

УДК 551.324.3.(571.151)

**МОНИТОРИНГ ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВ: ЗАДАЧИ, НОВЫЕ МЕТОДЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ****С. Ю. Самойлова****MOUNTAIN GLACIERS MONITORING: PROBLEMS, NEW METHODS, EXPECTATIONS****S. Y. Samoylova**

*Работа выполнена в рамках проекта VII.63.3.2. – Ледники как индикаторы климатических изменений под влиянием вулканической деятельности.*

*В статье рассмотрены история и принципы организации наблюдений за колебаниями ледников на Алтае. Представлен опыт использования геодезических GPS-систем и ГИС для мониторинга ледников.*

*History and methods of organizing supervision over glaciers fluctuations in Altai are discussed in this paper. Methodology and results of using geodesic GPS-systems and GIS for glaciers monitoring are reported.*

**Ключевые слова:** мониторинг, ледник, климатические изменения, топографическая съемка, запасы льда.

**Keywords:** monitoring, glacier, climatic changes, topographic survey, ice stock.

В последние десятилетия одной из наиболее дискуссионных научных проблем является проблема глобального потепления. В настоящее время доказано, что мы находимся в теплой фазе ледниковой эпохи внутри четвертичного периода [7, с. 8 – 13], начало которой приурочено ко второй половине XIX в. (конец так называемого Малого ледникового периода). Несмотря на научно-технический прогресс, жизнь современного человечества до сих пор в значительной степени зависит от природной среды, поэтому исследование природных систем в условиях изменения климата, несомненно, актуально.

В связи с этим большое значение имеют наблюдения за колебаниями ледников, т. е. динамикой их размеров и формы, вызванных изменениями внутреннего режима и климата. Обусловлено это, в первую очередь, тем, что они являются чувствительными индикаторами как местных, так и глобальных климатических изменений. Во-вторых, ледники являются источниками чистой пресной воды. В благоприятные периоды (похолодание или увлажнение) ледники накапливают вещество (снег и лед), а в неблагоприятные (потепление или иссушение) – отдают его в виде талого стока, изменяя при этом свои размеры и форму. При этом связь между динамикой ледников и климатом достаточно сложная, поскольку ороклиматические условия сугубо индивидуальны для каждого объекта. Время ответной реакции горных ледников на климатические изменения может достигать от 10 до 100 лет и более [6, с. 116 – 124]. Поэтому наблюдения за динамикой ледников должны носить многолетний систематический характер.

**Исследования ледников на Алтае**

На Алтае инструментальные наблюдения за ледниками начаты в конце XIX в. В 1895 – 1911 гг. Профессором Томского государственного университета В. В. Сапожниковым с помощью теодолита была выполнена топографическая съемка ледников массивов Белухи, Табын-Богдо-Ола, верховьев Чаган-Узуна, зафиксировано положение концов крупных ледников. Последующие полвека большая часть работ на ледниках Алтая была связана с именем М. В. Тронова. Помимо описания и каталогизации ледников, М. В. Троновым были изучены закономерности их пространственного распределения, механизмы взаимосвязи оледенения с рельефом и климатом.

Систематические исследования режима и динамики ледников были начаты в период Международного геофизического года (МГГ, 1957 – 1958 гг.) и последовавшего за ним Международного гидрологического десятилетия (МГД, 1966 – 1975 гг.). Наблюдения за составляющими водного и ледового баланса, колебаниями ледников проводились в опорных бассейнах: в верховьях рек Мульты, Актру и Аккема. После окончания МГД исследования были продолжены под эгидой Международной гидрологической программы (МГП). Одновременно с МГП слежение проводилось в рамках программы наблюдений за колебаниями

ледников. Для выполнения этих двух программ в Советском Союзе были отобраны 7 горно-ледниковых бассейнов в различных регионах, в т. ч. на Алтае в качестве опорного был выбран бассейн верховьев р. Актру. После окончания МГП (1984 г.) материалы за составляющими водного и ледового балансов, а также за колебаниями ледников в бассейне были опубликованы [2]. В последние десятилетия значительная работа по наблюдению за ледниками проводилась сотрудниками ТГУ. Были получены количественные показатели изменения морфометрических параметров 120 ледников [3, с. 93 – 101; 4, с. 34 – 39].

