

УДК 551.3246:583(574)

**НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИЗМЕНЕНИИ РАЗМЕРОВ
ЛЕДНИКА ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ТУЮКСУЙСКИЙ**

Н.Е. Касаткин

Ледник Центральный Туюксу́йский входит в число ключевых – тестовых Мировой службы мониторинга ледников. За период с 1998 по 2006 гг. он потерял 10 млн. м³ льда или 8 % общего объема. Годовые потери ледника составили 0,9 %. Экстраполируя данные по изменению объема можно предположить, что ледник должен исчезнуть к концу 21 века, по изменению площади через 182 года, а по изменению длины через 260 лет, если будет продолжаться потепление климата Земли.

Ледник Центральный Туюксу́йский является ключевым – тестовым в системе Мирового мониторинга ледников Земли и систематически исследуется в течение более полувека. Ледник неоднократно подвергался топогеодезическим и стереофотограмметрическим съемкам, благодаря чему имеются данные, наиболее близкие к его реальным морфометрическим параметрам. Кроме того, ранее проводились государственные аэрофотосъемки ледника, давшие информацию о его размерах. Однако в ряде случаев дешифровкой снимков занимались не гляциологи, а топографы, не знающие особенностей ледника, в результате чего границы ледника и его размеры идентифицировались по-разному и нередко давали отличающиеся друг от друга результаты [4].

В связи с тем, что границы ледника изменяются довольно медленно и зависят от многих внешних факторов (абляции, наступления моренного покрова на чистую поверхность языка, кинематики ледника и т. п.), любые геодезические измерения необходимо проводить с интервалом от 5 до 10...15 и более лет, когда четко прослеживаются изменения, произошедшие с ледником за определенное время. В период проведения каких-либо измерительных работ необходимо еще учитывать время, когда ледник освобождается от сезонного снега и летних снегопадов.

Принимая во внимание вышеуказанные обстоятельства, 2006 г. оказался во многих отношениях весьма благоприятным для проведения

наземных геодезических съемок. К сожалению, область питания, обладающая крутыми (до 40°) склонами, ледовыми стенками и обрывами льда, не была охвачена этими съемками, и в дальнейших расчетах пришлось пользоваться результатами стереофотограмметрических съемок 1998 г. Эти работы осуществила специальная экспедиция из Баварской Академии Наук ровно через 40 лет после аналогичных съемок фотограмметристов из Дрезденской Технической Школы ГДР.

Для обеспечения гляциологических исследований, предписанных программами МГГ, Колебаний ледников, МГД и МГП, в середине прошлого века была установлена локальная геодезическая сеть в районе всех Малоалматинских ледников с установкой внешних металлических знаков и марок и привязкой их к опорной сети триангуляции 3...4 класса, которую установили в 1958 г. немецкие геодезисты. Эта сеть и в настоящее время используется при геодезических работах на леднике Центральный Туюксу, благодаря чему все пункты гляциологических измерений привязываются к картам. Но, как уже отмечалось выше, режимные характеристики и морфометрия области питания оценивались косвенным образом.

Изменения объема льда за период с 1998 по 2006 гг. определялись гляциогеодезическим методом на основе карт языка, полученных в результате соответствующих съемок. На 1998 г. карта была сделана немецкими геодезистами, а на 2006 г. - автором данной статьи при непосредственном активном участии коллектива сотрудников стационара «Ледник Туюксу» Института географии МОН РК (рис. 1). Геодезическая съемка 2006 г. проводилась в период с 27 по 30 августа, когда контуры ледника были четко очерчены, т. к. стояла почти безоблачная трехмесячная и довольно «жаркая» погода, «съевшая» весь снежный покров вокруг ледника и на всей его поверхности.

