

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И СНЕЖНЫЕ ЛАВИНЫ

УДК 551.324.435

Особенности динамики многолетних снежников массива Монгун-Тайга в 1966–2011 гг.

© 2013 г. Д.А. Ганюшкин, **И.Г. Москаленко**, К.В. Чистяков

Санкт-Петербургский государственный университет

*Ganushkinspbgu@mail.ru**Статья принята к печати 2 июня 2013 г.*

Горный массив, климат, многолетние снежники, фирновая граница.
Climate, firn line, mountain massif, permanent snow patches.

Рассматриваются многолетние снежники горного массива Монгун-Тайга (юго-западная Тува), их морфология, современное состояние и динамика за последние 45 лет. Разработана классификация снежников с учётом генезиса вмещающих их форм рельефа и положения относительно склонов. Анализируется динамика снежников по данным на 1966 (на основании аэрофотоснимков и фотографий), 2000, 2007, 2008 и 2011 г. (по данным непосредственных наблюдений). Установлено, что с 1966 по 2008 г. число снежников сократилось в 4 раза, площадь – в 15 раз, а пояс снежников сместился на 250–300 м вверх. К 2011 г. произошло частичное восстановление пояса многолетних снежников со сдвигом нижней его границы примерно на 250 м, восстановились приледниковые снежники, появились ранее не наблюдавшиеся снежники погребённых льдов и забронированных ледников. По мнению авторов, это может быть первой фазой восстановления ряда малых ледников на территории массива. При сопоставлении перемещений пояса снежников с данными ближайшей метеостанции установлена годовая сумма осадков, пороговая для существования снежников массива.

Введение

Согласно определению В.М. Котлякова [2, с. 87], под снежником понимается «всякое неподвижное скопление снега и льда, сохраняющееся на земной поверхности после стаивания окружающего снежного покрова». По времени и длительности существования выделяют три типа снежников: весенние, летние и снежники-перелетки. Последние, в свою очередь, подразделяются на перелетывающие (существующие не менее одного тёплого сезона) и многолетние (существуют неопределённо долго). Изучение многолетних снежников и их динамики актуально по ряду причин.

1. Снежники быстро реагируют на климатические изменения, представляя собой даже более чёткие их индикаторы, чем ледники. Высотный пояс развития многолетних снежников соответствует определённому сочетанию тепла и влаги, а его смещение вверх или вниз наглядно показывает направленность изменений климата.

2. Снежники – промежуточный этап между существованием сезонного снежного покрова и

возникновением ледников. Это – своеобразные зародыши последних. Вместе с тем малые ледники могут трансформироваться в многолетние снежники, а те в свою очередь становиться летними и т.д. Следовательно, данные процессы – обратимы. Многие снежники непосредственно контактируют с современными ледниками и составляют с ними единый комплекс взаимосвязанных снежно-ледовых образований. В отдельных случаях переход ледников в снежники и наоборот происходит скачкообразно, что может вызывать быстрое изменение площади оледенения горного района. Отметим, что общая площадь снежно-ледовой поверхности (включая и снежники) при этом изменяется не столь значительно. Именно поэтому недостаточно качественный учёт снежников может значительно исказить реальные объём и площадь снежно-ледовых ресурсов территории.

3. Вместе с ледниками снежники служат источниками влаги и могут играть важную роль в формировании стока.

4. Существование снежников – результат не только определённого соотношения тепла и влаги, но и сочетания их с характером рельефа, поскольку снежники тяготеют к неровным, контрастным участкам, где отмечаются затенённость и повышенная концентрация твёрдых осадков.

Таким образом, расположение снежников можно считать закономерным, часто унаследованным от прежних, более холодных эпох, когда оледенение имело бóльшие масштабы, а его эрозионная и аккумулятивная деятельность увеличивали контрастность рельефа. В результате подобной деятельности ледников возникли такие формы рельефа, как моренные валы, термокарстовые котловины, каналы маргинального стока, ригельные уступы и т.д., к которым тяготеют снежники. Геоморфологические особенности локализации помогают при дешифрировании этих форм на аэрофото- и космических снимках, облегчая их выделение при палеогеографических построениях. Отметим, что снежники не только «приспосабливаются» к рельефу, но и сами активно его преобразуют, усиливая его контрастность и формируя такие отрицательные формы рельефа, как нивальные ниши и нивальные кары.

Район, цели и методы исследования

Массив Монгун-Тайга (3970,5 м), расположенный на стыке горных сооружений Русского Алтая, Саян-Таннуольской системы и бессточных котловин Монголии, вблизи пересечения 50° с.ш. и 90° в.д., характеризуется наличием как современных ледников, так и хорошо выраженного пояса снежников разных морфологических форм. Исследование снежно-ледовых ресурсов массива было начато Ю.П. Селиверстовым в середине 1960-х годов. С конца 1980-х годов массив изучается географами Санкт-Петербургского государственного университета. За период непосредственного наблюдения за снежниками массива Монгун-Тайга накопился большой объём информации, дополненный имеющимися аэрофото- и космическими снимками разных лет. На основании этого материала можно говорить об их большой изменчивости, которая выражается в колебании числа снежников, их площади и высотной приуроченности. Ранее нами была разработана классификация снежников для этого района. Кроме того, параллельно с анализом изменения оледенения для всего массива изучено рас-

пространение многолетних снежников этого массива для двух временных срезов – периода относительного похолодания середины 1960-х годов и для исключительно малоснежных сезонов 2007 и 2008 г., соответствующих крайним состояниям пояса снежников непосредственно перед периодом потепления и иссушения климата и моменту кульминации проявления этой климатической тенденции [1].