На основе имеющихся материалов, а также современных исследований, выполняемых с использованием новейших методик и технологий, можно проследить динамику ледников за весь период инструментальных наблюдений, исследовать механизмы взаимосвязи климата и оледенения.

Сотрудниками ИВЭП СО РАН, АлтГУ (г. Барнаул) и ИЭЧ СО РАН (г. Кемерово) в течение полевых сезонов 2009 – 2011 гг. выполнялась топографическая съемка ледников Томич (Катунский хребет, бассейн р. Мульты), Водопадный и Левый Тетё (Северо-Чуйский хребет, бассейн р. Актру, массив Купол). Основная цель работы: проследить динамику морфометрических параметров ледников с использованием данных топографических съемок прошлых лет.

### Методика наблюдений за колебаниями ледников

Наиболее старый, простой и распространенный способ наблюдений за колебаниями ледников – маркировка их концов. В настоящее время источником информации об изменении длин и площадей ледников также могут являться данные космических съемок. Однако наиболее объективным и информативным показателем колебаний ледников служит изменение их массы или объема. Его можно определить по изменению площади и высоты поверхности ледника. Единственным имеющимся в нашем распоряжении способом получения информации об изменениях высоты поверхности ледников с приемлемой точностью (в пределах нескольких сантиметров) являются топогеодезические работы.

С начала 1970-х до середины 1990-х гг. топографическая съемка ледников на Алтае производилась Р. М. Мухаметовым. Первая топографическая съемка была выполнена им в 1973 году на леднике Томич. Основа топоплана составлена по материалам теодолитной съемки (теодолит Т-30). Сгущение горизонталей проводилось на основании фототеодолитной съемки (фототеодолит Karl Zeiss, Jena), а ее обработка производилась в МГУ (под руководством Ю. Ф. Книжникова). Карта ледника Томич, в масштабе 1:10000, приводится в монографии «Горноледниковые бассейны Алтая» [5]. Повторные съемки ледника Томич проводились Р. М. Мухаметовым в 1983 и 1995 гг. Аналогичным образом была выполнена съемка 27 ледников Алтая с интервалом в 5 – 10 лет [1].

В 2009 – 2011 гг. для топографической съемки ледниковой поверхности использовались геодезические GPS Leica SR20 и Epoch 10. Это одночастотные (L1) геодезические системы для выполнения профессиональных топографических измерений с сантиметровой точностью в режимах «STATIC» и «KINEMATIC» с постобработкой. Такие приемники можно использовать в качестве устройства для сбора геоданных и как опорную GPS станцию. При съемке поверхности ледника используется два приемника: один в качестве базовой станции производит съемку на опорной точке в режиме «STATIC», с помощью второго, работающего в режиме «KINEMATIC», измеряются координаты точек на поверхности ледника.

Поскольку топографическая съемка ледников из-за их труднодоступности требует значительных материальных и физических затрат, работа с геодезическими GPS позволяет существенно ускорить и упростить процесс съемки по сравнению с теодолитом или тахеометром. При этом в условиях высокогорий работа с подобными приборами имеет определенные особенности.

Во-первых, для съемки необходим устойчивый сигнал 4 и более спутников, поэтому предпочтительнее всего использовать GPS на открытых площадках и в ясную погоду. В условиях сильно расчлененного рельефа при запуске GPS поиск спутников занимает больше времени, инициализация прибора может составлять до 30 – 40 минут. В процессе работы сигнал спутников может пропадать, после чего необходима новая инициализация. Естественно, это сильно замедляет работу. В некоторых случаях (например, в глубоком ущелье) GPS может не «поймать» сигнал достаточного количества спутников. Так, например, при попытке съемки языка ледника Малый Актру в пасмурную погоду, GPS Leica SR 20 смог принять сигнал только двух спутников, что не позволило выполнить измерения. При работе на ледниках массива Купол и в каре ледника Томич подобных проблем не возникало.