Все точки вновь установленной на леднике речной сети были привязаны методом прямой засечки с имеющихся на бортах ледника геодезических пунктов. Координаты и высоты рек на 2006 г. были вычислены в компьютерной программе EXCEL. По этим координатам и высотам были построены две карты поверхности ледника Туюксу до высоты 3800 метров над у. м., являющейся среднемноголетней внешней границей питания и внутренней кинематической границей питания. Обе карты были выполнены в масштабе 1 : 10 000, изогипсы на них проведены через 5 метров. Эти карты явились основой для последующих расчетов. Использовался метод палетки, на которой координатная сетка была проведена через 50

метров. Сетка поочередно накладывалась на карту 1998 г., а затем на карту 2006 г., и в каждом пересечении осей плановых координат на площади ледника снимался отсчет абсолютной высоты (рис. 2). Разность между отсчетами 1998 и 2006 гг. в данной точке явилась величиной изменения высоты поверхности ледника.

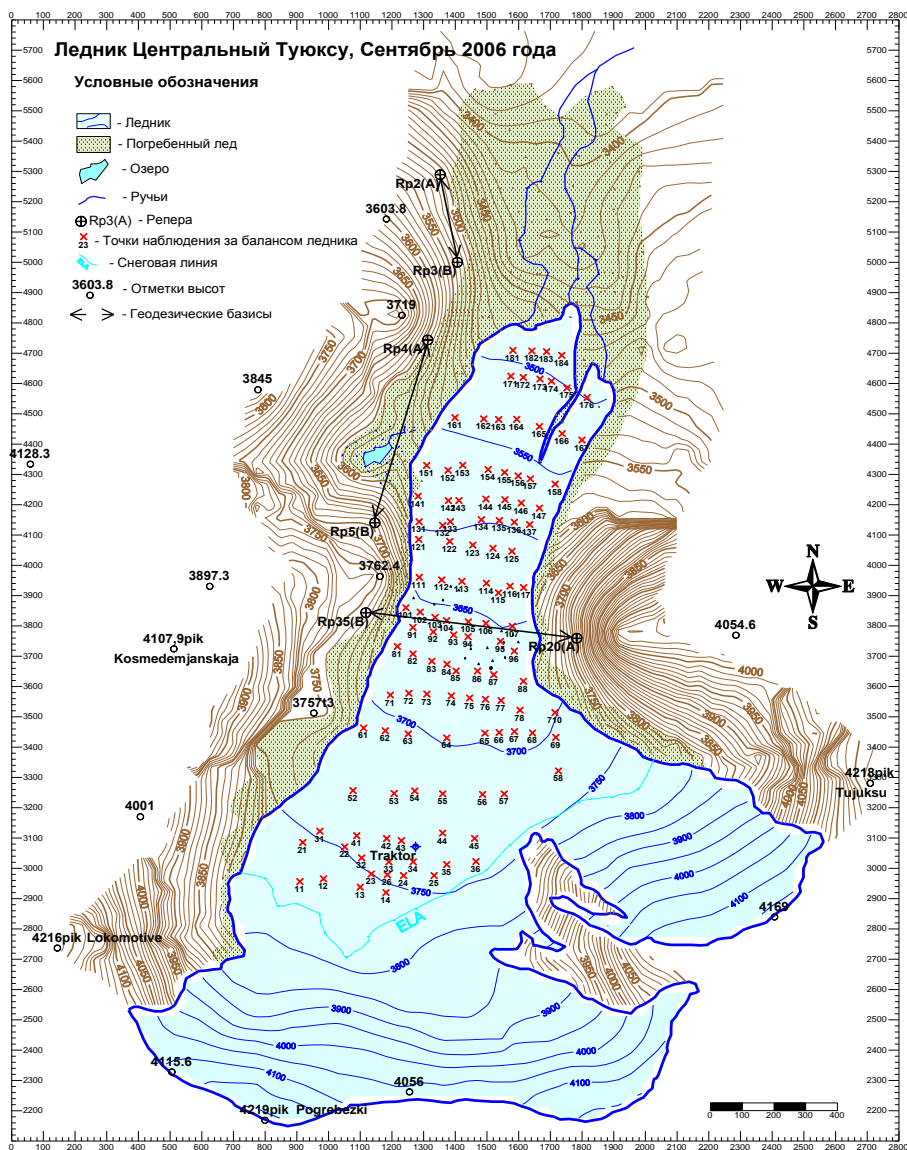


Рис. 1. Карта бассейна ледника Центральный Туюксу на конец августа 2006 г.

