

## **Колебания ледников Томич и Водопадный (Алтай) во второй половине XX – начале XXI в.**

© 2015 г. С.Ю. Самойлова<sup>1</sup>, А.А. Шевченко<sup>1</sup>, Р.Т. Шереметов<sup>2</sup>, А.А. Коломейцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул; <sup>2</sup>Институт экологии человека СО РАН, Кемерово  
*bastet05@list.ru*

## **Dynamics of glaciers Tomich and Vodopadny (Altai) for the second half of XX – beginning of XXI centuries**

S.Yu. Samoylova<sup>1</sup>, A.A. Shevchenko<sup>1</sup>, R.T. Sheremetov<sup>2</sup>, A.A. Kolomeytsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Water and Ecological Problems, Siberian Branch of RAS, Barnaul; <sup>2</sup>Institute of Human Ecology, Siberian Branch of RAS, Kemerovo

*Статья принята к печати 12 января 2015 г.*

*Климатические изменения, ледник, мониторинг, объём льда, топографическая съёмка.  
Climate changes, glacier, ice volume, monitoring, topography survey.*

Дана оценка динамики двух ледников Алтая – Томич (Катунский хребет) и Водопадный (Северо-Чуйский хребет) за период инструментальных наблюдений. Данные об изменении площади и объёма ледников с 1960–70-х годов до настоящего времени получены на основе архивных материалов: топографических карт, космических и радиолокационных съёмок, а также полевых исследований, выполненных авторами на этих ледниках в 2009–2011 гг. За исследуемый период площадь ледников сократилась на 19–25%, а объём – на 30–45%. Максимальная потеря льда произошла с середины 1990-х годов до настоящего времени. Установлена связь между интенсивностью ежегодной потери льда и средней летней температурой в ледниковой зоне Алтая.

Estimates of dynamics of two Altai glaciers Tomich (Katun Ridge) and Vodopadny (North Chuisky Ridge) for the whole period of instrumental observations are shown in the paper. Data on changes of the glaciers' areas and volumes were obtained from the topographic maps, satellite images and author's field researches performed in 2009–2011. During the period of observations (1952–2012), the glacier areas decreased by 19–25%, and the volumes by 34–45%, and the maximum loss of ice took place since the mid-1990s up to present time. The annual rate of the ice loss has been linked to the average summer air temperature over the glacier area of Altai.

### **Введение**

Алтай – один из крупнейших районов современного оледенения Азии. К концу XX в. здесь насчитывалось 953 ледника общей площадью около 750 км<sup>2</sup> [7]. Как и в других горных районах, на Алтае с середины XIX в. сокращаются длина, площадь и объём практически всех ледников. По данным [8], с середины XIX в. до начала XXI в. площадь и объём ледников здесь стали меньше соответственно на 21,7 и 22,4%. При этом за вторую половину XX в. площадь и объём ледников сократились соответственно на 7,1 и 10,1% [7]. В последние десятилетия во многих горных странах, в том числе на Алтае, отмечается повышение температуры воздуха [15].

Наиболее объективный и информативный показатель колебаний ледников – изменение их массы или объёма, которые можно определить с помощью ежегодных наблюдений за балансом ледника либо по изменению площади и высоты поверхности, полученному путём совмещения крупномасштабных топографических карт, составленных в разные годы. Начало системати-

ческих работ на ледниках Алтая связано с программой Международного гидрологического десятилетия (МГД, 1966–1975 гг.). Наблюдения за составляющими водного и ледового баланса, а также колебаниями ледников вели в опорных бассейнах: в верховьях рек Мульта, Актру и Аккем. По окончании МГД исследования продолжались под эгидой Международной гидрологической программы (МГП) и в рамках программы наблюдений за колебаниями ледников.

В соответствии с «Основными положениями по организации и проведению наблюдений за колебаниями ледников» [11] на Алтае выполнялись топогеодезические работы по III классу на трёх ледниках: 1) Водопадный (Северо-Чуйский хребет, бассейн р. Актру); 2) Малый Актру (Северо-Чуйский хребет, бассейн р. Актру); 3) Томич (Катунский хребет, бассейн р. Мульта).

