1975 г. на рис. 10). Оно прорвалось в 1978 г. [14].

Факт прорыва озера Малое Азау в 2011 г. был установлен авторами в результате сравнительного дешифрирования космического снимка SPOT 5 от 21.09.2011 г. и снимка GeoEye от 19.09.2009 г. (рис. 11) и подтвержден обследованием, выполненным в 2012 г. Дальнейший анализ снимков показал, что прорыв готовился несколько лет: постепенно деградировала ледяная гряда срединной морены, ставшая плотинной озера в результате наступания ледника Малый Азау в 1990-х гг.

Сравнение снимков 1988 и 2009 гг. показало, что в 90-х гг. XX века ледник Малый Азау наступал, причем направления потоков льда были несколько иными, чем в предыдущие годы. Результатом наступления ледника стала серия срединных морен из трех ледяных гряд, сдерживавших озеро с востока. К 2009 г. крайняя восточная гряда на участке поворота растаяла с образова-

нием залива. Через два года в конце августа 2011 г. гряда понизилась до уровня озера и произошел перелив воды из озера, подобный прорыву озера Восточное Бирджалы в 2006 г. [20]. Площадь озера сократилась с 17,7 до 11,6 тыс. м². Его уровень понизился на 0,8–1,0 м. Объем вытекшей воды, который составил около 11–12 тыс. м³, был определен исходя из величины падения уровня и изменения площади озера.

В результате эрозионной деятельности прорывной паводок трансформировался в селя, который отложил новый конус выноса площадью около 18 тыс. м² на дне долины р. Азау.

Прорыв озера у ледника Малый Азау еще раз показал, что гряды срединных морен, служащие плотинами озер, обречены на прорыв [4]. В случае своевременного обнаружения таких участков можно установить наблюдение за озером и оповестить население и власти о его готовящемся прорыве.