Картирование и каталогизация многолетних снежников в середине 1960-х годов проводились на основе дешифрирования аэрофотоснимков от 10 июля 1966 г. с использованием топографической основы масштабов 1:25 000 и 1:50 000 и программы Mapinfo. Анализ полученных данных и сопоставление их с имеющимися наблюдениями показали, что материалы тех лет не только характеризуют снежность территории в период похолодания 1960-х годов, но и показывают состояние многолетних снежников в отдельные, наиболее прохладные и снежные 1980–90-е годы. Состояние многолетних снежников в 2007–2008 гг. изучено авторами на территории всего массива на основании непосредственных наблюдений. В составленных нами каталогах снежников учитывались площади снежников, их экспозиция, морфологический тип, высоты верхней и нижней точек.

В последние годы (2008–2011) наметилась смена тенденции на обратную – увеличились площадь, мощность и продолжительность залегания снежного покрова, началось возрождение ранее исчезнувших снежников. Получены новые данные по числу и площадям снежников северо-восточного склона массива (бассейн р. Мугур), а также высотному положению пояса многолетних снежников, основанные на непосредственных наблюдениях. Кроме того, обработаны полевые материалы за 1990–2000 гг., когда исследования многолетних снежников вели преимущественно на северо-восточном склоне массива и основной акцент делался на изучение изменения высотного положения пояса снежников. Это позволило не только существенно дополнить полученную ранее картину динамики многолетних снежников массива, но и сопоставить изменчивость высотного положения пояса снежников с климатическими изменениями, зафиксированными на ближайшей ГМС Мугур-Аксы, и нашими собственными инструментальными наблюдениями в высокогорном поясе массива в 1990–2011 гг.

Таблица 1. Виды снежников на территории массива Монгун-Тайга

Группа по морфологическим типам	Вид снежника	Местоположение и морфологические особенности	Причина образования
Водораздельные поверхности	Поверхностей выравнивания	Высоко расположенные участки с малыми уклонами	Малая абляция (низкие температуры)
	Пологих приводораздельных склонов	Малорасчленённые склоны средней и малой крутизны	Повышенная аккумуляция на подветренных склонах
Крутые склоны троговых долин	Бровок плато	Верхние части крутых склонов платообразных поверхностей выравнивания	Повышенная аккумуляция (метелевый перенос), малая абляция (низкие температуры)
	Пригребневые навейные	Пригребневая часть подветренных склонов альпинотипных горных гребней	Повышенная аккумуляция, малая абляция (низкие температуры)
	Висячие	Крутые участки наиболее высоких склонов	Малая абляция (низкие температуры)
Подножия склонов и днища долин	Приледниковые	Под крутыми ледниковыми лбами, у краёв ледников, иногда без чёткой визуальной границы между снежником и ледником	Повышенная аккумуляция (метелевый перенос), малая абляция (охлаждающее влияние ледника)
	Погребённых льдов и забронированных ледников	На осыпном материале, бронирующем гляциальные льды	Малая абляция (охлаждающее влияние подстилающей поверхности), повышенная аккумуляция в местах бывшей зоны питания ледников
	Современного моренного рельефа	Моренные комплексы малой ледниковой эпохи и более молодые осцилляционные валы	Повышенная аккумуляция, малая абляция (затенённое положение)
	Эрозионные	Прирусловые участки водотоков	Повышенная аккумуляция
	Приозёрные	Пониженные участки озёрных котловин	
	Присклоновые	Подножия крутых склонов	Повышенная аккумуляция (лавинное питание)
	Каровые	Днища каров	Повышенная аккумуляция, малая абляция (затенённое положение)
Троговых долин	Межморенные понижения днищ долин	Повышенная аккумуляция	

Результаты исследования

Морфологические разновидности снежников. В нашей предыдущей работе, посвящённой изменчивости снежников массива с 1966 по 2008 г. [1], приведена разработанная нами классификация снежников массива Монгун-Тайга, в общем совпадающая с классификацией В.П. Тырышканова [4]. Сейчас мы видоизменили приведённую в работе [1] таблицу (табл. 1), сгруппировав снежники по их положению в рельефе (относительно склона) и добавив новый тип снежников – снежники забронированных ледников, которые относятся к наиболее неустойчивым образованиям и могут эволюционировать как в фирновые пятна на поверхности ледников в случае возрождения ледника, так и в снежник моренного рельефа при вытаивании погребённых льдов.