Во-вторых, в условиях труднодоступных высокогорий серьезную проблему представляет необходимость подзарядки или замены элементов питания. На большой абсолютной высоте в условиях пониженных температур время работы аккумуляторов сокращается на 20 – 30 %.

В-третьих, съемка производится только на той части ледника, которая доступна для относительно безопасного передвижения. Так, на леднике Томич во время съемки 2009 – 2010 гг. точками было охвачено около 70 % ледниковой поверхности, на леднике Водопадном – практически 100 % поверхности, на леднике Левый Тетё – около 30 – 40 %. На рисунке 1 показаны точки съемки ледника Томич 2009 – 2010 гг.

Постобработка результатов измерений производится с помощью поставляемого вместе с GPS программного обеспечения Geo Office, которое позволяет впоследствии экспортировать данные в системы GIS и CAD.

### Результаты работ: климатические изменения и колебания ледника

Сопоставляя топографические съемки прошлых лет с полученными материалами, можно определить изменение высоты поверхности ледников. В качестве примера в данной статье приведены результаты работ на леднике Томич. На рисунке 2 представлено изменение поверхности ледника Томич с 1973 по 2010 гг. За период наблюдений произошло значительное сокращение его толщины (до 50 м и более на языке), в среднем она уменьшилась на 18,9 м.