Первая топографическая съёмка ледника Томич (1973 г.) была выполнена Р.М. Мухаметовым – сотрудником Алтайской гляциологической экспедиции Томского государственного университета. Ступение горизонталей проводилось на основании фототеодолитной съёмки,



**Рис. 1.** Местоположение объектов исследования  
**Fig. 1.** Study sites location

данные которой обрабатывались в МГУ под руководством Ю.Ф. Книжникова. С начала 1970-х и до 1990-х годов Р.М. Мухаметов аналогичным образом провёл съёмку 27 ледников Алтая. Материалы этих съёмок опубликованы [1, 2, 4, 5, 12]. В 2009–2010 гг. топогеодезические работы на леднике Томич выполнены сотрудниками Института водных и экологических проблем СО РАН и Алтайского государственного университета (г. Барнаул). В 2011 г. сотрудники Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул) провели топогеодезические работы на ледниках бассейна Актру, в том числе выполнили съёмку ледника Водопадный. Имеющиеся материалы позволяют оценить динамику ледников Томич и Водопадный за период инструментальных наблюдений.

#### Объекты исследований и исходный материал

В работах [7, 8 и др.] отмечается, что сильнее всего сократились ледники в периферийных хребтах Алтая, где преобладают малые формы оледенения. За период инструментальных наблюдений небольшие ледники Алтая уменьшились на 20–40%, а некоторые из них исчезли совсем [4]. Ледники Томич и Водопадный — относительно небольшие по площади (около 1 км<sup>2</sup>), они рас-

положены в разных частях этой горной страны (рис. 1), имеют разный морфологический тип и неодинаковые условия снегонакопления и таяния.

Главная особенность климата, определяющая большое разнообразие условий существования ледников на Алтае, — внутриконтинентальное положение горной страны с преобладающим западным переносом воздушных масс, в результате которого сумма выпадающих твёрдых осадков при движении на юго-восток уменьшается. В соответствии с этим высота фирновой линии ледников увеличивается с 2200 м в хребтах Западного Алтая до 3200–3300 м на границе с Монголией, а абляция—аккумуляция на высоте фирновой границы уменьшается с 300 до 100 г/см<sup>2</sup> [4, 12, 13].

**Томич** — каровый ледник, расположенный в Центральном Алтае, в Западном ледниковом узле Катунского хребта, в истоках р. Томичка (бассейн р. Мульты). Он имеет северо-восточную экспозицию, величина абляции—аккумуляции на высоте фирновой границы составляет 250 г/см<sup>2</sup>. Ледник залегает в двухкамерном цирке, большая его часть приурочена к правой части морфологического бассейна. Нижняя отметка ледника составляет 2200 м, верхняя — 2850 м. Фирновая граница проходит на высоте 2550–2600 м [12]. Современная площадь ледника, определённая по космическому снимку 2010 г., равна 1,25 км<sup>2</sup>. Топографи-

ческая карта ледника Томич 1973 г., построенная Р.М. Мухаметовым в масштабе 1:10 000, опубликована в работе [12] Повторные съёмки проводились им в 1983 и 1995 гг. Карты, характеризующие изменение поверхности ледника с 1973 по 1983 и с 1973 по 1995 гг., опубликованы в работе [4]. Оценка объёма ледника Томич выполнена С.А. Никитиным с помощью радиолокационного зондирования в 2000 г. [10].

**Водопадный** относится к ледникам плоских вершин, он находится в бассейне р. Актру, на северном склоне вершины Купол Трёх Озёр (юго-восточная оконечность Северо-Чуйского хребта, ледниковый узел Биш-Иирду). Фирновая граница проходит на высоте 3100 м. Величина абляции—аккумуляции на высоте фирновой границы составляет 100 г/см<sup>2</sup> [3]. Современная площадь ледника равна 0,8 км<sup>2</sup> (определена по космическому снимку 2011 г.). Ледник располагается в диапазоне высот 3060—3540 м. Самые старые мелкомасштабные карты района (1:25 000) датированы 1961 г. Они построены на основе топографической привязки аэрофотосъёмки, проводившейся с 1952 г. В 1978 г. Р.М. Мухаметов совместно с сотрудниками МГУ имени М.В. Ломоносова выполнил фототеодолитную съёмку ледников Малый Актру и массива Купол Трёх Озёр. Повторная съёмка проведена Р.М. Мухаметовым в 1983 г. Карты изменения поверхности ледника Водопадный с 1952 по 1978 г., с 1961 по 1978 г. и с 1978 по 1983 г. опубликованы в работе [4]. В 1978 и 1996 гг. под руководством С.А. Никитина проводилась радиолокационная съёмка этого ледника [3, 9].