Изменение пояса многолетних снежников в период с 1966 по 2008 г. К общим характеристикам пояса многолетних снежников массива

Монгун-Тайга, отмечаемым на протяжении всего периода наблюдений, относятся: 1) преимущественное развитие на подветренных склонах восточных экспозиций, где их существование определяется повышенной концентрацией снега в результате метелевого переноса. Связанные с разными условиями существования различия в высоте нижней границы пояса снежников на противоположных склонах достигают 300–600 м; 2) малое развитие снежников лавинного питания, преобладание навейных форм, что обусловлено незначительным количеством выпадающего снега; 3) повышение нижней границы пояса снежников на территории массива в направлении с северо-запада на юго-восток, что объясняется сокращением количества осадков в этом направлении в связи с положением юго-восточной части массива в ветровой тени главной вершины массива.

В то же время анализ состояния пояса снежников массива за период наблюдений показывает значительную многолетнюю его изменчивость,

Таблица 2. Изменение распределения многолетних снежников массива Монгун-Тайга по экспозициям в период 1966–2008 гг.

Экспозиция	Число и площадь снежников на 1966 г. (числитель) и на 2008 г. (знаменатель), % от суммарных величин	
	число	площадь
Северная	17/21	9/17
Северо-восточная	25/29	20/28
Восточная	19/17	23/7
Юго-восточная	13/16	22/36
Южная	8/9	9/7
Юго-западная	7/3	7/1
Западная	3/0	2/0
Северо-западная	8/5	8/4

Таблица 3. Изменение распределения снежников массива Монгун-Тайга по морфологическим типам в период 1966–2008 гг.

Группа по морфологическим типам	Морфологический тип	Число и площадь снежников на 1966 г. (числитель) и на 2008 г. (знаменатель), % от суммарных величин	
		число	площадь
Водораздельные поверхности	Пологих приводораздельных склонов	19,9/18,5	24,6/35,6
	Поверхностей выравнивания	5,1/1	5,5/ < 1
<i>Сумма или среднее</i>		25/19,5	30,1/35,6
Крутые склоны троговых долин	Висячие	17,1/30	11,6/23,8
	Бровок плато	9,4/19	7,7/15,8
	Пригребневые	5,4/12	6,6/4
<i>Сумма или среднее</i>		31,9/61	25,9/44,6
Подножия склонов и днища долин	Эрозионные	3,4/3,5	3,3/3
	Моренного рельефа	13,4/5	5,8/3
	Приозёрные	0,5/0	1,4/0
	Троговых долин	1/0	6,7/0
	Присклоновые	14,5/2	6,8/2
	Каровые	8,8/9	20/11,9
	Приледниковые	1,5/0	1,7/0
<i>Сумма или среднее</i>		43,1/19,5	44/19,8

при этом выделяются период с 1966 по 2008 г., когда имел место общий тренд к деградации снежников и подъёму нижней границы их распространения, и временной отрезок 2008–2011 гг., когда тенденция сменилась на противоположную. Эволюция пояса снежников в 1966–2008 гг. под-

робно описана нами в работе [1], поэтому здесь мы остановимся только на главных её особенностях.

Так, за период 1966–2008 гг. *число снежников* на территории массива сократилось в четыре раза, а *суммарная площадь* – почти в 15 раз (до 1 км²). В то же время площадь оледенения за этот же период уменьшилась всего на 30% – с 29,03 до 20,27 км², т.е. абсолютное сокращение площади ледников было меньше, чем площади снежников. При этом площадь снежников, унаследованная с середины 1960-х годов, составила менее половины их общей площади, т.е. собственно снежники с 1966 г. сократились примерно в 33 раза! Остальная площадь снежников 2007–2008 гг. приходится на образования, возникшие на месте деградировавших ледников. Анализируя *экспозиционное распределение*, отметим, что деградация многолетних снежников в 1966–2008 гг. в большей степени проявлялась на наветренных склонах, что привело к увеличению экспозиционной контрастности. Так, доля площади снежников подветренных северо-восточной, восточной и юго-восточной экспозиций выросла с 65 до 71%, а наветренных западных экспозиций сократилась с 12 до 5% (табл. 2). *Высотный диапазон распространения снежников* сократился примерно на 300 м (с 1370 до 1850 м). Причина сокращения – подъём нижнего предела снежников. Интенсивнее всего нижняя граница пояса снежников отступала вверх в 2000–2008 гг. Наши наблюдения в 1994–2000 гг. на северо-восточном склоне массива Монгун-Тайга (бассейны рек Мугур и Шара-Хорагай) показали устойчивость положения нижней границы пояса многолетних снежников, которая в этот период соответствовала высоте 2700–2800 м, что примерно на 100 м выше, чем в середине 1960-х годов. В 2000–2008 гг. нижняя граница пояса снежников на северо-восточном склоне массива поднялась ещё на 150 м. В целом по массиву за 1966–2008 гг. подъём нижнего предела распространения снежников составил 250–300 м. К 2008 г. среднее положение нижней границы снежников было выше среднего положения концов ледников (рис. 1 и 2), поскольку снежники сохранились лишь на горных гребнях между ледниковыми потоками и высоко расположенными скальными выходами.