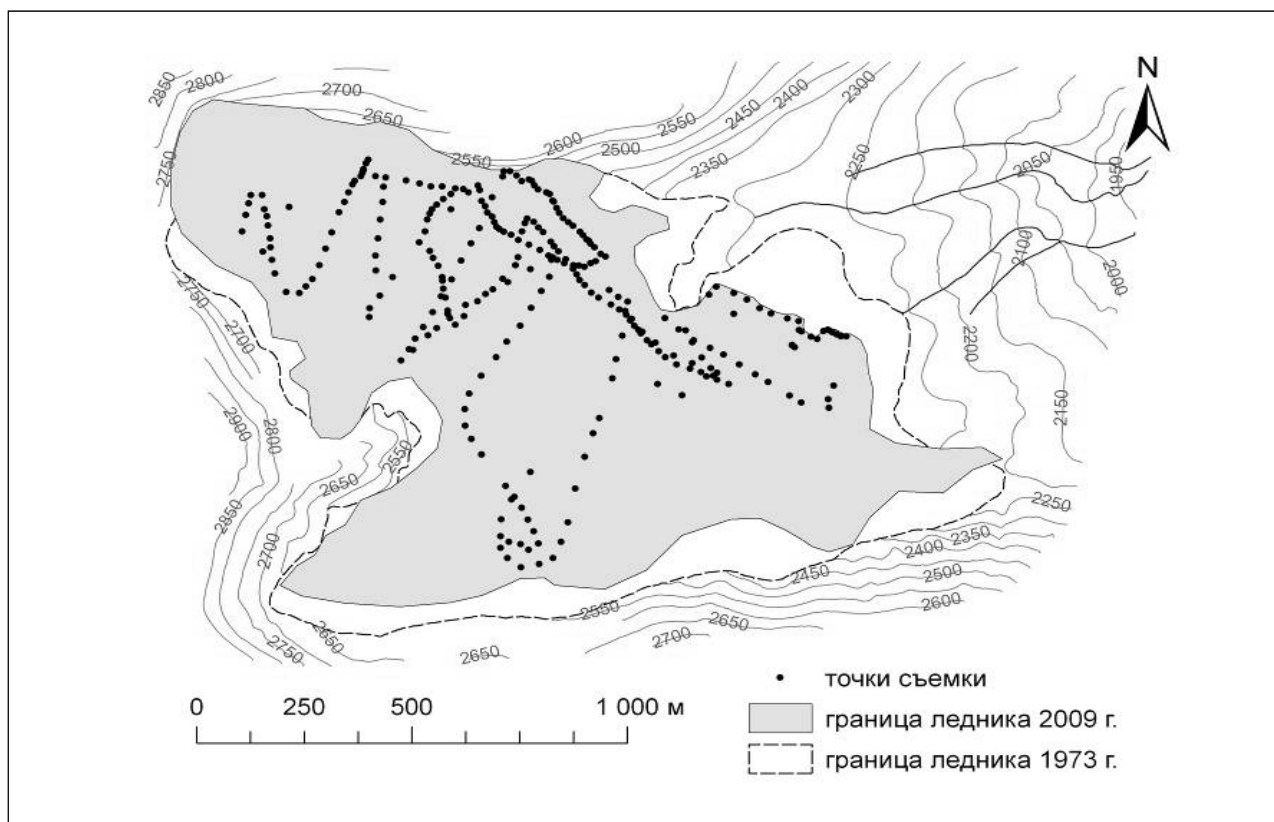


Рис. 1. Точки топографической съемки ледника Томич

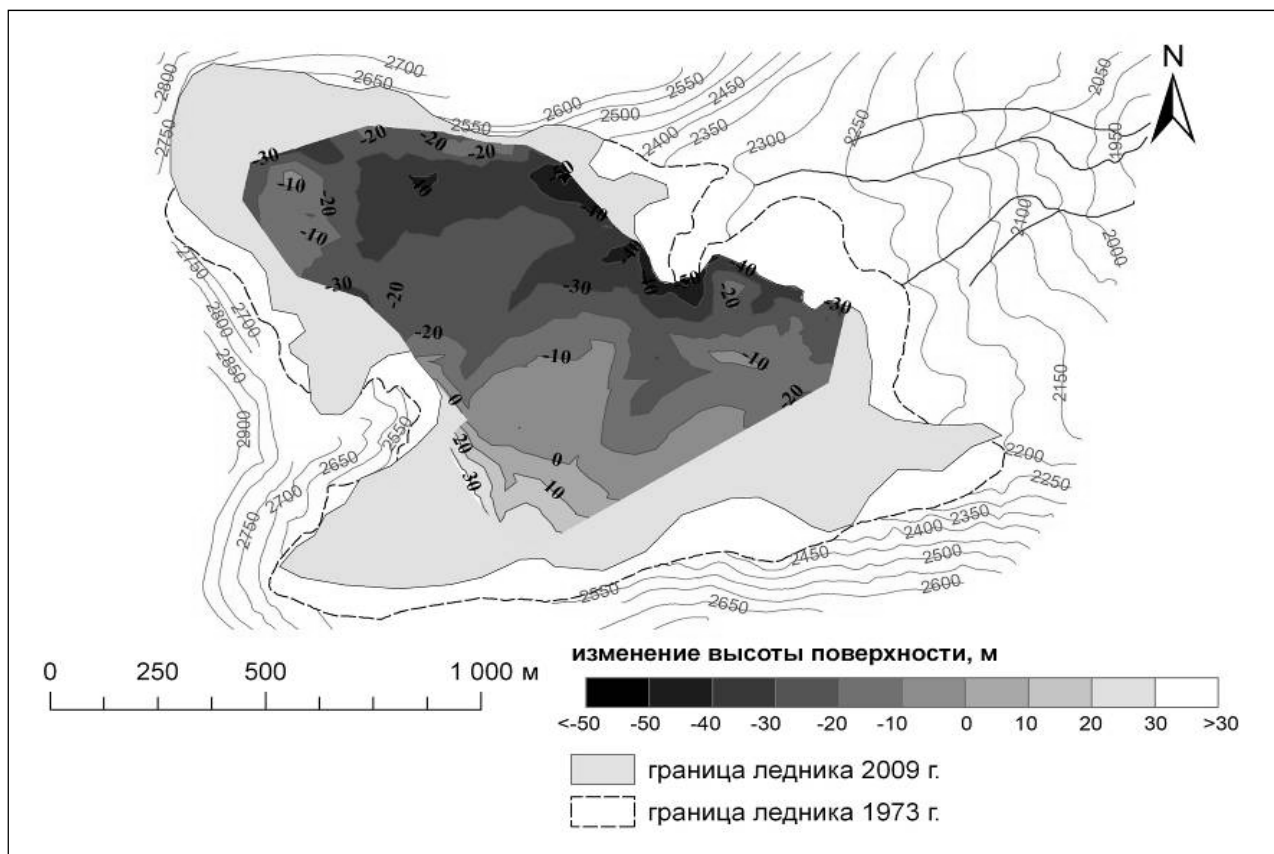


Рис. 2. Изменение поверхности