

**Изменение климата и размеров ледников в горах Кузнецкого Алатау в 1975–2015 гг.**

© 2017 г. М.М. Адаменко\*, Я.М. Гутак, В.А. Антонова

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

\*adamenko.marina@gmail.com

**Climate change and the size of glaciers in the Kuznetsky Alatau Mountains between 1975 and 2015**

M.M. Adamenko\*, Ya.M. Gutak, V.A. Antonova

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

\*adamenko.marina@gmail.com

Received August 8, 2016

Accepted January 10, 2017

**Keywords:** *climate changes, Kuznetsky Alatau Mountains, monitoring of glaciers.***Summary**

Climate change in the Kuznetsky Alatau (Western Siberia) highlands (on its eastern macroslope) was investigated using data of the Nenasthaya weather station collected for the last 40 years. It is the only highland station functioning now in the area under investigation. Basing on the correlation between average daily temperatures for the period 1974–1975, obtained at the Nenasthaya station and meteoropost Karatash (located in front of the Kartash Glacier), we believe that the Nenasthaya one is enough representative for analysis of the climate in this glacio-nival zone. Linear trends for mean summer temperatures and annual precipitation sums had been calculated. Analysis of the linear trends has indicated that for the last 40 years the average summer temperature in the Kuznetsky Alatau increased by 1.3 °C with the growth rate of 0.33 °C/10 years. Average annual precipitation has also increased by 320 mm (the growth rate is 80 mm/10 years). These climatic changes did cause corresponding reactions of glaciers in the area. The analysis of current changes in the glacio-nival systems demonstrated that different morphological types of glaciers reacted to the current climate change in different ways. Small slope glaciers and perennial snowfields degraded significantly (70–90% of the area had melted) due to the temperature rise. Some ones transformed into the category of perennial snowfields. Large corrie glaciers located on the leeward slopes of wide watersheds in the negative relief forms did only slight retreat. They mostly continue to exist because the amount of accumulated snow mass increased and, thus, compensated the ablation. The largest decrease in the area of glaciers took place in 2002–2004. Since 2005, large glaciers stopped to degrade and were in relative equilibrium with climate. This article presents estimation of dynamics of the Kuznetsky Alatau glaciers since their cataloging made in the 1980-s, and it contains the detailed information about fluctuation of areas of glaciers Karatash № 56, Chernoy-Iyusky № 83, and Tsentralny № 87 in 1975–2015 received from data obtained in field measurements and remote sensing methods. The area increase of some individual glaciers since 2005 is shown. An effort to compare dynamics of main climatic factors having impact on the glaciations with the dynamics of the glacier areas had been made.

**Citation:** Adamenko M.M., Gutak Ya.M., Antonova V.A. Climate change and the size of glaciers in the Kuznetsky Alatau Mountains between 1975 and 2015. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2017. 57 (3): 334–342. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2017-3-334-342

Поступила 8 августа 2016 г.

Принята к печати 10 января 2017 г.

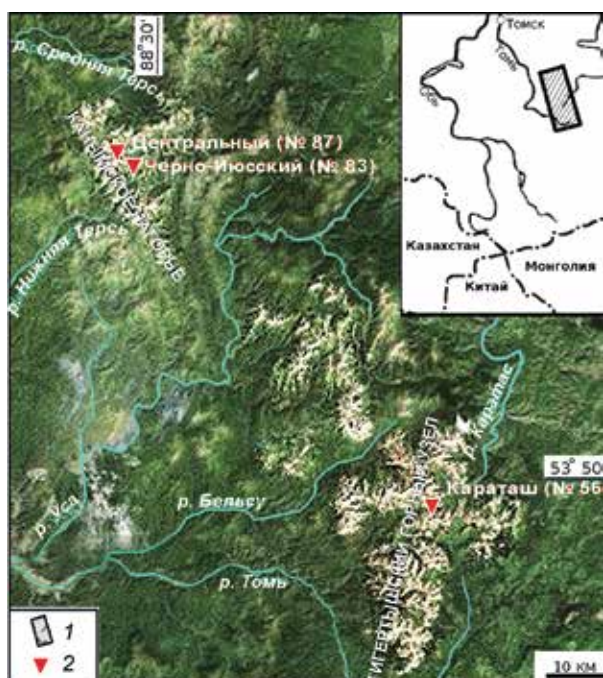
**Ключевые слова:** *климатические изменения, Кузнецкий Алатау, мониторинг ледников.*

Статья посвящена анализу изменений климата и нивально-гляциальных систем гор Кузнецкого Алатау (Западная Сибирь) за последние 40 лет. Установлен факт увеличения площади отдельных крупных ледников района. Колебания ледников рассматриваются на фоне трендов изменения средних летних температур воздуха и годового количества осадков по метеостанции Ненастная – единственной высокогорной станции в горах Кузнецкого Алатау.