Уменьшение снегонакопления в 1966–2008 гг. привело к значительному сокращению группы снежников подножий склонов и днищ долин (табл. 3), что свидетельствует о снижении лавин-

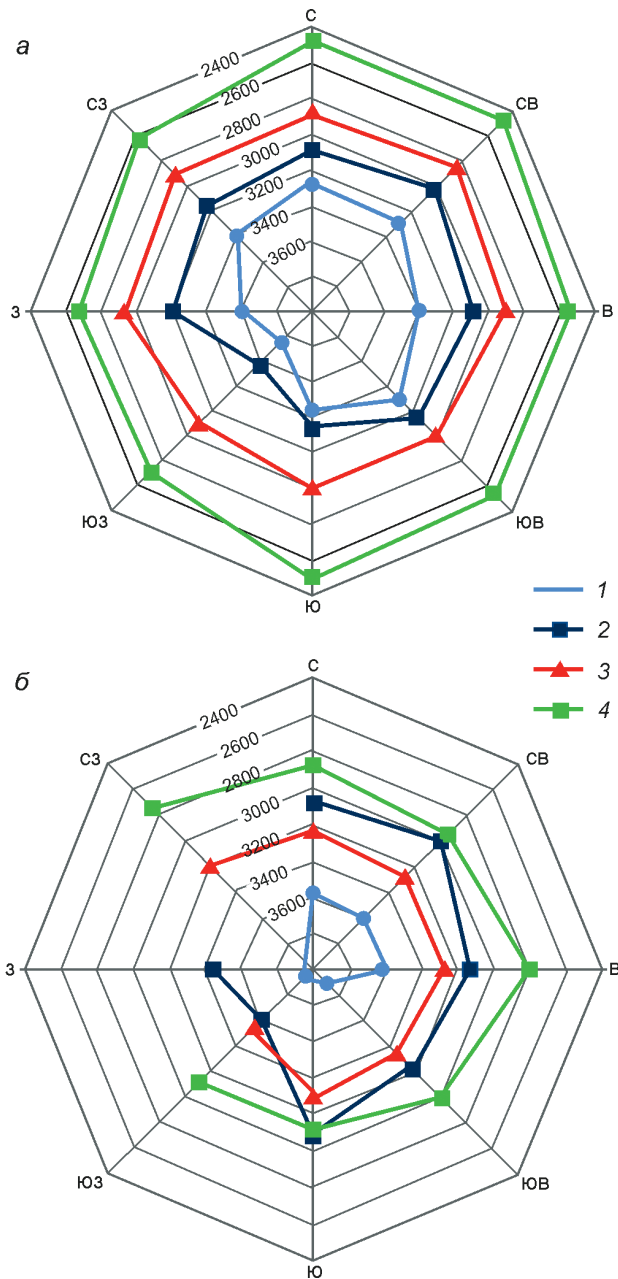


Рис. 1. Положение высотных снеговых уровней (м) на склонах разных экспозиций в 1966 г. (а) и 2007–2008 гг. (б): 1 – фирновая граница на ледниках; 2 – среднее положение концов ледников; 3 – среднее положение нижней границы снежников; 4 – минимальная высота встречаемости снежников

Fig. 1. Position of altitudinal snow levels (m) on slopes of different aspects in 1966 (a) and 2007–2008 (б): 1 – firn line on glaciers; 2 – average position of the lowest points of glaciers; 3 – average position of the lowest points of snow patches; 4 – minimal altitude of occurrence of snow patches

ного питания. Некоторые типы снежников (приозёрные, троговых долин, приледниковые) исчезли совсем. Самые благоприятные условия для сохранения снежников отмечались на отно-

сительно крутых подветренных склонах трогов, где за счёт концентрации снега вследствие метелевого переноса преобладали навейные формы снежников. Подобные *изменения морфологической структуры* снежников массива, на наш взгляд, свидетельствуют об аридизации климата. На иссушение климата указывает и общее увеличение контрастности экспозиционного распределения снежников, отмеченное ранее.

Новейшие тенденции изменения пояса многолетних снежников массива Монгун-Тайга

Площадь и число снежников. После максимального за период наблюдений сокращения пояса снежников в 2008 г. в последующие три года (2009–2011 гг.) условия снегонакопления резко улучшились, что привело к восстановлению снежников на высотных уровнях, соответствующих середине и концу 1990-х годов. Это – промежуточное состояние между серединой 1960-х годов и 2007–2008 гг. Летние наблюдения 2011 г. показали, что выросли и площади, и число многолетних снежников (рис. 3). Так, в верховьях р. Мугур в 2008 г. сохранялось 13 снежников с суммарной площадью 0,05 км²; к 2011 г. их число возросло до 15, а площадь – до 0,11 км². В бассейне р. Восточный Мугур число снежников с 10, общей площадью 0,03 км², возросло до 38, площадью 0,1 км². В бассейне р. Правый Мугур было 21 снежник, площадью 0,14 км², а стало 43 снежника, площадью 0,32 км². В бассейне р. Шара-Хорагай было четыре снежника, площадью 0,03 км², стало 14 снежников, суммарной площадью 0,22 км². Таким образом, можно говорить о 2–3-кратном увеличении числа и площадей снежников.