ледника Томич с 1973 по 2010 гг.

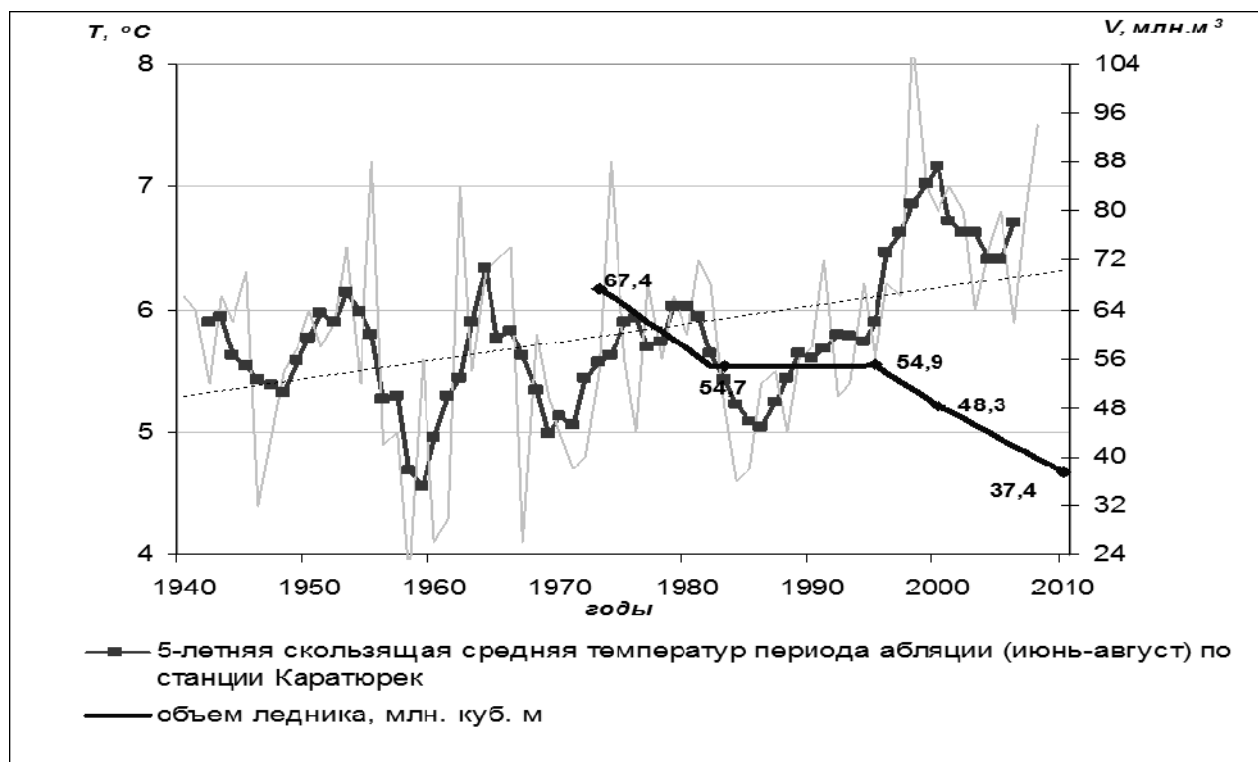


Рис. 3. Изменение средней летней температуры по станции Каратюрек и динамика объема ледника Томич