Всего таких точек, покрывших доступную часть ледника до указанной высоты, оказалось 530. Поскольку площадь языка до высоты 3800 метров над у. м. составляла 1 438 272 м², каждая точка координатной сетки приходилась на 2713 м², что обеспечило надежность дальнейших расчетов.

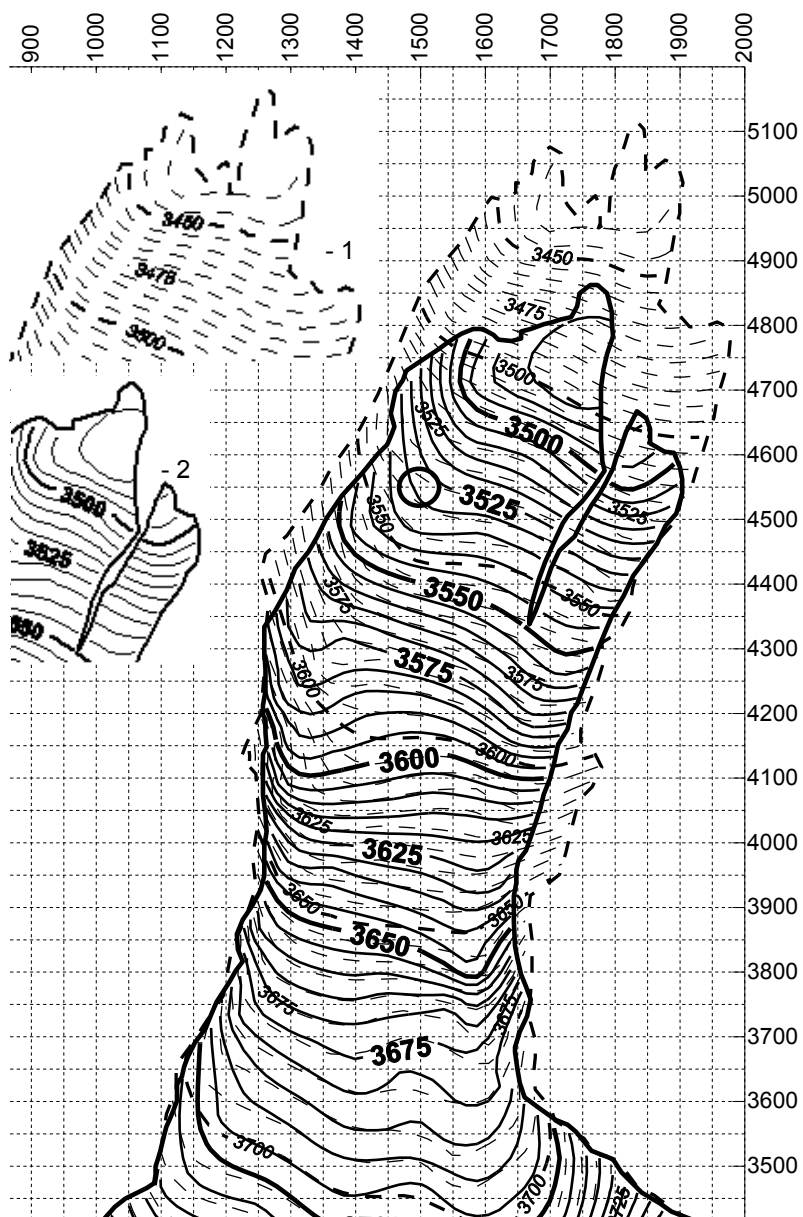


Рис. 2. Фрагмент рабочей карты для определения величины стаявшего льда. 1 – поверхность 1998 г., 2 – поверхность 2006 г.