Антропогенный фактор селеформирования в балке Ырхыкол в бассейне реки Чегем

Сели по балке Ырхыкол сходили в 2011 (см. табл. 1, 2) и 2012 гг. Ранее были

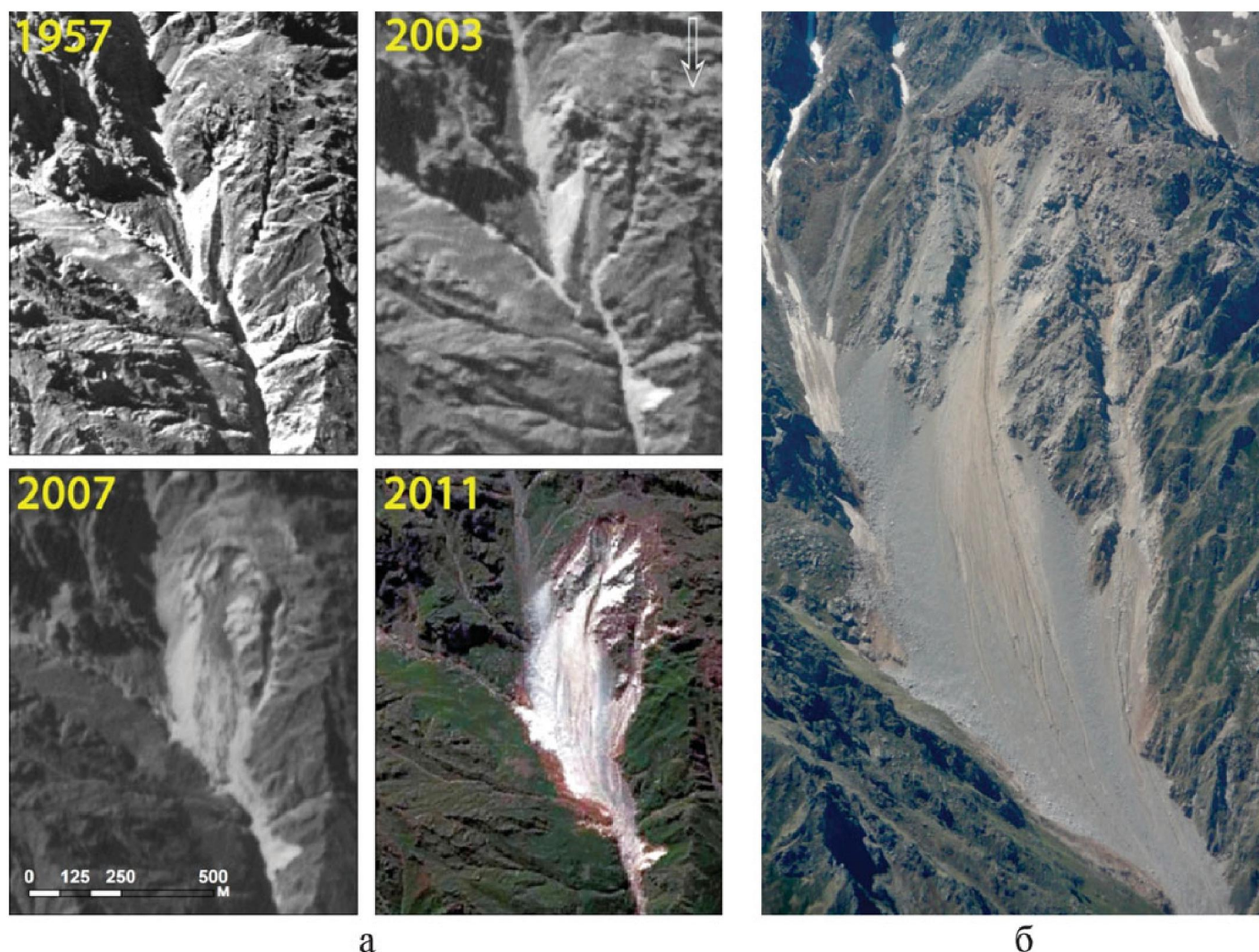


Рис. 10. Активизация обвальных и селевых процессов на левом склоне долины р. Гитче-Наратлы в бассейне реки Черек Безенгийский: а — аэрофотоснимок (1957 г.); космические снимки IRS-1C/1D от 02.09.2003 г. и 31.07.2007 г.; космический снимок WorldView-2 от 29.07.2011 (© Google); б — вертолетный снимок М.Д. Докукина (04.06.2012 г.)

зафиксированы сели в 1924, 1927, 1940, 1947, 1954, 1963, 1966, 1967, 1977, 1982, 1983, 1984, 1987, 1988 и в 1993 гг. Селевой очаг длиной около 550 м представляет собой узкий V-образный врез с высотой обнаженных склонов, сложенных древними моренами, до 10–12 м (рис. 12). Склоны выше вреза относятся к другим водосборным бассейнам. По ним проложена дорога, которая тянется с водораздельной области рек Аманкол, Каменка и Кийикчи-Су. Ливневый сток с водораздельных площадей устремился по дороге, образовав серию рытвин шириной до 5–10 м, и затем направился в балку Ырхыкол (рис. 13). Таким образом, площадь водосборного бассейна многократно увеличилась.

Границы образовавшегося водосборного бассейна можно определить только по результатам полевых геодезических измерений, так как имеющаяся карта масштаба 1:25 000 не передает всех особенностей рельефа. По этой причине в табл. 1 селеактивная площадь 2011 г. для балки Ырхыкол не указана.

Выводы

Предположение об увеличении опасности формирования селей на Центральном Кавказе в 2011–2012 гг., сделанное в работе [10] на основе анализа циркуляционных механизмов, можно считать оправдавшимся. В 2012 г. также возникали чрезвычайные ситуации, связанные с прохождением интенсивных ливней. Селевые потоки, сошедшие в 2011 г., создали предпосылки для сохранения селевой активности в 2012 г., которая отмечена как в высокогорных, так и в низкогорных бассейнах.

