



ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СНЕЖНОЙ ТОЛЩИ КАК ОСНОВНОЙ ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЛАВИН В КРАСНОЙ ПОЛЯНЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОТИВОЛАВИННОЙ ЗАЩИТЫ ОЛИМПИЙСКИХ ОБЪЕКТОВ

НИКОЛАЙ КАЗАКОВ,
 ЮРИЙ ГЕНСИОРОВСКИЙ

Сахалинский филиал Дальневосточного
 Геологического института ДВО РАН

Подготовка к проведению Олимпийских игр 2014 г. в Красной Поляне требует учета высокой лавиноопасности территории и, следовательно, строительства противолавинных сооружений. Для этого во время инженерных изысканий в строительстве необходимо учитывать все факторы лавинного процесса на исследуемой территории, в том числе характер перекристаллизации снежной толщи. Особенно это важно в связи с тем, что некоторые исследователи не считают это фактор достаточно серьезным в лавинном процессе [1 и др.].

Особенности инженерных изысканий при оценке лавинной опасности территорий

При оценке лавинной опасности территории на стадии инженерных изысканий в строительстве, в первую очередь, необходимо оценить степень поражённости территории лавинными процессами и характеристики катастрофических лавин с максимальной дальностью выброса и давлением на препятствие (катастрофические лавины).

Важнейшими параметрами лавинных процессов, которые должны определяться в ходе изысканий, являются: 1) площадная поражённость территории лавинными процессами; 2) максимальная дальность выброса лавин; 3) максимальный объём и энергия лавин.

Площадная поражённость территории лавинными процессами и характеристики катастрофических лавин зависят от интенсивности процессов перекристаллизации снежной толщи. Именно этот процесс необходимо учитывать в первую очередь при выборе и проведении мероприятий противолавинной защиты, в том числе при разработке сооружений инженерной защиты от лавин.

Перекристаллизация снежной толщи как основной фактор образования катастрофических лавин

Перекристаллизация снежной толщи играет ведущую роль в формировании катастрофических лавин: при формировании в снежной толще слоев, сложенных ледяными кристаллами стадии конструктивного метаморфизма, сход лавин экстремальных объёмов вызывается незначительными внешними причинами. Так, при отсутствии в снежном покрове толщиной 70–180 см слоев вторично-идиоморфного снега стадии конструктивного метаморфизма, толща старого снега не вовлекается в лавинный процесс при выпадении 25,0–30,0 мм осадков за сутки (даже в том случае, когда плотность старого снега составляет 250–270 кг/м³). При наличии же в снежном покрове толщиной 1,20–2,0 м слоев вто-



Фото 1. Линия отрыва лавины объемом 300 м^3 в густом елово-пихтовом лесу. Толщина линии отрыва до 90 см. о. Сахалин, Сусунайский хребет, февраль 2007 г. Фото.

рично-идиоморфного снега стадии конструктивного метаморфизма, уже при выпадении 30–70 мм осадков формируются лавины объемом более 100 тысяч м^3 с дальностью выброса до 1600 м.

Отрыв лавин экстремальных объемов не происходит в зонах интенсивного ветрового воздействия выше верхней границы леса (абс. отметки 1200–1300 м), где форми-

руется толща уплотнённого снега, скорость перекристаллизации которого низка.

Внутренняя энергия снежного пласта (энергия связи между ледяными кристаллами, высвобождающаяся при разрушении снежной толщи) суммируется с энергией лавины и определяет дальность её выброса, скорость и давление на препятствие.



Фото 2. Лавиноопасные склоны, покрытые густым елово-пихтовым лесом. Южный Сахалин, Сусунайский хребет. Фото Казакова Н.А.

Кроме того, степень перекристаллизации снежной толщи определяет устойчивость снежного пласта на склоне и способность снегоудерживающих сооружений в лавиноборе препятствовать его сходу.

Сильно перекристаллизованная снежная толща теряет связность и формирует лавины даже на склонах, покрытых густым хвойным лесом (степень проективного покрытия 70–90%, расстояние между стволами – 1–3 м).

На таких склонах происходит отрыв лавин в горах о. Сахалина (Фото 1–2), где количество лавиноборов, в которых зоны отрыва лавин покрыты лесом, составляет до 50% от общего числа.