Все эти данные были отсортированы по принадлежности к высотным зонам через 50 метров, вычислена средняя арифметическая величина стаявшего слоя льда в каждой высотной зоне. В компьютерной программе MAPINFO были получены площади каждой высотной зоны отдельно за 1998 и за 2006 гг. Для вычисления объёма стаявшего льда в данной высотной зоне использовалась средняя между 1998 и 2006 годами площадь. Затем средняя величина стаявшего льда в определённой высотной зоне, выраженная в метрах, была умножена на среднюю между 1998 и 2006 годами площадь соответствующей высотной зоны, выраженную в квадратных метрах. В итоге были получены данные о количестве льда, исчезнувшего за восьмилетний период, выраженные в кубических метрах, по каждой высотной зоне через 50 метров (табл. 1).

Таблица 1

Изменение объема льда на леднике Центральный Туюксуиский
ниже 3800 м над у. м. за 1998 г. и 2006 г.

Высотный интервал, м	Площадь интервала, м ²			Среднее значение слоя исчезнувшего льда, м	Объем исчезнувшего льда, м ³
	1998 г.	2006 г.	средняя		
до 3500	67 496	52 744	60 120	-12,85	-772 311
3500...3550	131 463	133 024	132 244	-10,47	-1 384 953
3550...3600	151 307	117 566	134 436	-9,417	-1 265 943
3600...3650	110 079	108 007	109 043	-5,74	-625 700
3650...3700	197 093	217 626	207 359	-3,85	-798 805
3700...3750	437 174	398 387	417 780	-1,63	-680 304
3750...3800	375 953	410 919	393 436	-0,22	-87 430
Итого:	1 470 565	1 438 273	1 454 419	-3,86	-5 615 446

Так определялось изменение объема льда, исчезнувшего на языке до подножия склонов цирка ледника, за период с 1998 по 2006 гг.

Для наглядности также была построена трехмерная модель стаявшего за период с 1998 по 2006 годы слоя льда до высоты 3800 м над у. м. (рис. 3).