Для определения площади обоих ледников использовались космические снимки RapidEye (мультиспектральные пятиканальные изображения с пространственным разрешением 5 и 6,5 м, формат GeoTiff) за 2011 г., LANDSAT (пространственное разрешение 15 м, формат GeoTiff) за 1996 и 2008—2010 гг., а также ASTER (пространственное разрешение 15 м, формат GeoTiff) за 2000 г.

### Методика исследований

Для оценки изменений морфометрических параметров ледников Томич и Водопадный за 2009—2011 гг. мы выполнили их топографическую съёмку, а также использовали геодезическую GPS-систему. Недавний опыт

использования подобных приборов на ледниках представлен в работе [6]. Топографическую съёмку ледниковой поверхности мы выполнили с помощью одночастотной (L1) геодезической системы Leica SR20. При съёмке использовали два приёмника: один, в качестве базовой станции, выполнял съёмку на опорной точке в режиме STATIC, а с помощью второго, работающего в режиме KINEMATIC, измеряли координаты точек на поверхности ледника. При работе с подобными приборами в условиях высокогорья следует учитывать ряд факторов.

1. Для съёмки необходим устойчивый сигнал четырёх и более спутников, что в условиях высокогорья может вызвать определённые затруднения, поэтому предпочтительнее вести GPS-измерения на открытых площадках и в ясную погоду.

2. Съёмка ведётся только в той части ледника, где можно безопасно передвигаться. Так, на ледниках Томич и Водопадный съёмкой было охвачено около 70% их поверхности, а на леднике Малый Актру съёмку поверхности ледника провести не удалось из-за многочисленных трещин, камнепадов и большой крутизны.

3. Для последующего корректного сопоставления данных съёмки с картами прошлых лет необходима привязка к опорным точкам в Балтийской системе высот, тогда как в GPS координаты и высоты определяют в системе WGS-84.

Результаты измерений обрабатывались с помощью поставляемого вместе с GPS программного обеспечения Geo Office, которое позволяет в дальнейшем экспортировать данные в системы GIS и CAD. Изменения площади ледника рассчитывались относительно имеющихся топографических карт: для ледника Томич использовалась карта Р.М. Мухаметова 1973 г. масштаба 1:10 000, а для ледника Водопадный — карта 1961 г. масштаба 1:25 000. Привязка сканированных карт и векторизация изолиний ледниковой поверхности выполнялись в среде ArcGis. Привязка выполнялась по координатной сетке (карта масштаба 1:25 000) и по опорным точкам (карта ледника Томич). Все картографические материалы приводились в единую систему координат UTM WGS-84. Карты изменения поверхности ледников, построенные Р.М. Мухаметовым, были отсканированы, привязаны с помощью опорных точек и оцифрованы. Построение ЦМР ледниковой поверх-

ности и последующие расчёты изменения её высоты выполнялись в среде ArcGis с использованием стандартных модулей Spatial Analyst и 3D Analyst.

Площадь ледников для всех временных срезов определяли по топографическим картам и картам изменения поверхности Р.М. Мухаметова. Современную площадь устанавливали по космическим снимкам. Поскольку верхняя граница ледника Водопадный представляет собой ледораздел, во всех случаях она была проведена в одном и том же месте по картам из работы [4]. Изменение объёма ледников рассчитывали следующим образом: сначала путём совмещения ЦМР ледниковой поверхности получали среднее изменение толщины ледников, а затем, на основе данных радиолокационных съёмок, – среднюю толщину в разные годы.