При оценке степени площадной поражённости территории лавинными процессами вероятность формирования лавин на склонах, покрытых густым лесом, должна учитываться обязательно.

Лавины на залесённых склонах формируются при перекристаллизации снежной толщи (один или несколько лавиноопасных слоёв, сложенных полускелетным или скелетным снегом) в сочетании с сильным снегопадом (более 20 мм осадков за сутки) или антропогенным воздействием на снежный пласт. Эти лавины опасны для человека и для транспорта.

В целом, лес в зонах отрыва лавин уменьшает частоту схода лавин и их объемов, но не исключает их отрыва на склонах крутизной более 350 [2].

Такие лавины не формируются и на склонах, застроенных снегоудерживающими сооружениями. Так, на Южном Сахалине в 1982–1985 гг. наблюдались случаи схода лавин со склонов, застроенных снегоудерживающими сооружениями, при этом отрыв лавин происходил из-под снегоудерживающих щитов.

По этой причине при выборе мероприятий противолавинной защиты (в том числе при проектировании сооружений инженерной защиты), в прогнозе лавин и при организации системы активного воздействия на лавинные процессы необходимы наблюдения за динамикой перекристаллизации снежной толщи.



Лавинные процессы в долине р. Мзымта

Считается, что лавины в Красной Поляне вызываются снегопадами, а залесённые склоны являются надёжной защитой от лавин.

Наблюдения за снежным покровом и лавинными процессами в лавиносорбах на г. Аибга и на автомобильной дороге в долине р. Пслух, проведённые 5–8 февраля 2007 г. лабораторией лавинных и селевых процессов СФ ДВГИ ДВО РАН, показали, что территории и подъездным дорогам угрожают снежные лавины из лавиносорбов 3 типов (фото 3, 4). Это, во-первых, классические лавиносорбы лоткового типа со склонов г. Аибга и др.

(высота зон отрыва лавин – 1000–2400 м абс., объёмы лавин – более 500000 м³); во-вторых, лавиносорбы лоткового типа в лесной зоне (эрозионные врезы и прочёсы в лесу (высота зон отрыва лавин – 800–1000 м абс., объёмы лавин – 1000–10000 м³); и, в-третьих, основные склоны, поросшие густым лиственным лесом (фото 3–5), осложнённые эрозионными врезками (высота зон отрыва лавин – 700–1000 м абс., объёмы лавин – 100–10000 м³).

Отрыв лавин на этих склонах происходит как на небольших эрозионных врезках, так и на нерасчлещенных склонах (осоках), среди густого леса (степень проективного покрытия – 30–90%, высота деревь-

ев – 6–30 м, расстояние между стволами – 2–5 м). При высокой антропогенной нагрузке на территорию Красной Поляны густой лес на крутых склонах не обеспечит защиты от лавин.

5–10 февраля 2007 г. толщина снежного покрова в лавиносорбах в долинах рек Мзымта, Пслух, и г. Аибга (Сулимовский руч.) составляла: в интервале абс. высот 600–900 м – 40–80 см; 900–1200 м – 80–200 см; 1200–1700 м – 200–300 см. Практически вся снежная толща была выполнена кристаллами стадии конструктивного метаморфизма (рис. 1, 2). В снежной толще отмечено 3–6 лавиноопасных слоёв плотностью 30–390 кг/м³, выпол-

Стратиграфическая колонка снежной толщи. Шурф № 1. 05.02.2007. Красная Поляна. Лев. борт долины
р. Мзымта
Время 16 ч 40 м – 17 ч 15 м