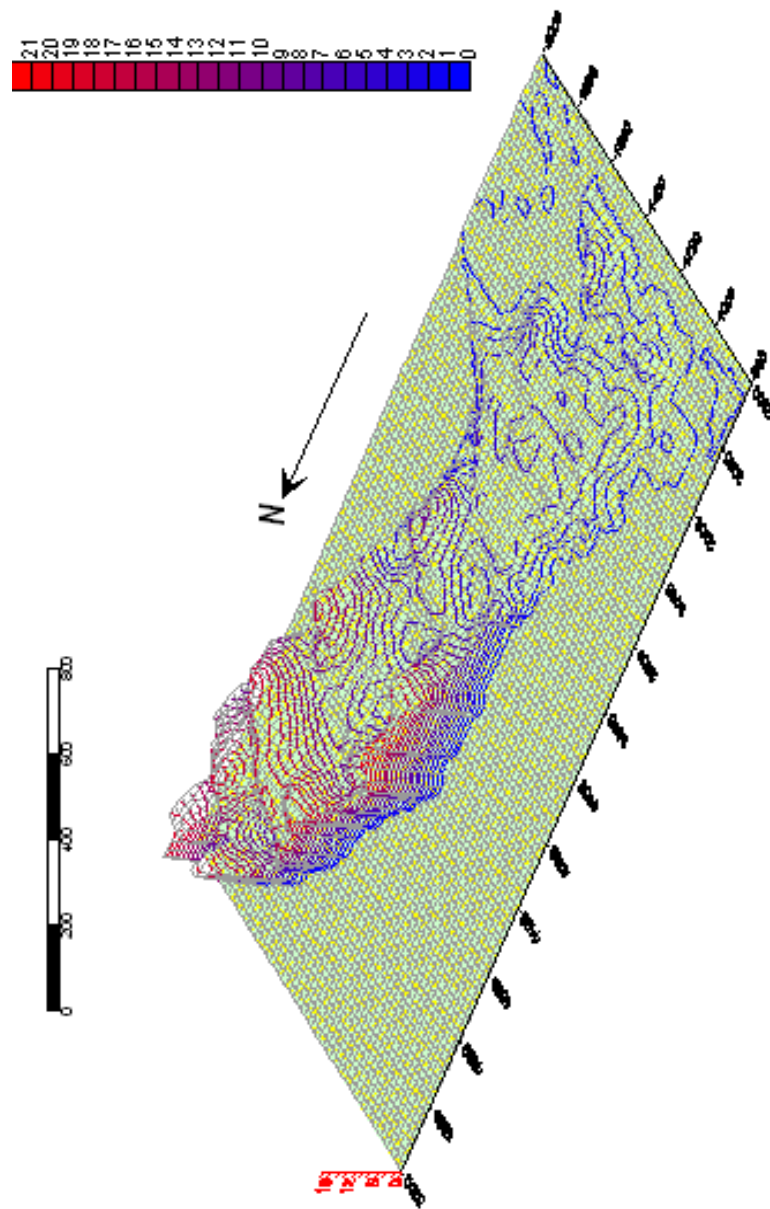


Рис. 3. Трехмерная модель стаявшего за период с 1998 г. по 2006 г. слоя льда до высоты 3800 м над у. м.

Чтобы получить представление, какой объем льда потерял ледник за это же время, пришлось прибегнуть к информации, опубликованной в статье Е.Н. Вилесова и В.И. Морозовой [2] по данному вопросу за период 1958...1998 гг., когда были составлены крупномасштабные карты всего ледника, и на их основе вычислены изменения объема льда за сорок лет. Авторами этой публикации приводятся данные, согласно которым ледник выше 3800 м над у. м. терял от -8% до -30% , что в среднем на 20% меньше, чем он терял на языке (ниже 3800 м над у. м.). Это единственные в своем роде сведения о потерях льда в области питания и на всем леднике.

Кстати, К.Г. Макаревич, проводивший скрупулезные геодезические измерения с 1978 по 1992 гг., отметил, что из области аккумуляции выше 3800 м происходил вынос льда за счет движения, который не компенсировался выпадающими здесь атмосферными осадками, и вследствие этого поверхность указанной области систематически понижалась, и уменьшался объем существующего там льда [3]. Это лучше всего согласуется с немецкими данными, опубликованными в [2], где указывается, что область питания ледника теряла свой объем почти во всех высотных интервалах.

Производя простейшие вычисления потерь льда на площади выше 3800 м над у. м. по выше названным процентам, было определено, что объем льда на леднике за период с 1998 г. по 2006 г. уменьшился на 10млн. м³, что по отношению к общему объему льда ориентировочно в 122млн. м³ составило 8% . В период 1958...1998 гг. объем льда уменьшился на 39% . Годовые потери в указанные периоды находятся в пределах от $0,8\%$ до $0,98\%$, или в среднем $0,9\%$, и за 48 лет остались почти неизменными, и находятся в пределах точности расчетов.

Баланс массы ледника в переводе на воду по предварительным расчетам за период 1998...2006 гг. составил $0,37\text{ м}^3/\text{м}^2$, а потери - $0,44\text{ м}^3/\text{м}^2$. Это сопоставление также находится в пределах точности расчетов в результате сделанных допусков.

Если экстраполировать нынешние темпы сокращения объема, ледник должен исчезнуть к концу 21 века, что согласуется с прогнозами Вилесова – Уварова [1] и Макаревича [3]. Ледник в 2006 г. имел площадь в $2,51\text{ км}^2$ и в течение 8 лет (1998...2006 гг.) ежегодно сокращался на 13750 м^2 . Экстраполируя (линейно) темпы сокращения ледника, нетрудно подсчитать, что при существующих климатических условиях, он исчезнет че-

рез 182 года или к 2188 г. Длина ледника в 2006 г. составляла 2,91 км и в период 1998...2006 гг. ежегодно уменьшалась на 11,1 м. При том же способе экстраполяции сокращение длины ледника будет продолжаться 260 лет и завершится в 2266 г.