Экспозиционное и высотное распределение снежников. Распределение снежников по экспозициям стало более равномерным за счёт роста числа снежников на наветренных склонах, что указывает на рост количества твёрдых осадков. Нижняя граница пояса снежников за 2009–2011 гг. снизилась: в 2007–2008 гг. на северо-восточном склоне массива её высота составляла 2950–3050 м, а к 2011 г. она опустилась в среднем на 250 м и составила примерно 2700–2800 м; при этом единичные снежники встречались до высоты 2400 м.

Морфология. Возрождение многолетних снежников сопровождалось увеличением морфологического разнообразия их распределения. Если в 2007–2008 гг. сохранялись преимущественно

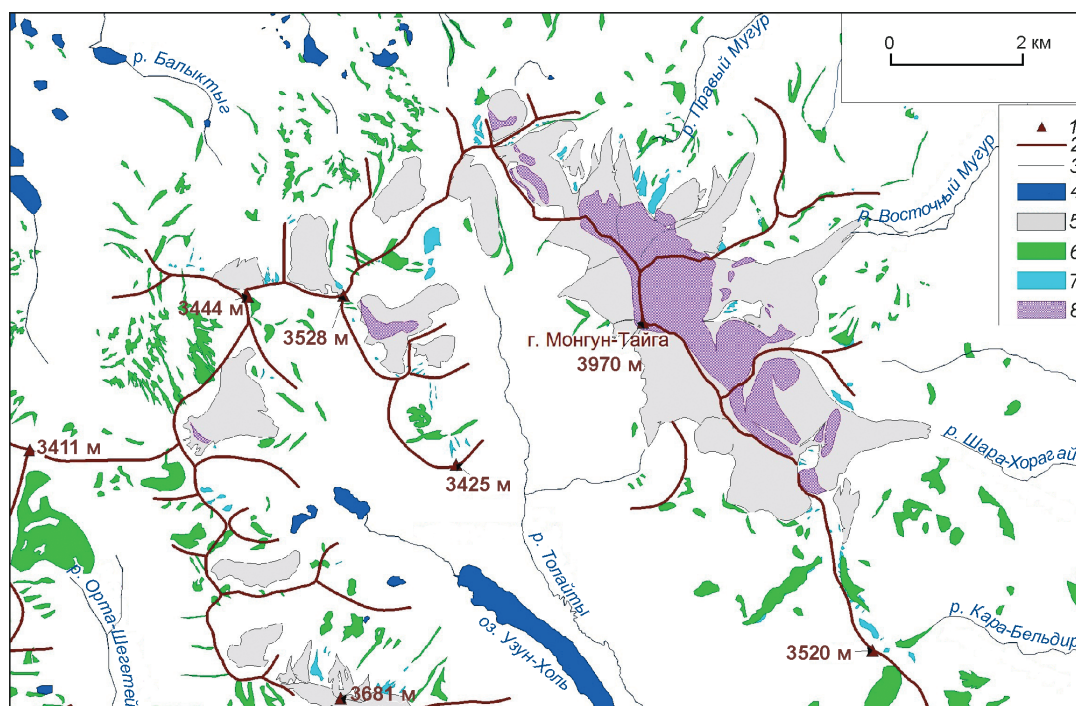


Рис. 2. Изменение пояса многолетних снежников массива Монгун-Тайга в период с 1966 по 2008 г.:

1 – горные вершины; 2 – горные гребни и водоразделы; 3 – реки; 4 – озёра; 5 – ледники; 6 – снежники по состоянию на 1966 г.; 7 – снежники по состоянию на 2007–2008 гг.; 8 – снежно-фирновые пятна на ледниках по состоянию на сезоны абляции 2007–2008 гг.

Fig. 2. Changes of the perennial snow patches zone of Mongun-Taiga mountain massif in 1966–2008:

1 – mountain peaks; 2 – mountain ranges and watersheds; 3 – rivers; 4 – lakes; 5 – glaciers; 6 – snow patches in 1966; 7 – snow patches in 2007–2008; 8 – snow-firn areas on glaciers in ablation seasons 2007–2008