№ № слоя	Глубина контакта, см	Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Э.Г. Коломывцу); текстура слоя	Плотность, г/см ³	Водность, мм	Диаметр кристалла, мм	Температура, С°	Дата формиро- вания слоя	Возраст слоя, сутки
							0,0		
9	0	46		0,11	2,20		0,0	04.02.2007	1
8	2	44		0,13	10,40		0,0	03.02.2007	2
7	10	36		0,24	4,80	0,7	0,0		
6	12	34		0,24	14,40	1,1	0,0		
5	18	28		0,37	18,50	0,8	0,0		
4	23	23		0,34	13,60	0,9	0,0		
3	27	19		0,34	23,80	1,5	0,0		
2	34	12		0,29	17,40	1,5	0,0		
1	40	6		0,32	19,20	1,8	0,5		
		0	Суммарный водозапа			124,30			
			Средняя плотность			0,27			
Экспозиция			ССВ	Абс. высота, м:		700	Уклон, град.	42	
Температура возд:			0,0	Почва:		талая			
Погода:			пасмурно	Облачность:		10/1	Ветер, м/с:	штиль	
Растительный покров			ольха высотой до 10 м			Сомкнутость крон		30	
Коэфф перекристаллизации				0,78	Выполнил:		Казаков Н.А.		
Коэфф вторичного расслоения				0,00	Обработал:		Казаков Н.А.		
Коэфф стратиграфии				0,00	Проверил:		Генсиоровский Ю.В.		

Рис. 1. Стратиграфическая колонка снежной толщи на залесённом склоне (левый борт долины р. Пслух), 5.02.2007 г.



Стратиграфическая колонка снежной толщи. Шурф № 2. 06.02.2007 г. Айба. Время 13 ч 30 м - 14 ч 30 м

№ № слоя	Глубина контакта, см	Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла; текстура слоя	Плотность, г/см ³	Водность, мм	Диаметр кристалла, мм	Температура, С°	Дата формирования слоя	Возраст слоя, сутки
							-0,3		
28	0	197	✕ ≈	0,03	1,20			06.02.2007	1
27	4	193	└ ≈	0,08	8,80			05.02.2007	1
26	15	182	└ ~	0,10	6,00				
25	21	176	└ ~	0,08	16,80				
24	42	155	▢ ~	0,13	7,80				
23	48	149	▢ ~	0,13	14,30				
22	59	138	■ }	0,16	8,00	0,3			
21	64	133	■ }	0,18	39,60	0,5	-2,5		
20	86	111	■ }	0,18	5,40	0,5	-0,7		
19	89	108	■ }	0,21	10,50	0,5	-1,2		
18	94	103	■ }	0,21	14,70	0,5	-6,3		
17	101	96	■ }	0,21	6,30	0,5	0,0		
16	104	93	■ //	0,21	8,40	0,5	0,0		
15	108	89	■ }	0,24	12,00	1,1	0,0		
14	113	84	■ }	0,24	28,80	1,0	0,0		
13	125	72	└ ▢ см	0,32	16,00	1,3	0,0		
12	130	67	■ }	0,27	18,90	1,1	0,0		
11	137	60	■ }	0,27	40,50	1,1	0,0		
10	152	45	▣ }	0,32	6,40	1,4	0,0		
9	154	43	▣ }	0,27	24,30	1,4	0,0		
8	163	34	▣ //	0,27	5,40	1,3	0,0		
7	165	32	▣ }	0,39	11,70	1,4	0,0		
6	168	29	▣ }	0,37	25,90	1,4	0,0		
5	175	22	▢ } см	0,37	18,50	2,0	0,0		
4	180	17	▢ } см	0,32	9,60	2,2	0,0		
3	183	14	▢ } см	0,39	19,50	2,2	0,0		
2	188	9	▢ } см	0,39	27,30	2,4	0,0		
1	195	2	└ ▢ } см	0,32	6,40	2,2	0,0		
Суммарный водозапас					419,00				
Средняя плотность					0,93				
Экспозиция			ССВ	Абс. высота, м:		1550	Уклон, град.		42
Температура возд:			-2,6	Почва:		талая			
Погода			сильн. снег	Облачность:		10/1	Ветер, м/с:		штиль
Растительный покров			бук, граб высотой до 30 м			Сомкнутость крон		0	
Коефф перекристаллизации				0,70	Выполнил:		Казаков Н.А.		
Коефф вторичного расслоения				0,20	Обработал:		Казаков Н.А.		
Коефф стратиграфии				0,09	Проверил:		Генсировский Ю.В.		
Тип снега и класс формы ледяного кристалла (по Э.Г. Коломцу)									
Класс форм ледяных кристаллов. Тип снега						Текстура вторично-идиоморфного снега		Твердость первично-идиоморфного снега, кг/см ²	
1. Первично -идиоморфный						// монолитная		очень мягкий (<0,05)	
✕	свежевыпавший					} столбчатая		~ мягкий (0,05-0,5)	
└	обломочный					} волокнистая			
▢	сублимационно-полиэдрический					Состояние снега		влажный	
2. Вторично -идиоморфный. Стадия конструктивного метаморфизма.						Нерасчленившиеся кластеры режеляционных кристаллов			
■	гранный плоский								
■	гранный столбчатый								
▣	полускелетный плоский								
▣	полускелетный столбчатый								
▢	скелетный плоский								

Рис. 2. Стратиграфическая колка снежной толщи на склоне г. Ага. 6.02.2007 г.