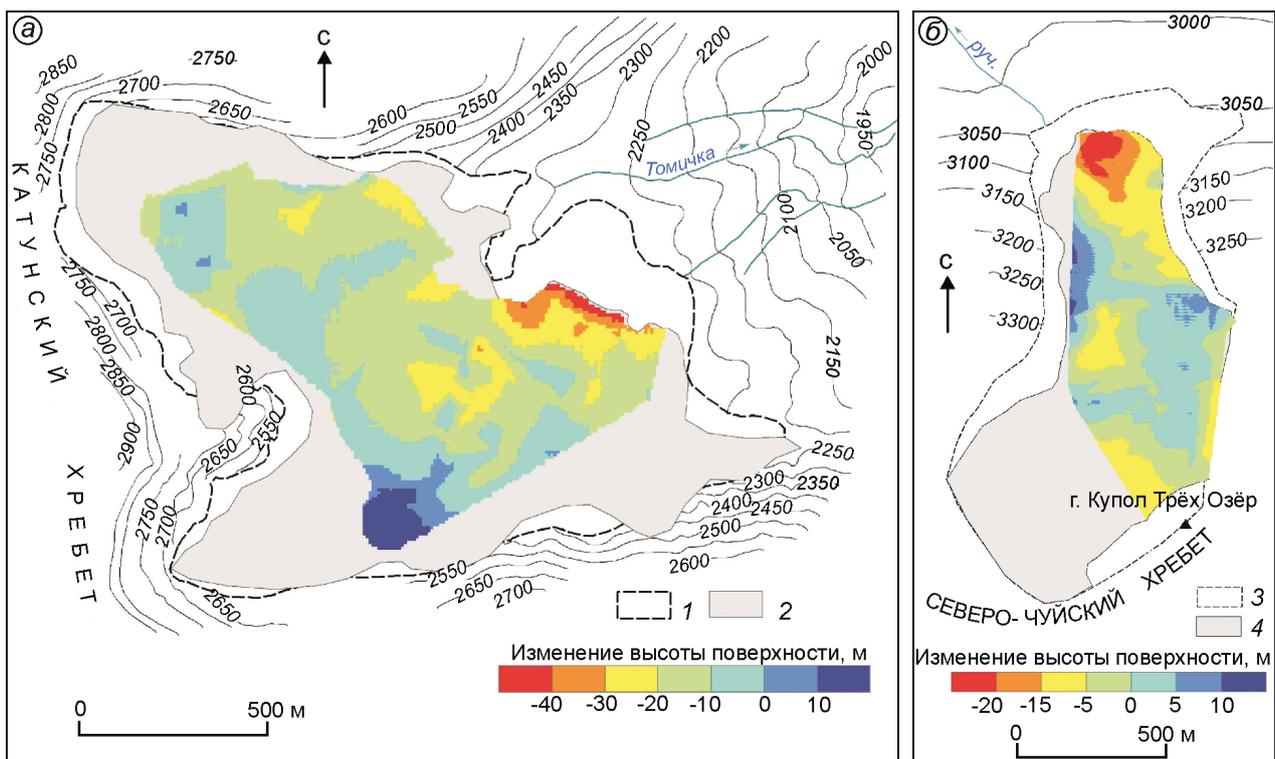
Объём ледников в годы радиолокационных съёмок пересчитан как произведение средней толщины и площади, определённой с помощью космических снимков. Очевидно, авторы работы [9] использовали устаревшие данные о

площади ледников. Так, площадь ледника Водопадный в 1996 г. принята в соответствии с Каталогом ледников 1974 г. равной 1,0 км<sup>2</sup>. На самом деле, площадь ледника, определённая по космическому снимку LANDSAT 1996 г., составляла 0,9 км<sup>2</sup>, поэтому объём льда был не 41 млн м<sup>3</sup>, как это опубликовано в работе [9], а несколько меньше – 36,9 млн м<sup>3</sup>. Площадь ледника Томич в 2000 г., определённая по космическому снимку ASTER, составляла 1,5 км<sup>2</sup>, а не 1,55 км<sup>2</sup>, соответственно и объём был не 48,3 млн м<sup>3</sup> [10], а 46,8 млн м<sup>3</sup>.

### Обсуждение результатов

С использованием топографических карт прошлых лет и данных полевых работ мы построили карты изменения поверхности ледников Томич с 1973 по 2010 г. и Водопадный с 1961 по 2011 г. (рис. 2) и рассчитали изменение их толщины и объёма (таблица).

В работах [3–5] показано, что больше всего на баланс ледников Алтая влияет температура



**Рис. 2.** Изменение поверхности ледников Томич за период 1973–2010 гг. (а) и Водопадный за 1961–2011 гг. (б). Границы ледника Томич: 1 – в 1973 г., 2 – в 2010 г.; границы ледника Водопадный: 3 – в 1961 г., 4 – в 2011 г.