**Введение**

Текущие климатические изменения вызывают ответную реакцию природных геосистем [1]. Поэтому мониторинг ледников – чутких индикаторов климатических изменений – актуальная задача. В этом отношении особое значение

имеют малые ледники средневысоких гор Кузнецкого Алатау (рис. 1), чутко реагирующие на климатические изменения. Режим этих низко залегающих ледников зависит не только от колебаний температуры воздуха в период абляции, но и от концентрации снега на подветренных склонах [2].



**Рис. 1.** Местоположение объектов исследования: 1 – расположение гор Кузнецкого Алатау на схеме Юго-Западной Сибири; 2 – расположение ледников, для которых изучена динамика изменения площади по годам

**Fig. 1.** Location of the study objects:

1 – location of Kuznetsky Alatau mountains on the scheme of South-Western Siberia; 2 – location of glaciers which the area change dynamics was studied

Мы ведём наблюдения на ледниках Кузнецкого Алатау с 2002 г., одновременно разрабатывая методику прогнозирования изменений экологических условий гольцового пояса гор этого региона. В 2002–2005 гг. зафиксировано сокращение оледенения Кузнецкого Алатау: 18 из 30 исследованных ледников деградировали до снежно-ледовых образований; их общая площадь сократилась с 1,4 до 0,5–0,3 км<sup>2</sup> [3, 4]. Сокращение ледников Кузнецкого Алатау зафиксировали также А.А. Сюбаев [5] и Н.В. Коваленко [6, 7]. Однако, несмотря на общую деградацию здешних ледников, некоторые ледники с 1980-х годов отступили незначительно, а в последние годы даже наращивали ледовую массу [1].

### Методика исследований

Мы проанализированы данные метеостанции (ГМС) Ненастная за весь период инструментальных наблюдений с 1934 по 2015 г.,

получив их с электронного портала ВНИИГМИ-МЦД [8]. Были рассчитаны средние летние температуры и годовая сумма осадков за 1975–2015 гг. Линейные тренды изменения метеорологических показателей в горах Кузнецкого Алатау мы сравнили с тенденциями фонового изменения климата. На основе корреляции хода метеорологических показателей по ГМС Ненастная и метеопосту на леднике Караташ, функционировавшему в 1974 и 1975 гг. (данные П.С. Шпиня [9, 10]), доказана репрезентативность этой метеостанции для характеристики нивально-гляциального пояса исследуемого региона.

Для оценки колебаний ледников Кузнецкого Алатау с момента их каталогизации в 1980-х годах использованы прямые полевые наблюдения, анализ космоснимков и парных фотоснимков. В 2002–2005 гг. при полевых работах исследовано 30 ледников Канымского нагорья и Тигертышского горного узла гор Кузнецкого Алатау, внесённых в Каталог ледников СССР [11]. Проводились непосредственные GPS-измерения и измерения с помощью мерной ленты, а также морфологические описания ледников и снежно-ледовых образований. Использованы также данные Н.В. Коваленко [6, 7] и А.А. Сюбаева [5]. Для оценки изменения положения фронтов крупных каровых ледников в 2003 г. на моренах ледников Тронова и Караташ была разбита закреплённая на местности съёмочная сеть. В статье представлены данные о положении фронта ледника Караташ для середины августа 2004, 2005 и 2015 гг.

Данные полевых измерений дополнены расчётами площадей ледников Караташ № 56, Черно-Июсский № 83 и Центральный № 87 в открытой Web GIS-программе Landsatlook Viewer [12], которая позволяет визуализировать весь архив изображений Landsat в формате Natural Color без необходимости специализированного программного обеспечения. Пространственное разрешение снимков – 30 м/пиксель. Учитывая, что при каталогизации ледников площадь была оценена с точностью до сотых долей квадратного километра, использование снимков невысокого пространственного разрешения для решения поставленных задач мы считаем допустимым. Сравнение площадей ледников по результатам полевых измерений и расчётов дистанционным способом позволило установить различия в измерениях двумя методами – не более 0,005 км<sup>2</sup>.