Рис. 2. Стратиграфическая колонка снежной толщи на склоне г. Айба. 6.02.2007 г.



Фото 3. Долина р. Мзымта. Типы лавиносборов: лавиносборы лоткового типа (1), лотки (прочёсы) на залесённых склонах (2), лавиноопасные залесённые склоны (3). Фото Казакова Н.А.

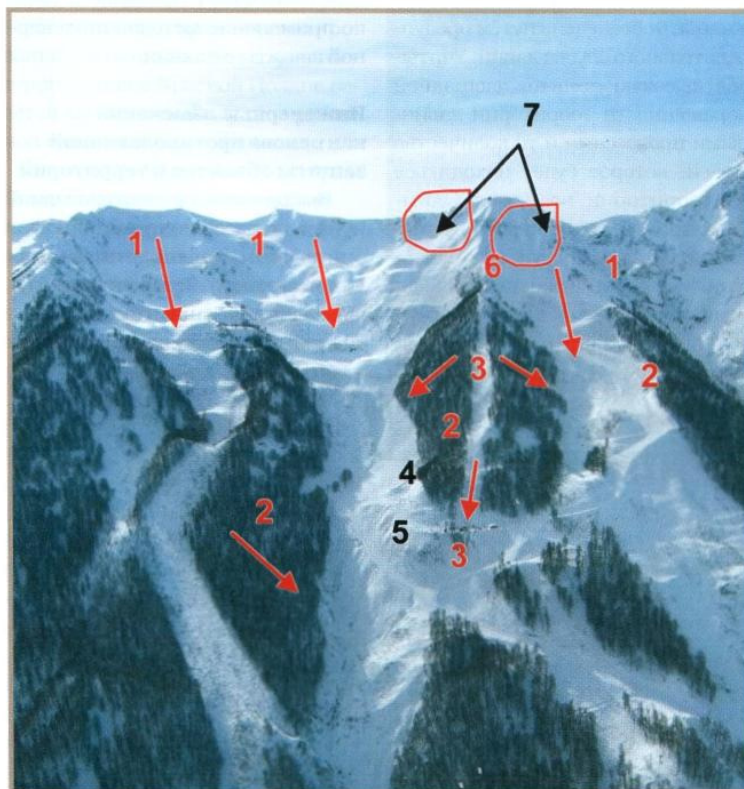


Фото 4. г. Аибга. Лавиносборы лоткового типа (1), лавиноопасные залесённые склоны (2). Лавиноопасные участки трассы подъёмника «Альпика-Сервис» (3). Шурф № 2 в снежной толще 06.02.2007 г. (4). Лавина, 2006 г. разрушила опоры строящейся канатно-кресельной дороги (5). Лавиноопасный участок канатно-кресельной дороги, 4я очередь (6). Зоны, реально защищаемые установками «Gaz-Ex» и (7). Фото Казакова Н.А.

ненных кристаллами полускелетного и скелетного классов форм (фото 6) при максимальном диаметре ледяного кристалла 3,2 мм. Текстура слоёв – столбчатая и волкнистая. Значение коэффициента перекристаллизации снежной толщи составляло 0,70-0,78, коэффициента вторичного расслоения снежной толщи – 0,10.

Таким образом, перекристаллизация снежного покрова активно протекает в долине р. Мзымта и играет главную роль в формировании лавин большого объёма в Красной Поляне. На это указывают и другие исследователи [3].

По этой причине 8.02.2007 г. в долине р. Мзымта произошло формирование грунтовых лавин (лавинны полной глубины снежного покрова) объёмом более 5000 м³ (фото 7).