**Fig. 2.** Changes of the glacier surface Tomich Glacier during 1973–2010 (a), Vodopadny Glacier during 1961–2011 (b). Boundaries of Tomich Glacier: 1 – in 1973, 2 – in 2010; of Vodopadny Glacier: 3 – in 1961, 4 – in 2011

### Изменение морфометрических параметров ледников за период инструментальных наблюдений

Год	Площадь ледника, км <sup>2</sup>	Средняя толщина ледника, м	Объём ледника, млн м <sup>3</sup>
<i>Ледник Томич</i>			
1973	1,55	43,5	67,4
1983	1,54	35,5	54,7
1995	1,54	35,6	54,9
2000*	1,50	31,2	46,8
2010	1,25	29,9	37,4
<i>Ледник Водопадный</i>			
1952	1,1	31,2	34,3
1961	1,07	33,7	36,1
1978**	0,93	36,6	34,0
1983	0,94	34,3	32,2
1996***	0,90	41,0	36,9
2011	0,80	29,7	23,8

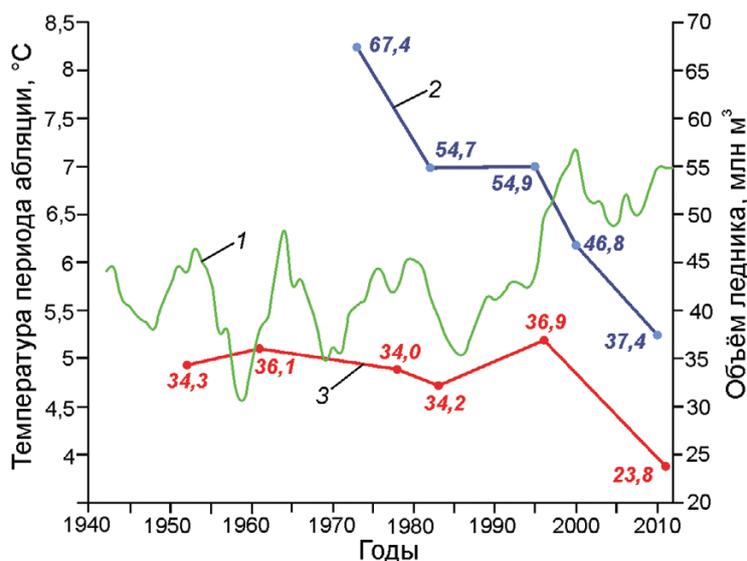
\*Данные радиолокационной съёмки [9]; \*\*то же, по [4]; \*\*\*то же, по [8].

воздуха в период абляции (июнь–август). Поэтому данные об изменении объёма ледников были сопоставлены с температурами периода абляции по ГМС Каратюрек (северный склон Катунского хребта, абсолютная высота 2605 м, наблюдения с 1939 г.). Данные по этой ГМС осо-

бенно показательны для ледника Томич, так как на высоте расположения этой станции проходит фирновая граница ледника, а сам ледник лежит всего в 45 км от станции.

Ледник Водопадный лежит в районе высокогорной ГМС Актру (абсолютная высота 2150 м). Наблюдения на этой ГМС были относительно кратковременными и нерегулярными: круглогодичные наблюдения велись только с 1957 по 1960 г.; с 1960 по 1968 г. были лишь сезонные наблюдения, а с 1972 по 1994 г. ГМС Актру работала в системе Росгидромета. Коэффициент корреляции температур летних месяцев по ГМС Каратюрек и Актру составил 0,80–0,88, поэтому при анализе динамики ледника Водопадный использовались также данные ГМС Каратюрек, расположенной в 95 км от ледника.

Средняя летняя температура воздуха по данным ГМС Каратюрек с 1939 по 2013 г. составляет 5,85 °С, но за это время температура повысилась почти на 1 °С. Наиболее резко температура стала повышаться с середины 1990-х годов: с 1996 по 2013 г. средняя летняя температура увеличилась с 5,57 до 6,76 °С. До этого наблюдались кратковременные периоды сменяющих друг друга потеплений и похолоданий. На рис. 3 показано изменение объёма ледников Томич и Во-



**Рис. 3.** Изменения объёма ледников Томич и Водопадный и средней летней температуры по ГМС Каратюрек за период инструментальных наблюдений:

1 – пятилетняя скользящая средняя летних температур; 2 и 3 – соответственно объём ледников Томич и Водопадный

**Fig. 3.** Changes of volume of Tomich and Vodopadny glaciers and of average summer temperature for the period of instrumental observations of Karatyurek weather station.