Мы использовали космоснимки ледников, сделанные в конце сезона абляции (с 9 августа по 15 сентября), когда ледники хорошо различимы, не скрыты облаками и отсутствуют следы сезонных снегопадов. При расчёте площади ледников Караташ и Черно-Июсский была включена также площадь примыкающих к ним фирновых полей; точно также поступил и П.С. Шпинь при составлении Каталога ледников СССР. Для ледника Караташ — это верхнее фирновое поле, имеющее вид узкого потока и приуроченное к вершине водораздела, у ледника Черно-Июсского — это правая маломощная часть ледника. В настоящее время оба эти участка к концу сезона абляции отделяются от основного тела ледника. В результате работ составлен наиболее полный ряд изменения площадей ледников Кузнецкого Алатау за период 1975–2015 гг. В дополнение мы изучили много фотографий ледников этого района 1980–90-х годов из архива первооткрывателя оледенения Кузнецкого Алатау П.С. Шпиня (Новокузнецкий краеведческий музей) и личного архива И.В. Гуляева.

Кузнецкого Алатау, где толщина снежного покрова достигает 4–4,5 м, а сумма осадков — 3000 мм.

Ледники в горах Кузнецкого Алатау обнаружены в период Международного гидрологического десятилетия (1965–1975 гг.) П.С. Шпинем, каталогизировавшим 91 ледник общей площадью 6,79 км<sup>2</sup> [2]. Расположение ледников на таких малых высотах (1200–1500 м над ур. моря) является «уникальным случаем для внутриконтинентальных областей всего северного полушария» [2, с. 3]. Здесь распространены преимущественно присклоновые ледники и ледники, близкие к ним по морфологическому типу.

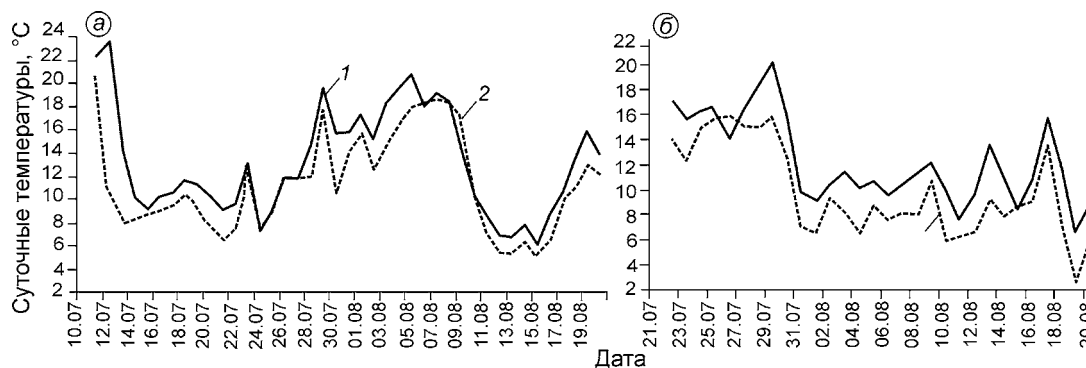
К крупным ледникам примыкают фирновые поля; П.С. Шпинь включил их в состав ледников. В особо неблагоприятные годы они полностью исчезают, а в годы, благоприятные для сохранения снежной массы, вся перигляциальная зона крупных полого-наклонных ледников скрыта под снежным полем толщиной в первые десятки метров, сохраняющимся всё лето. Подобное мы наблюдали на леднике Караташ в 2007 г.

#### Особенности климата и ледников гор Кузнецкого Алатау

Территория Алатауско-Шорского нагорья отличается значительной суммой осадков, более половины которой выпадает в виде снега. По данным П.С. Шпиня [13] и наших полевых снегомерных съёмок, максимальное количество твёрдых осадков приходится на осевые водоразделы гор

#### Климата нивально-гляциальной зоны за последние 40 лет

Климат высокогорья за 1974–1975 гг. мы анализируем по данным ГМС Ненастная и метеопоста на леднике Караташ [9, 10] (рис. 2). У фронта ледника Караташ на высоте около 1420 м среднесуточные температуры на 2,6 °С ниже, чем на высоте 1183 м. Это намного выше разности температур, если исходить только из вертикального градиента, кото-



**Рис. 2.** Совмещённый график хода суточных температур по ГМС Ненастная (1) и метеопосту на леднике Караташ (2) (по данным [12, 13]) для июля–августа 1974 г. (а) и 1975 г. (б)

**Fig. 2.** Combined chart of average daily temperatures at the weather station Nenastnaya (1) and weather station at the front of Karatash Glacier (2) (after [12, 13]) for July and August of 1974 (a) and 1975 (b)

рый по разным оценкам летом в горах Кузнецкого Алатау составляет от 0,46 [14] до 0,71 °C/100 м [15]. Данная особенность, безусловно, связана с выхолаживающим влиянием ледника на приземные слои воздуха. Коэффициент корреляции хода температур в летние периоды 1974–1975 гг. между ГМС Ненастная и метеопостом Караташ составляет 0,92–0,95. Это значит, что ГМС Ненастная репрезентативна для оценки климатических условий всей нивально-гляциальной зоны Кузнецкого Алатау.