Наиболее значительное влияние на ледники оказывает изменение теплоприхода, самым простым и достоверным показателем которого является среднелетняя температура [1]. На рисунке 3 представлено изменение объема ледника Томич с 1973 по 2010 гг. и кривая температур периода абляции (июнь – август) по станции Каратюрёк (северный склон Катунского хребта, абсолютная высота 2605 м, наблюдения с 1939 г.). Информация о толщине и объеме ледника Томич получена по материалам радиолокационной съемки, выполненной в 2000 г. гляциологическим отрядом ТГУ [4].

Динамика объема ледника хорошо согласуется с температурной кривой. Так, в периоды с 1973 по 1983 гг. и с 1995 г. по настоящее время ледник интенсивно таял. В начале 1980-х – 1990-х гг., когда летние температуры были ниже средних (рис. 3), объем ледника оставался неизменным и даже незначительно увеличился, при этом язык ледника продолжал отступать. Общая потеря запасов льда за период с 1973 по 2010 гг. составила приблизительно 30 млн. м<sup>3</sup>, то есть с 1973 г. объем ледника Томич сократился на 45 %. Площадь ледника за этот период сократилась на 19 %. Таким образом, сокращение запасов льда произошло в большей степени за счет уменьшения толщины ледника. Причем наряду с интенсивным уменьшением толщины ледника на языке, на отдельных участках фирнового бассейна происходит накопление вещества (рис. 2).

Систематическое выполнение съемки поверхности ледников поможет исследовать реакцию отдельных ледников и их групп на климатические изменения, что позволит впоследствии исследовать и прогнозировать изменение речного стока и запасов воды в горно-ледниковых бассейнах.

*Автор выражает благодарность канд. геол. наук, доценту В. П. Галахову (ИВЭП СО РАН), канд. геол. наук О. В. Останину (АлтГУ) за помощь в проведении работ.*

### Литература

1. Галахов, В. П. Ледники Алтая / В. П. Галахов, Р. М. Мухаметов. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1999. – 136 с.
2. Ледники Актру (Алтай) / В. П. Галахов, Ю. К. Нарожный, С. А. Никитин [и др.] – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 119 с.
3. Нарожный, Ю. К. Современное оледенение Алтая на рубеже XXI века / Ю. К. Нарожный, С. А. Никитин // Материалы гляциологических исследований. – 2003. – Вып. 95.
4. Распределение объемов льда в западной части Катунского хребта по данным радиолокационного зондирования / С. А. Никитин, А. В. Веснин, А. В. Осипов, Н. В. Игловская // Вестник ТГУ. – 2001. – № 274.
5. Ревякин, В. С. Горноледниковые бассейны Алтая / В. С. Ревякин, В. П. Галахов, В. П. Голещихин. – Томск: Изд-во ТГУ, 1979. – 310 с.
6. Хеберли, В. Опыт использования кадастровых данных для оценки основных гляциологических характеристик и воздействия региональных изменений климата на горные ледники (на примере Альп) / В. Хеберли, М. Хёльцле // Материалы гляциологических исследований. – 1997. – Вып. 82.
7. Hagedon, H. Eiszeit, Klimaänderung und Menschheit / H. Hagedon // Akademie aktuell. – Dezember. – 2004.

### Информация об авторе:

**Самойлова Светлана Юрьевна** – кандидат географических наук, научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН, т. 8(3852)667893, [bastet@iwep.asu.ru](mailto:bastet@iwep.asu.ru)

**Samoylova Svetlana Yurievna** – Doctor of Geography, researcher of Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the RAS.