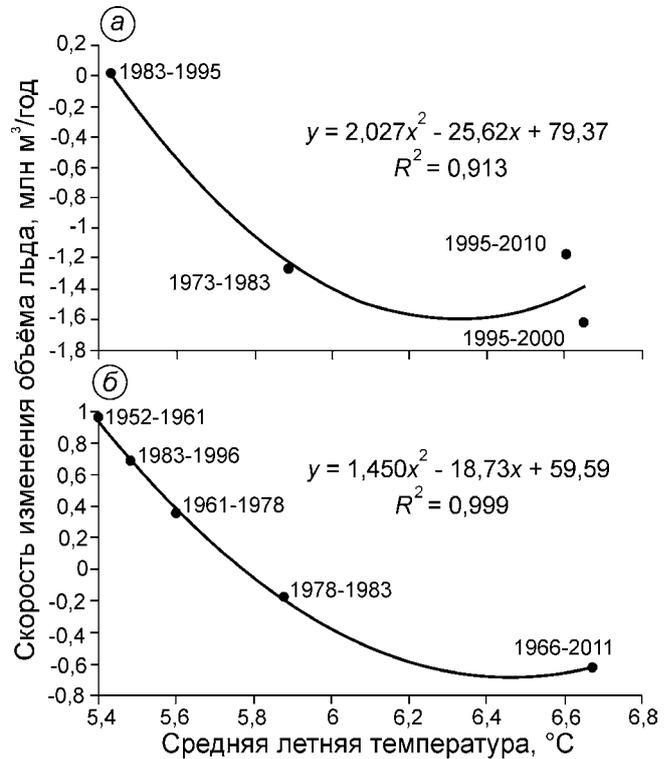
1 – five-years running average summer temperature; 2 and 3 – volume of Tomich and Vodopadny glaciers

допадный и приведена кривая температур периода абляции (июнь–август) по ГМС Каратюрек. Топографические съёмки на ледниках велись в разные годы, однако хорошо видно, что колебания параметров в целом синхронны и хорошо согласуются с ходом средних летних температур.

Расчёты показали, что с 1973 по 2010 г. объём ледника Томич уменьшился почти на 30 млн м<sup>3</sup>, а его толщина сократилась на 13,6 м. Максимальное сокращение характерно для языка. В правой части фирнового бассейна поверхность ледника повысилась на 25 м (см. рис. 2, а). С учётом данных радиолокационной съёмки потеря льда с 1973 по 2010 г. равна около 45%. Площадь ледника за этот период сократилась лишь на 19%. Это значит, что объём льда сократился в основном за счёт уменьшения толщины. Интенсивная потеря льда зафиксирована в 1973–1983 и 1995–2010 гг. В начале 1980-х и в 1990-х годах, когда летние температуры были ниже средних, объём ледника увеличился на 0,2 млн м<sup>3</sup>. Средняя скорость отступания языка ледника Томич [4] с 1983 по 1995 г. снизилась с 3,2 до 2,0 м/год. Позже 1969 г. язык ледника не наступал.

Ледник Водопадный с 1961 по 2011 г. потерял около 34% своего объёма, или 12,3 млн м<sup>3</sup>, и 0,27 км<sup>2</sup> (25%) площади. Поверхность в среднем понизилась примерно на 4 м. Для этого ледника также характерно интенсивное таяние с 1978 по 1983 г. и после 1996 г., в то время как в 1983–1996 гг. объём ледника увеличился на 15%. Изменение объёма льда в наибольшей степени связано с колебаниями средней летней температуры воздуха (рис. 4).