Постепенное потепление климата приводит к тому, что поднимается граница нивальной зоны и в селевые процессы вовлекаются значительные площади скальных массивов с интенсивным морозным выветриванием, способствующим накоплению рыхлообломочного материала в верхнем поясе гор. Наблюдается тенденция активизации очагов селеобразования в нивально-коллювиальных и коллювиально-гляциальных отложениях, подобных очагам в бассейнах рек Гюльчи-Су, Сылык-Су, Ортозюрек, связанная с увеличением количества локальных интенсивных ливней в высокогорной зоне. Увеличивается количество гляциальных прорывных паводков, связанное с ростом площади абляции ледников.

При сохранении роста продолжительности северной и южной меридиональных групп циркуляции в будущем возможно увеличение площади селепроявлений аналогично массовым сходам селей в 1977 и 1983 гг. В этом случае следует ожидать увеличения масштабов селепроявлений на участках, селевая деятельность которых ранее находилась на низком уровне.

Возможно, что в ближайшие годы сформируется новый селевой очаг в коллювиально-гляциальных отложениях у подножия горы Андырчи (пика МНР), так

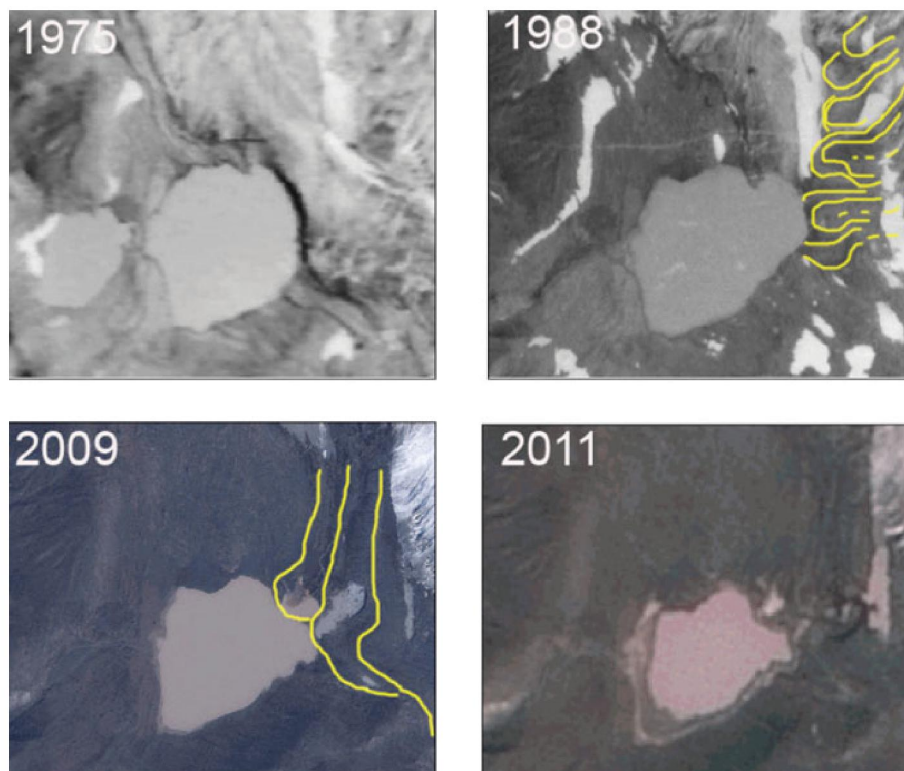


Рис. 11. Динамика озера у ледника Малый Азау за период 1975–2011 гг.: 1975 и 1988 гг. — аэрофотоснимки, 2009 г. — фрагмент космического снимка GeoEye (от 19.09.2009 г.), 2011 г. — фрагмент космического снимка SPOT 5 (от 21.09.2011 г.). Желтыми линиями показаны направления потоков льда и срединные морены (1988 г.); осевые линии гряд срединных морен (2009 г.)

как в этом бассейне участвовали микросели, а в 2012 г. они уже достигли конуса выноса. В этой связи возрастает значение комплексного мониторинга селей, включающего маршрутные, аэровизуальные

обследования и оперативные космические съемки и позволяющего оперативно выявлять новые селевые очаги и тем самым уточнять категории опасности селевых бассейнов.