Противолавинная защита в Красной Поляне

В настоящее время защита существующих горнолыжных объектов в Красной Поляне осуществляется организационными мерами (лавинный прогноз и закрытие объектов) и путём предупредительного спуска лавин на ограниченной площади в пригребневой части хр. Аибга с помощью противолавинного комплекса «Gaz-Ex» (фото 4). Однако зарубежные специалисты не уделяют должного внимания перекристаллизации снежного покрова как важнейшему фактору, определяющему методологию предупредительного спуска лавин.

Так, применяемая на трассах «Альпика-Сервис» система предупредительного спуска лавин «Gaz-Ex» по технологии своего использования не предполагает проведения стратиграфических наблюдений в снежной толще, что создаёт риск схода лавин неконтролируемых объёмов, вызванных перекристаллизацией снежной толщи. Между тем, в феврале 2006 г. на территории «Альпика-Сервис» такой лавиной разрушены опоры строящейся линии канатно-кресельной дороги (фото 8). Неоднократно наблюдались случаи попадания горнолыжников в лавины, вызванные перекристаллизацией снежной толщи.



Фото 5. Левый борт долины р. Пслух. Лавиноопасные залежённые склоны над дорогой к проектируемой санно-бобслейной трассе. Фото Казакова Н.А.

Уплотнение снежного покрова на горнолыжных трассах с помощью «Ратраков», также не способно привести к стабилизации снега на склоне: при толщине снежного покрова более 2 м уплотняется лишь верхняя часть толщи, а в средней и нижней её частях продолжаются процессы перекристаллизации, приводящие к формированию лавиноопасных слоёв.

Противолавинная защита объектов Олимпийского комплекса

В Красной Поляне началось проектирование и строительство Олимпийских объектов. Однако при этом не учитывается чрезвычайно высокая степень лавинной опасности этой территории (в долинах рек Мзымта, Пслух, Лаура). Концепция противолавинной защиты (как и комплексной защиты от опасных экзогенных геологических и гидрометеорологических процессов) отсутствует, что неизбежно приведёт к принятию проектных решений, не учитывающих в полной мере необходимость и способы защиты объектов от опасных природных процессов. Так, специалисты Росгидромета и МЧС РФ считают, что противолавинная защита Олимпийских объектов мо-

может быть обеспечена только комплексом мероприятий. Это: 1) выбор площадок для строительства объектов и трасс транспортных магистралей на стадии изысканий – для размещения их за пределами лавиноопасных зон; 2) строительство сооружений инженерной защиты от лавин – для защиты объектов, находящихся в лавиноопасных зонах; 3) применение методов предупредительного спуска лавин (ограниченно).

Следует отметить, что при недостаточной организации противолавинной защиты Олимпийских объектов они будут уязвимы к воздействиям террористического характера (искусственный спуск лавин). В этом случае стандартные антитеррористические мероприятия окажутся неэффективными. Защиту от подобных воздействий может обеспечить только применение методов инженерной защиты от лавин.

Инженерные изыскания как основа противолавинной защиты объектов и территорий

Выбор методов противолавинной защиты объектов и территорий должен осуществляться на стадии изысканий. Только в этом случае лавинная защита будет эффективной. Последствия ошибок, до-



Фото 6. Кристаллы скелетного класса форм в припочвенном слое. Шурф № 1, 6.02.2007 г. Фото Казакова Н.А.



пущенных на стадии инженерных изысканий по оценке лавинной опасности и неквалифицированных решений, принятых на стадии проектирования, как правило, неустранимы либо чреваты большими материальными издержками при их исправлении.

Например, в результате неквалифицированных решений по оценке лавинной опасности на подъёмнике «Альпика-Сервис», часть 4 очереди канатно-кресельной дороги оказалась в зоне воздействия осовов, способных убить или травмировать пассажиров (фото 9, 10).

В результате ошибок, допущенных при проектировании и строительстве на строящейся горнолыжной трассе на г. Аибга в 2006-2007 гг., на трассе канатной дороги сформирован искусственный осовный склон, лавины с которого угрожают станции канатной дороги (фото 11).

В настоящее время проектирование объектов на лавиноопасных территориях в Красной Поляне ведётся хаотично и без учёта реальной степени лавинной опасности.