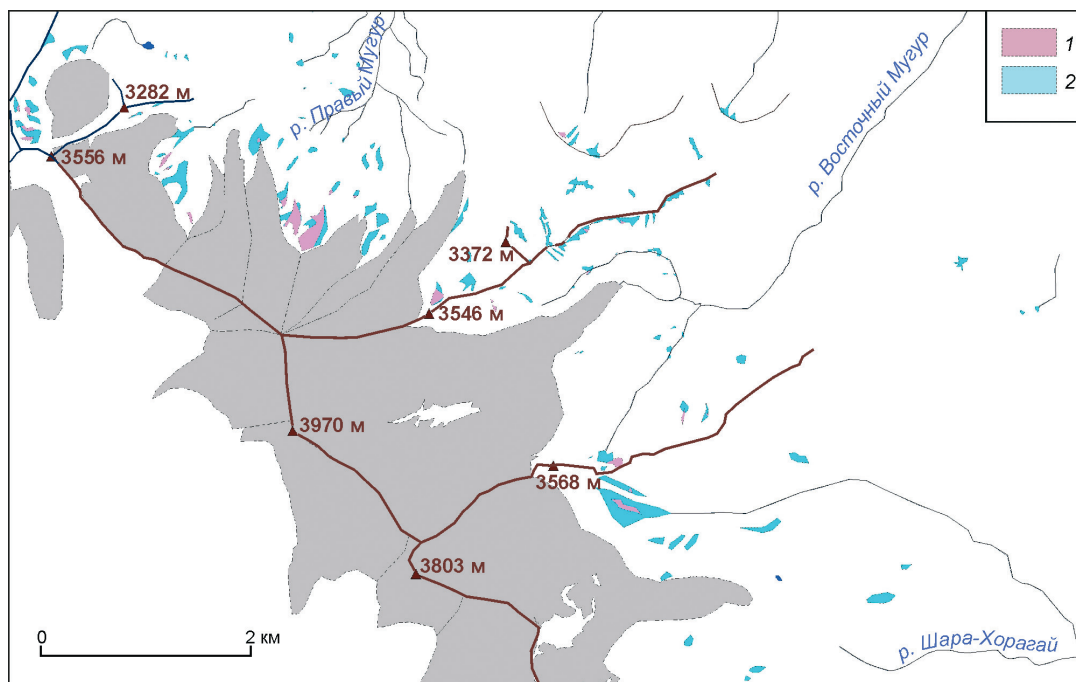


Рис. 3. Изменение пояса многолетних снежников на северо-восточном склоне массива Монгун-Тайга в 2008–2011 гг.:

1 – снежники по состоянию на 2008 г.; 2 – снежники по состоянию на 2011 г.; остальные условные обозначения см. рис. 2

Fig. 3. Changes of the perennial snow patches zone on the north-east slope of Mongun-Taiga mountain massif in 2008–2011:

1 – snow patches in 2008; 2 – snow patches in 2011; other symbolic notations are given in Fig. 2

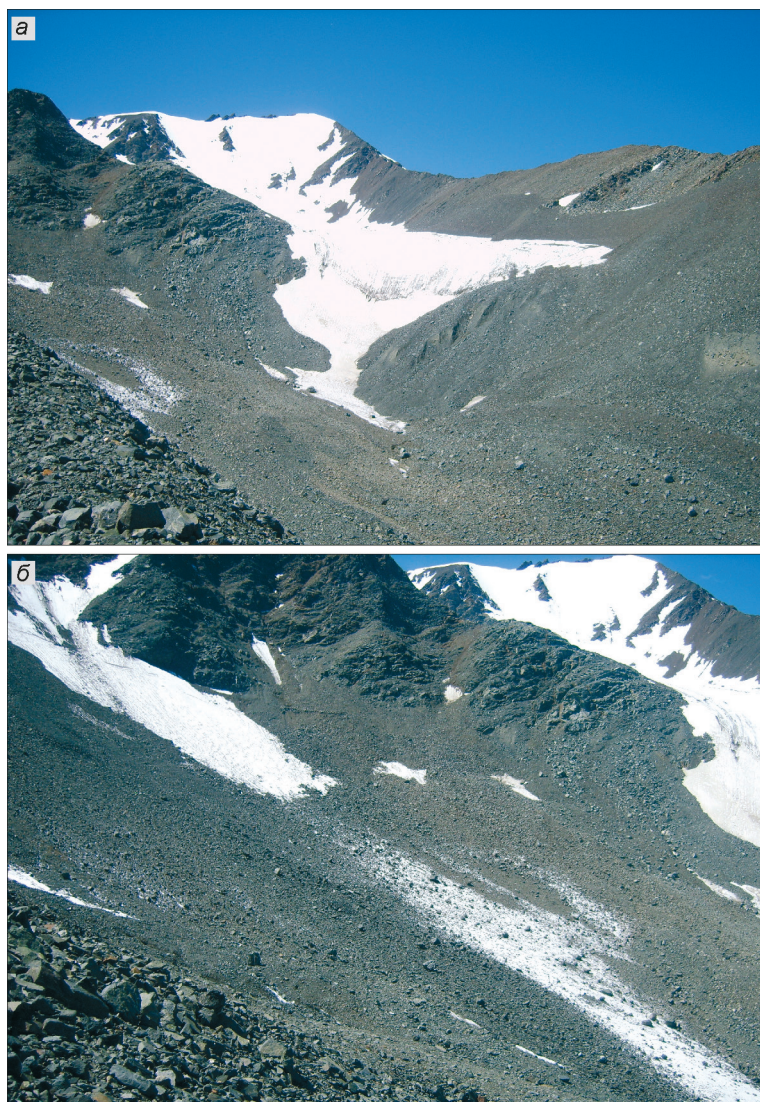


Рис. 4. Приледниковый снежник у края ледника Левый Мугур (а) и снежники погребённых льдов и забронированных ледников в бассейне р. Правый Мугур (б)

Fig. 4. Periglacial snow patch near the edge of the Levy Mugur Glacier (a) and snow patch of buried ice and debris-covered glaciers in the Pravy Mugur river basin (b)

снежники верхних частей склонов — висячие, бровок плато, пригребневые, то к лету 2011 г. выросло число снежников нижних частей и подножий склонов — каровых, присклоновых, моренного рельефа и эрозионных, что показывает увеличение лавинной аккумуляции твёрдых осадков из-за большего снегонакопления.