Рис. 12. Селевой врез — очаг селей, сходящих по реке Ырхыкол в бассейне реки Чегем (фото С.С. Черноморца)

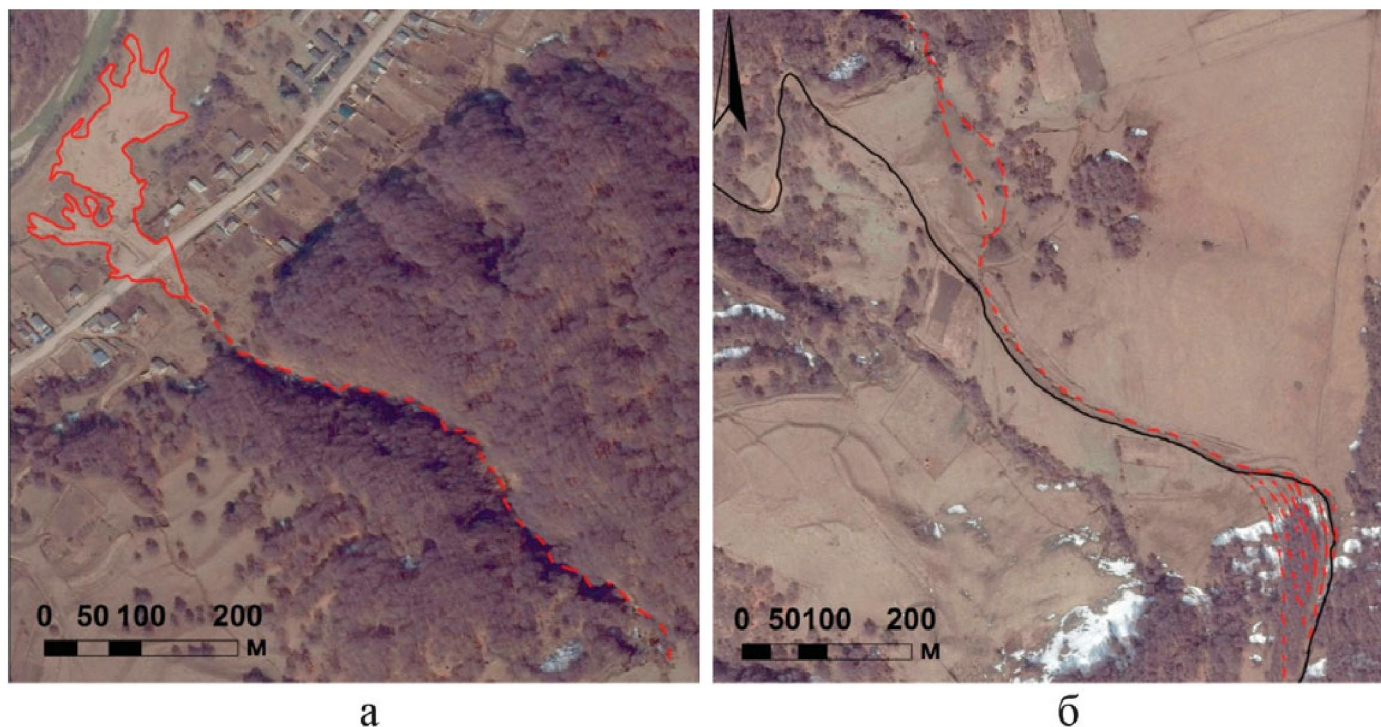


Рис. 13. Селепроявления р. Ырхыкол: а — балка Ырхыкол и конус выноса; б — селевые рытвины на дороге выше балки (фрагменты космоснимка WorldView-2 от 05.04.2012 г.)