Лицензирование инженерных изысканий в строительстве и защита от лавин

Существующая система лицензирования инженерных изысканий в строительстве привела к тому, что подавляющее большинство проектно-изыскательских организаций, имеющих лицензии на лавинные изыскания и разработку противолавинных мероприятий, не имеют в своём составе специалистов-лавинщиков, либо их квалификация не отвечает необходимым требованиям. Последствия изысканий и проектирования объектов на лавиноопасных территориях, проводимых такими организациями, как правило, трудно устранимы.

Иностранные компании, работающие в Российской Федерации, не имеют опыта оценки лавинной опасности на Российской территории и либо не могут реально оценить уровень рисков, либо применяют проектные и технические решения, разработанные для территорий с иными условиями лави-



Фото 7. Грунтовая лавина на склоне южной экспозиции 8.02.2007 г. Фото Казакова Н.А.



Фото 8. В 2006 г. лавина разрушила опоры строящейся канатно-кресельной дороги, установленные в лавиноопасной зоне. Фото с сайта.

нообразования и не эффективные в Российских условиях.

Назрела необходимость на государственном уровне перейти к пер-

сональному сертифицированию специалистов, занимающихся защитой от лавин и ограничению деятельности на территории Рос-



Фото 9-10. Лавиноопасный участок канатно-кресельной дороги «Альпика-Сервис» (4я очередь) спроектирован без учёта лавинной опасности для пассажиров. Фото Казакова Н.А.



Фото 11. Строящаяся горнолыжная трасса на г. Аибга. В результате ошибок, допущенных при проектировании и строительстве, сформирован осовный склон, лавины с которого угрожают станции канатной дороги. Фото Казакова Н.А.

сийской Федерации иностранных специалистов и проектно-изыскательских компаний, не имеющих Российских сертификатов.

Заключение

1. Степень лавинной опасности территории проведения Олимпийских игр 2014 г. в Красной Поляне чрезвычайно высока. По предварительной оценке, площадь поражённости территории лавинными процессами не менее 70%.

2. Основным фактором формирования катастрофических лавин в Красной Поляне является перекристаллизация снежной толщи, что необходимо учитывать при расчёте динамических характеристик лавин, оценке площадной поражённости территории лавинными процессами и выборе мероприятий по защите от лавин.

3. Для обеспечения качества проектно-изыскательских работ на лавиноопасных территориях необходимо на государственном уровне:

- перейти от лицензирования компаний к персональному сертифицированию специалистов, занимающихся проектно-изыскательскими работами по оценке лавинной опасности, разработке противолавинной защиты и проведением мероприятий по защите от лавин (а также от других опасных природных процессов: селей, оползней и русловых процессов и т.д.);

- ввести ограничение деятельности на территории Российской Федерации иностранных специалистов и проектно-изыскательских компаний, работающих в области защиты от лавин, но не имеющих Российских сертификатов.

4. До начала строительства объектов Олимпийского комплекса:

- разработать концепцию комплексной защиты территории Красной Поляны и транспортных магистралей от снежных лавин, селевых потоков, оползней и паводков;

- провести детальные изыскания по оценке опасности территории от снежных лавин, селевых потоков, оползней, паводков и русловых процессов.

Высокая степень лавинных рисков для объектов Олимпийского комплекса требует проведения проектно-изыскательских работ по оценке лавинной опасности и разработке мер противолавинной защиты на высоком уровне, сводящим к минимуму вероятность лавинных катастроф в период проведения Олимпийских игр 2014 г.

Для обеспечения требуемого уровня проектно-изыскательских работ оценку лавинной опасности и разработку мероприятий противолавинной защиты необходимо проводить по единым методическим подходам и под контролем государственных органов РФ. ☒

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вивчар А. Н. Изменение лавинной опасности на территориях Западного Кавказа в условиях современного изменения климата и интенсивного рекреационного освоения // Сборник докладов III Международной конференции «Лавины и смежные вопросы». Апатиты: ООО «Апатит-Медиа», 2007, с. 108-115.
2. Казаков Н. А. О формировании лавин в лесу // Материалы гляциологических исследований. Вып. 102. М.: ИГ РАН, 2007. С. 192-197.
3. Шабельников В. А., Зимин М. И. Оценка лавинной опасности района планируемых горнолыжных трасс на северном склоне хребта Аибга (Западный Кавказ) // Материалы гляциологических исследований. Вып. 93. М.: ИГ РАН, 2003, с. 200-204.