Следует отметить, что это весьма приблизительный прогноз, т. к. при его составлении применялся метод прямой экстраполяции, в то время как существует очень много факторов, способных существенно повлиять на динамику изменения параметров ледника. Например, при условии, что существенного изменения климата не произойдет, темпы деградации ледника будут одинаковы лишь до тех пор, пока тает его наиболее горизонтальная часть. Таяние же льда, находящегося на крутых склонах тыловой стены преимущественно северной ориентации (ныне зона питания ледника), будет происходить намного медленнее. С каждым годом нижняя граница языка постепенно поднимается по абсолютной высоте, что в свою очередь также должно несколько замедлить общий темп сокращения длины ледника. В то же время состояние климата довольно нестабильно, что в свою очередь не может не отразиться на динамике ледника.

Первый прогноз, основанный на ежегодном уменьшении площади ледника, был сделан Н.Н. Пальговым [5]. В нем он предполагал существование ледника до 2340 г., считая, что ледник не исчезнет совсем, а лишь истощится.

Как видно по приведенным данным, прогноз остатка жизни ледника колеблется от ста до двухсот и более лет. Пока нет веских оснований решать, какой из прогнозов окажется наиболее близким к тому, что на самом деле произойдет в отдаленном будущем.

Автор выражает искреннюю благодарность К.Г. Макаревичу за научные консультации и редакцию настоящей статьи, а также сотрудникам Института географии МОН РК Ревутайте А.Ю., Ребровой И.А., Реброву Ю.А., Чемидову С.А., Мишенину В.П., Капице В.П. за помощь в работах по реконструкции всего речного поля на леднике и в производстве геодезических работ, причем Капицу В. П. еще и за помощь при камеральной обработке выполненных измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке.- Алматы: Изд-во «Казак университеті», 2001.- 252 с.

2. Вилесов Е.Н., Морозова В.И. Ледник Туюксу. Результаты сравнения съемок 1958 и 1998 гг. // Гидрометеорология и экология.- 2003.- № 3.- С. 82-90.
3. Макаревич К.Г. Баланс массы и кинематика ледников Тянь-Шаня на примере ледника Туюксу // МГИ.- 2005.- Вып. 98.- С. 194-201.
4. Осипова Г.Б., Хромова Т.Е., Цветков Д.Г. Проблемы исследования колебаний горных ледников по материалам космических съемок // МГИ.- 2005.- Вып. 98.- С. 124-136.
5. Пальгов Н.Н. Жизнь одного ледника.- Алма-Ата: Наука, 1970.- 123 с.

ДГП «Институт географии» Республиканское Государственное Предприятие, Центр Наук о Земле, Metallургии и Обогащения Министерства Образования и Науки Республики Казахстан

ОРТАЛЫҚ ТҰЙЫҚСУ МҰЗДЫҒЫНЫҢ ӨЛШЕМДЕРІНІҢ ӨЗГЕРІСТЕРІ ЖАЙЛЫ ЖАҢА ДЕРЕКТЕР

Н.Е. Касаткин

Орталық Тұйықсу – мұздықтардың Әлемдік мониторингі қызметінің тесттік (сынақтың) – тіректік мұздықтары қатарына кіреді. 1998 - 2006 жылдарының аралығындағы кезеңде мұздық 10 млн. м³ мұз немесе жалпы көлемінің 8 пайызын жоғалтқан. Мұздықтың орташа жылдық шығыны 0,9 пайызды құрады. Егер Жер климатының жылынуы жалғаса берсе, деректерді экстраполяцилау негізінде мұздық көлемінің өзгерісі бойынша 21-ғасырдың соңында, ауданының өзгерісі бойынша 182 жылдан кейін, ал ұзындығының өзгерісі бойынша, сәйкесінше, 260 жылдан кейін жоғалып кетуі тиіс деп жорамалдауға болады.