Авторы выражают благодарность ИТЦ «СканЭкс» и Геопорталу МГУ за любезно предоставленные космические снимки, ГУ МЧС России по КБР за предоставление возможности участия в

вертолетных облетах и транспорта для обследования ущелья Адыр-Су, А.С. Бричевскому и А.А.Хайманову за помощь в сборе полевого материала, И.Х. Уянаеву и В.М. Цраеву за логистическую по-

мощь, Е. Леви за помощь в сборе материалов по селевым процессам 2011 г. в долине р. Куллумкол-Су. Исследования были проведены при частичной поддержке РФФИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богаченко Е.М., Инюхин В.С. О практическом опыте измерения ливневых осадков радиолокационным способом для локального прогнозирования селей // Тезисы Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, 24–28 октября 2011 г. Нальчик, 2011. С. 50–51.
2. Герасимов В.А. О селях 1977 г. в бассейне р. Баксан и некоторые данные о селях последующих лет // Труды ВГИ. 1985. Вып. 62. С. 71–76.
3. Докукин М.Д. К вопросу о типизации моренного рельефа (на примере Северного Кавказа) // Труды ВГИ. 1988. Вып. 73. С. 58–67.
4. Докукин М.Д., Савернюк Е.А., Багов А.М., Маркина А.В. О перестройке гидрографической сети северо-восточного подножия Эльбруса (бассейны рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су) // Лед и снег. 2012. № 2 (118). С. 23–30.
5. 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.
6. Запороженко Э.В. Необычный сель на р. Куллумкол-Су // Метеорология и гидрология. 1985. № 12. С. 102–108.
7. Информационная сводка о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации за III квартал 2011 г. М.: ФГУГП «Гидроспещгеология», Центр мониторинга состояния недр., 2011. 42 с. URL: http://www.geomonitoring.ru/Download/moeqp/svodka/2011_III/Svodka_EGP_III_2011.pdf.
8. Кадастр лавинно-селевой опасности Северного Кавказа / под ред. М.Ч. Залиханова. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 112 с.
9. Кидяева В.М. Гидрологические характеристики прорывоопасных ледниковых озер Приэльбрусья (Россия, Кавказ). URL: http://www.untj.org/docs/Diaster_Mangement/Resources%20Page/16.%20Kidyayeva%20V%20rus.pdf.
10. Кононова Н.К., Мальнева И.В., Сейнова И.Б. Циркуляционные механизмы формирования катастрофических селей на стадии деградации оледенения Центрального Кавказа // Материалы гляциологических исследований. 2007. Вып. 102. С. 154–160.
11. РД 52.30.238-89. Руководство по селестоковым станциям и гидрографическим партиям. Вып. 1. Организация и проведение работ по изучению селей. М.: Гидрометеиздат, Госкомгидромет СССР, 1990. 197 с.
12. Сейнова И.Б. Опыт использования комплексного географического анализа для количественной оценки селевых процессов // Склоновые процессы (лавины и сели). М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 117–125.
13. Сейнова И.Б. Селевые процессы бассейна р. Баксан в последнем тысячелетии (Центральный Кавказ) / Деп. ВИНТИ № 9763-B97М. М.: ВИНТИ, 1997. 295 с.
14. Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья (эволюция оледенения и селевой активности). М.: Научный мир, 2001. 204 с.
15. Сель 22.07.2011. КБР. Черемское ущелье / YouTube.ru. CTAC5800. URL: <http://www.youtube.com/watch?v=Uqe6SuDDems>.
16. Сель в Тырныаузе (03.08.2011 г.) / YouTube.ru. URL: <http://www.youtube.com/watch?v=gMHBqjc5pl&feature=related>.
17. Стрепинева Н.П. Синоптико-метеорологическая обстановка массовых сходов селей в бассейне р. Терек // Труды ВГИ. 1988. Вып. 73. С. 67–75.
18. Сход селя / YouTube.ru. URL: <http://www.youtube.com/watch?v=FJB3pDzp7-g>.
19. Тырныауз. 2011 г. Сель / YouTube.ru. URL: <http://www.youtube.com/watch?v=KQs4reMT5ws>.
20. Черноморец С.С., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Сейнова И.Б., Крыленко И.В. Прорыв ледникового озера на северо-восточном склоне Эльбруса 11 августа 2006 г.: прогноз, событие и последствия // Материалы гляциологических исследований. 2007. Вып. 102. С. 211–215.
21. Drobyshev V.N. Glacial catastrophe of 20 September 2002 in North Osetia // Russian Journal of Earth Science. 2006. V. 8. P. ES4004.