На протяжении последних 40 лет средние летние температуры воздуха в Кузнецком Алатау стабильно возрастали. Средняя температура лета за 1975–1979 гг. составила 11,6 °C, за 1990–1994 гг. – 12 °C, за 2011–2015 гг. – 12,7 °C; эти величины показывают линейный тренд в 0,33 °C за 10 лет. За 40 лет средняя летняя температура воздуха в Кузнецком Алатау выросла на 1,3 °C (с 11,2 до 12,5 °C). За этот период увеличивалось и количество осадков: в 1975–1979 гг. выпадало около 1580 мм, в 1990–1994 гг. – 1632 мм, в 2011–2015 гг. – 1680 мм. Таким образом, среднегодовая сумма осадков росла по 80 мм за 10 лет. За 40 лет средняя годовая сумма осадков увеличилась на 320 мм.

Полученные для гор Кузнецкого Алатау данные хорошо согласуются с материалами отчёта Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды об изменении климата в 2015 г. При этом скорость роста средних летних температур в горах Кузнецкого Алатау ниже, чем аналогичный показатель по России (0,42 °C за 10 лет [16]). Юг Западной Сибири, куда относятся и горы Кузнецкого Алатау, выделяется минимальными показателями потепления за год, а также увеличением количества осадков и продолжительности залегания снежного покрова. Летом потепление наблюдается на всей территории Российской Федерации, но на юге Сибири есть районы, где этот рост очень слабый [16, с. 15]. В 2014 г. в Западной Сибири выпало 125% осадков от климатической нормы, при этом зимние осадки были на 33% выше нормы 1961–1990 гг. [16, с. 18]. Продолжительность залегания снежного покрова также превысила норму.

### Изменение площади ледников Кузнецкого Алатау

Весь XX в. площади ледников в горах Кузнецкого Алатау сокращались, однако выделялись как периоды улучшения, так и ухудшения гляциальной

обстановки [4]. В 2002–2005 гг. 18 из 30 обследованных ледников полностью растаяли или распались на небольшие фрагменты фирна; их суммарная площадь сократилась с 1,4 до 0,5–0,3 км<sup>2</sup> [3].

В соответствии с динамикой ледников за последние 40 лет все исследованные ледники можно объединить в три группы.

*1 группа – переходные снежно-ледовые образования.* Ледники этой группы (по Каталогу ледников № 2, 5, 6, 8, 9, 29, 30, 48, 47, 50–55, 57, 59, 60, 84) во второй половине XX в. неоднократно исчезали. На их месте ежегодно образуются снежно-ледовые образования, которые в зависимости от условий погоды летом иногда сохраняются до конца периода абляции. Очевидно, это снежники, которые только в благоприятные годы формируют ледяное ядро. 1970-е годы были благоприятными для накопления на них снежно-ледовой массы [2].

*2 группа – деградировавшие ледники.* В эту группу входят крупные склоновые ледники – № 1, 16, 22, 23, 49, 83, которые в конце XX – начале XXI вв. стали деградировать. За последние 40 лет их площадь уменьшилась на 40–70% [3–7]; характерный ледник этой группы – Черно-Июсский, его изменения показаны на рис. 3 – *IIa, IIб*.

*3 группа – устойчивые ледники.* Не все исследованные ледники Кузнецкого Алатау значительно отступили в начале XXI в. Таковы ледники № 56, 58, 85–87 – крупные каровые или присклоновые ледники, лежащие в выработанных ледниковых нишах или в ледниковых цирках. Ледники Тронова (№ 58) и Караташ (№ 56) в Тигертышском горном узле существуют, по-видимому, с малого ледникового периода, что подтверждается лихенометрическими исследованиями на их моренах [4]. На рис. 3 приведены парные фотографии ледников Караташ и Центральный, иллюстрирующие современные размеры этих ледников по сравнению с 1980-х годами.