Большой интерес вызывает сравнение полученных данных об изменении ледников Томич и Водопадный с материалами о деградации оледенения Алтая в целом. В работе [8] представлена информация о динамике оледенения Алтая с середины XIX в. до 2003 г. С 1952 по 2003 г. сокращение площади и объёма ледников в Катунском хребте составило 4,4 и 7,2%, а в Северо-Чуйском хребте – 6,1 и 6,5% соответственно. Объём ледников оценивали по данным радиолокационного зондирования и на основе корреляционных зависимостей объёмов ледников разных морфологических типов от их площади. В работе [15] за тот же период отмечается существенно большее сокращение площади ледни-



**Рис. 4.** Скорость изменения объёма ледников Томич (а) и Водопадный (б) в зависимости от средней летней температуры по данным ГМС Каратюрек  
**Fig. 4.** Changing rate of the Tomich (a) and Vodopadnyy (b) glaciers volume depending on the average summer temperature according to data of the Karatyurek weather station

ков в Северо-Чуйском и Южно-Чуйском хребтах – на 19,7%. Полученные нами данные по изменению площади ледников Томич и Водопадный (19–25%) соответствуют оценке деградации оледенения по [15].

Наши оценки сокращения объёма льда в 34–45% значительно превышают приведённые в работах С.А. Никитина. Причины этого, по нашему мнению, заключаются в том, что в работе [8] темпы сокращения площадей (и соответственно объёма) ледников экстраполированы с 1952 по 1995 г. на период 1995–2003 гг. Однако с середины 1990-х годов вслед за резким ростом температуры увеличились и темпы сокращения ледников по сравнению с предыдущим периодом. Кроме того, рост скорости сокращения ледников Водопадный и Томич обусловлен их морфологическими особенностями. Как отмечается в исследованиях [4, 7, 8], максимальные темпы деградации характерны для небольших ледников, в том числе каровых (к

которым относится ледник Томич), присклоновых и ледников плоских вершин (к последним относится ледник Водопадный).

### Заключение

Полученные нами данные об изменении морфометрических параметров ледников Томич и Водопадный показывают, что с середины 1990-х годов вслед за ростом летних температур темпы деградации ледников значительно увеличились. За период инструментальных наблюдений объём этих ледников уменьшился на 34–45%. При этом площадь ледников сократилась на 19–25%, т.е. изменение объёма льда произошло в основном за счёт уменьшения их толщины. Анализ связи изменения объёма ледников и температуры воздуха в период абляции показал, что последняя – главный фактор, определяющий динамику ледников.

Отмеченное у обоих ледников увеличение объёма в 1980–90-х годах на фоне продолжающегося отступления языков позволяет сделать вывод, что наблюдение за колебаниями языков не может дать исчерпывающую оценку современного состояния оледенения. Если скорость реакции языков ледников на климатические изменения, по разным оценкам, может колебаться от нескольких лет (ледник Малый Актру, Алтай) [4] до нескольких десятилетий (ледники Альп) [14], то объём льда меняется значительно быстрее. Материалы по леднику Водопадный позволяют отметить весьма важную особенность малых ледников Алтая: в зависимости от климатических условий они могут быстро и набирать свою массу (период 1983–1996 гг.), и терять её (период 1996–2011 гг.). Синхронность колебаний объёма ледников Томич и Водопадный, а также близкие относительные величины их сокращения за последние 15 лет показывают, что подобные процессы характерны для других малых ледников Алтая.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность научному руководителю работ В.П. Галахову за поддержку исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Президиума РАН «Реконструкция процессов опустынивания в Центральной Азии по

ледникам и ледниковым комплексам» и гранта РФФИ 13-05-00002 «Современные ландшафты на «полюсах влажности» Русского Алтая и их эволюция в голоцене».