Наиболее значителен рост доли снежников, составляющих единый комплекс с современными ледниками территории и отражающих состояние малых ледников массива. К таким типам снежников относятся *приледниковые снежники* (рис. 4, а), а также *снежники погребённых льдов и забронированных ледников* (см. рис. 4, б). Возрождение и увеличение числа снежников этих типов можно расценивать как первый признак улучшения состояния малого оледенения. Приледниковые снежники примы-

кают к краевым частям ледников и питаются за счёт аккумуляции снега у крутых ледниковых лбов. Подобные снежники существуют в своеобразном симбиозе с ледниками. С одной стороны, последние не только поставляют снег, с большой долей вероятности не тающий на ледяной поверхности и впоследствии переметаемый, но и оказывают охлаждающее, а иногда затеняющее влияние на приледниковые снежники. С другой стороны, снежники этого типа изолируют концы ледников от солнечной радиации. Подобные снежники летом 2011 г. были достаточно распространены у края ледника Левый Мугур, закрывая его до конца сезона абляции и защищая таким образом от таяния. Выполживание продольного профиля ледников на фоне уменьшения снегонакопления в период 1966—2008 гг. было неблагоприятно для сохранения

такого типа снежников, однако в 2009–2011 гг. произошло их возрождение. В 2011 г. на северо-восточном склоне массива насчитывалось пять таких снежников, общей площадью 0,05 км².

Особая группа снежников, ранее не наблюдавшаяся, – снежники, формирующиеся на поверхности толщ бронируемого мёртвого льда. Уменьшение заснеженности склонов в 1966–2008 гг. способствовало увеличению объёма поступления осыпного материала на поверхность малых ледников; особенно этот процесс коснулся каровых ледников. Одновременно с этим исчезали зоны питания ледников (к 2007–2008 гг. фирновая граница прослеживалась только вокруг главной вершины массива). Эти процессы привели к интенсивному бронированию малых форм оледенения, особенно активному в 1995–2008 гг. В некоторых случаях бронированию подвергались нижние части ледников, потерявшие связь с основным ледником и превратившиеся в поля мёртвого льда. В то же время увеличение интенсивности экзогенных процессов в 1990-е – начале 2000-х годов привело к размыву морен малой ледниковой эпохи, в результате во многих местах обнажился лёд, бронированный в эпоху сокращения ледников во второй половине XIX – начале XX в.

Таким образом, в настоящее время в массиве наблюдается своеобразная высотная поясность бронированных льдов гляциального происхождения: 1) на высотах более 2650 м встречаются выходы погребённых льдов малой ледниковой эпохи; 2) на высотах 2850–2950 м – участки мёртвого льда, забронированного в 1966–1995 гг.; 3) ещё выше расположены забронированные ледники и поля мёртвого льда, возникшие в 1995–2008 гг. При этом ледяная поверхность во многих местах двух верхних поясов прикрыта совсем тонким слоем каменного материала или обнажена. В 2009–2011 гг. мы наблюдали появление на ней снежников такого типа, которые можно рассматривать как зародыши фирновых пятен и областей аккумуляции возрождающихся малых ледников. Всего на северо-восточном склоне массива образовались девять подобных снежников, общей площадью 0,09 км². Вероятно, на фоне роста снегонакопления определённую роль в сохранении снежников этого типа в сезоны абляции играет охлаждающее влияние ледово-каменной подстилающей поверхности. Не исключено, что в условиях низкой динамической активности малые ледни-

ки массива периодически переживают периоды малой аккумуляции снега из-за бронирования, что можно считать особой формой действия механизмов саморегуляции высокогорных геосистем, проявления их устойчивости. В последующем возрождении этих малых форм оледенения снежники играют важную роль.

Выводы

С помощью данных метеорологической станции, расположенной в 20–30 км к северо-востоку от массива, можно сопоставить колебания высотного положения нижней границы пояса многолетних снежников с соответствующими изменениями метеорологических параметров, а также с колебаниями высоты фирновой границы на ледниках. Такое сопоставление мы выполнили по северо-восточному склону массива, для которого есть наиболее полный комплекс материалов и который находится ближе к ГМС Мугур-Аксы (табл. 4). Средние значения летней температуры и годового количества осадков определялись как средние величины за соответствующий год и два предшествующих года, поскольку состояние снежника определяется не только условиями конкретного года, но и нескольких предыдущих лет.

Сравнение данных об изменении высоты нижней границы пояса многолетних снежников и фирновой границы на ледниках показывает, что размах вертикальных движений последней меньше, а время реакции на одинаковые климатические изменения больше. Так, к 2000 г. высотное положение снежников уже существенно изменилось, тогда как фирновая граница поднялась всего на 20 м. Дальнейшее сокращение количества осадков в 2000–2008 гг. привело не только к исчезновению большинства снежников массива, но и к тому, что бывшая единая зона питания ледников комплекса главной вершины превратилась в группу фирновых пятен, не всегда связанных друг с другом. Фактически, эти фирновые пятна – те же снежники, но на ледяной поверхности. Видимо, с охлаждающим влиянием ледниковой поверхности связана меньшая (на 100 м за весь период исследования) величина подъёма фирновой границы по сравнению с нижней границей снежников.