### Литература

1. *Арефьев В.Е., Мухаметов Р.М.* На ледниках Алтая и Саян. Барнаул: изд-во Комитета администрации Алтайского края по образованию, 1996. 176 с.
2. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М.: изд. Российской академии наук, 1997. 392 с.
3. *Галахов В.П., Нарожный Ю.К., Никитин С.А., Окишев П.А., Севастьянов В.В., Севастьянова Л.М., Шантыкова Л.Н., Шуров В.И.* Ледники Актру (Алтай). Л.: Гидрометеиздат, 1987. 119 с.
4. *Галахов В.П., Мухаметов Р.М.* Ледники Алтая. Новосибирск: Наука, 1999. 136 с.
5. *Галахов В.П., Назаров А.Н., Харламова Н.Ф.* Колебания ледников и изменения климата в позднем голоцене по материалам исследований ледников и ледниковых отложений бассейна Актру (Центральный Алтай, Северо-Чуйский хребет). Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2005. 132 с.
6. *Кутузов С.С., Лаврентьев И.И., Мачерет Ю.Я., Петраков Д.А.* Изменение ледника Марух с 1945 по 2011 г. // Лёд и Снег. 2012. № 1 (117). С. 123–127.
7. *Нарожный Ю.К., Никитин С.А.* Современное оледенение Алтая на рубеже XXI века // МГИ. 2003. Вып. 95. С. 93–101.
8. *Никитин С.А.* Закономерности распределения ледниковых льдов в Русском Алтае, оценка их запасов и динамики // МГИ. 2007. Вып. 107. С. 87–96.
9. *Никитин С.А., Веснин А.В., Осипов А.В., Игловская Н.В.* Радиофизические исследования ледников Алтая // Вопросы географии Сибири. 1997. № 22. С. 120–128.
10. *Никитин С.А., Веснин А.В., Осипов А.В., Игловская Н.В.* Распределение объемов льда в западной Части Катунского хребта по данным радиолокационного зондирования // Вестн. Томского гос. ун-та. 2001. № 274. С. 34–39.
11. Основные положения по организации и проведению наблюдений за колебаниями ледников // МГИ. 1983. Вып. 22. С. 199–222.
12. *Ревякин В.С., Галахов В.П., Голещихин В.П.* Горноледниковые бассейны Алтая. Томск: Изд-во ТГУ, 1979. 309 с.
13. *Ревякин В.С., Мухаметов Р.М.* Сокращение ледниковой системы Купол – Малый Актру на Алтае за период 1952–1979 гг. // МГИ. 1981. Вып. 41. С. 187–190.
14. *Хеберли В., Хёльцле М.* Опыт использования кадастровых данных для оценки основных гляциоло-

- гических характеристик и воздействия региональных изменений климата на горные ледники (на примере Альп) // МГИ. 1997. Вып. 82. С. 116–124.
15. *Shahgedanova M., Nosenko G., Khromova T., Muraveyev A.* Glacier shrinkage and climatic change in the Russian Altai from the mid-20th century: An assessment using remote sensing and PRECIS regional climate model // *Journ. of Geophys. Research.* 2010. № 115. D16107. doi:10.1029/2009JD012976

### Summary

The paper presents estimates of changes in the morphometric characteristics of two glaciers of Altai, the Tomich and Vodopadny, for the period of instrumental observations 1952–2012. The Tomich is a corrie glacier located on the Katunsky Ridge, the most humid area in Altai. The Vodopadny is a flat-summit glacier situated in the River Aktru basin (the North-Chuisky Ridge). Both glaciers are relatively small (areas of about 1 km<sup>2</sup>). Data on changes in the glaciers areas and volumes were obtained from the contemporary records, such as topographic maps for different years, radar surveys, satellite images, and our field researches. The field topographic and geodetic works were carried out on the Tomich and Vodopadny glaciers in 2009–2011. Surveying of the ice surface was implemented by means of a single-frequency (L1)

geodetic system Leica SR20. The analysis of the materials available made it possible to reveal that the glaciers volumes decreased with different rates. Furthermore, in the 1980s – mid 1990s, both glaciers demonstrated increasing of the ice volume under condition of the continuing retreat of their tongues. For the above period, the glaciers' areas decreased by 19–25%, while the volume did by 35–45%, and the maximum loss of ice took place from middle of 1990s to the present time. According to data of the Karatyurek weather station, since the middle of 1990s the average summer temperature in the glacier area of Altai has risen by more than 1 °C relative to the previous period. Perhaps, that led to increasing of the glacier degradation rate. The volume fluctuations of both glaciers agree well with the temperature changes for the ablation period (June–August).

In 1980–1990, increasing volume of both glaciers against the background of ongoing tongues' retreats clearly suggests that observations of variations of the glacier tongues do not allow a comprehensive evaluation of the current state of glaciation. Synchronous fluctuations of the Tomich and Vodopadny glacier volumes together with close values of the ice storage reduction for the last 15 years allow conclusion that these processes are typical also for other small glaciers of Altai.