Отметим, что с 1966 по 2000 г. одновременное потепление на 1,6 °С и уменьшение осадков на 97 мм (данная величина, вероятнее всего завышена, поскольку 1966 г. был аномально влаж-

Таблица 4. Сопоставление динамики высоты нижней границы пояса снежников, средней высоты фирновой границы на ледниках и климатических параметров

Год	Высота нижней границы пояса снежников, м	Средняя высота фирновой границы на ледниках, м	Средняя летняя температура, °С	Среднее годовое количество осадков, мм
1966	2640	3340	12,6	239*
2000	2750	3360	14,2	142
2008	2950	3550	14,1	94
2011	2720	3370	13,5	122

*Приведено без осреднения из-за отсутствия данных за два предшествующих года.

ным, а осреднение по предыдущим годам не проводилось) сказалось на подъёме пояса снежников и высоты фирновой границы в меньшей степени, чем наблюдалось при последовавшем в 2000–2008 гг. уменьшении осадков ещё на 48 мм при сохранении того же уровня летних температур. Вероятно, в последнем случае имело место преодоление порогового значения устойчивости данных объектов по количеству осадков. Это значение, по всей видимости, на уровне метеостанции Мугур-Аксы составляет около 100 мм, что соответствует, согласно определённому нами ранее высотному среднему градиенту количества осадков примерно 7 мм/100 м [5], количеству около 190 мм на уровне 3000 м. После перехода количества осадков через это пороговое значение быстро деградировали и фирновые поля, и многолетние снежники. Вероятно, это – минимальное значение, обеспечивающее заполнение твёрдыми осадками отрицательных форм рельефа, к которым приурочены многолетние снежники. Переходом этого порога в обратном направлении можно объяснить быстрое восстановление большинства многолетних снежников и фирновых полей в 2008–2011 гг. и опускание на 250 м нижней границы пояса снежников на северо-восточном склоне массива.

Известная величина подъёма фирновой границы в 1966–2008 гг. – около 200 м – должна была бы соответствовать повышению летней температуры на 1,2 °С при сохранении такого же количества осадков (исходя из высотного градиента температуры 0,6 °С/100 м) или уменьшению годового количества осадков на 360 мм (по соотношению М.В. Тронова 180 мм на 100 м изменения высоты снеговой грани-

цы [3]) при той же температуре. В таком случае имевшее место фактическое повышение температуры на 1,5 °С должно было бы вызвать подъём фирновой границы на 250 м, а сокращение количества осадков на 145 мм – привести к дополнительному подъёму ещё на 80 м, т.е. итого 330 м. Меньшая на 120 м величина реального подъёма фирновой границы может быть связана с инерционностью реакции ледников на климатические колебания. Равновесие положения фирновой границы с климатом не было достигнуто из-за кратковременности сухого и тёплого периода 2000–2008 гг.

Литература

1. Ганюшкин Д.А., Москаленко И.Г., Чистяков К.В. Динамика многолетних снежников и снежно-фирновых полей массива Монгун-Тайга // Вестн. СПбГУ. 2012. Сер. 7. Вып. 4. С. 163–174.
2. Котляков В.М. Избранные сочинения в шести книгах. Кн. 2. Снежный покров и ледники Земли. М.: Наука, 2004. 448 с.
3. Тронов М.В. Проблема гляциоклиматических показателей. Томск: изд. Томского ун-та, 1978. 166 с.
4. Тырышканов В.П. Морфология снежников западной части Катунского хребта // Гляциология Алтая. 1976. Вып. 11. С. 98–102.
5. Чистяков К.В., Каледин Н.В., Москаленко И.Г., Зеленина Е.С., Амосов М.И., Волков И.В., Глебова А.Б., Гузель Н.И., Журавлев С.А., Прудникова Т.Н., Пряхина Г.В. Горы и люди: изменения ландшафтов и этносы внутриконтинентальных гор России. СПб: изд. ВВМ, 2010. 438 с.

Summary

The article is dedicated to perennial snow patches of Mongun-Taiga mountain massif (south-western Tuva), their morphology, present state and dynamics over the last 45 years. We created a scheme of snow patch classification with regard to genesis of relief and position on the slopes. Dynamics of snow patches is analyzed for periods between several time points – 1966 (on basis of aerial photos), 2000, 2007–2008 and 2011 (on basis of field measurements and observations). From 1966 to 2008 the number of snow patches decreased by 4 times, the total area – by 15 times, the altitudinal zone of snow patches moved 250–300 m up. In 2008–2011 the altitudinal zone of snow patches partly recovered, its lower limit moved 250 m down, periglacial snow patches recovered, a new type – snow patches of buried ice and debris-covered glaciers appeared. It could be the first face of the process of small glaciers recovery in the massif. Using the changes of the altitudinal position of snow patches in comparison with data of the closest meteorological station we estimated the amount of annual precipitation, critical for the existence of local snow patches.