В экспедиции 2015 г. проведена повторная полуинструментальная съёмка ледника Караташ. Точки съёмки мы закрепили в 2004 г. в виде каменных туров на морене ледника. Однако морена подвижна, и к настоящему времени сохранился лишь один тур, расположенный по центру ледника, от него и было определено расстояние до ледника по двум азимутам. Согласно этим измерениям, за последние 12 лет ледник отступил по фронту на 2–3 м, что значительно меньше величины, зафиксированной нами в начале 2000-х



**Рис. 3.** Изменение ледников Караташ, Черно-Июсский и Центральный за последние 40 лет по данным парных фотографий:

*Ia* – ледник Караташ 12 августа 2015 г. (фото М.М. Адаменко), точками показана граница ледника в августе 1971 г., определённая по выступам скал; *Iб* – ледник Караташ 17 августа 2005 г. (фото И.В. Гуляева), точками показана граница ледника в 2015 г., определённая по выступам скал; *Iв* – ледник Караташ в августе 1971 г. (фото П.С. Шпиня); *IIa* – ледник Черно-Июсский 10 августа 1987 г. (фото П.С. Шпиня), стрелкой обозначено положение реперной точки – скального останца; *IIб* – ледник Черно-Июсский 27 августа 2011 г. (фото М.М. Адаменко), стрелкой обозначено положение реперной точки – скального останца; *IIIa* – ледник Центральный 10 августа 1980 г. (фото П.С. Шпиня); *IIIб* – ледник Центральный 8 июля 2005 г. (фото И.В. Гуляева)

**Fig. 3.** Changes of Karatash, Black Iyusskoy, Tsentralny glaciers by the repeat photography data:

*Ia* – Karatash Glacier in August 12, 2015 (photo by M.M. Adamenko), points show the boundary of the glacier in August 1971 that was defined on the rock ledges surrounding the glacier; *Iб* – Karatash Glacier in August 17, 2005 (photo by I.V. Gulyaev), points shows the boundary of the glacier in August 12, 2015 that was defined on the rock ledges surrounding the glacier; *Iв* – Karatash Glacier in August 1971 (photo by P.S. Shpin'); *IIa* – Black Iyusskoy Glacier in August 10, 1987 (photo by P.S. Shpin'), arrow indicates the position of the reference point – rocky outcrop; *IIб* – Black Iyusskoy Glacier in August 27, 2011 (photo by M.M. Adamenko), arrow indicates the position of the reference point – rocky outcrop; *IIIa* – Tsentralny Glacier in August 10, 1980 (photo by P.S. Shpin'); *IIIб* – Tsentralny Glacier in July 8, 2005 (photo by I.V. Gulyaev)

Таблица 1. Изменение площадей ледников Центральный, Караташ и Чёрно-Июсский в 1975–2015 гг.\*

| Год  | Ледник Центральный (№ 87) |                                                     |                                               | Ледник Караташ (№ 56)     |                                                     |                                               | Ледник Черно-Июсский (№ 83) |                                                     |                                               |          |
|------|---------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|
|      | дата космос-нимка Landsat | площадь, рассчитанная через Landsatlook Viewer, км² | площадь по данным поле-вых иссле-дований, км² | дата космос-нимка Landsat | площадь, рассчитанная через Landsatlook Viewer, км² | площадь по данным поле-вых иссле-дований, км² | дата космос-нимка Landsat   | площадь, рассчитанная через Landsatlook Viewer, км² | площадь по данным поле-вых иссле-дований, км² |          |
| 1975 | 09.08.75                  | 0,20                                                | 0,2 [11]                                      | 21.07.75                  | 0,13                                                | 0,13 [11]                                     | —                           |                                                     | 0,19 [11]                                     |          |
| 1979 | 14.08.79                  | 0,19                                                | —                                             | —                         |                                                     | —                                             |                             |                                                     | —                                             |          |
| 1981 | 10.09.81                  | 0,16                                                |                                               | —                         |                                                     |                                               |                             |                                                     |                                               |          |
| 1998 | —                         |                                                     |                                               |                           |                                                     |                                               |                             |                                                     |                                               | 26.08.98 |
| 2000 |                           |                                                     |                                               |                           |                                                     |                                               |                             | 14.08.00                                            |                                               | 0,09     |
| 2001 | 26.08.01                  | 0,12                                                |                                               | 26.08.01                  | 0,09                                                | 26.08.01                                      | 0,07                        | —                                                   |                                               |          |
| 2002 | 21.09.02                  | 0,10                                                |                                               | 21.09.02                  | 0,07                                                | 04.08.02                                      | 0,06                        |                                                     |                                               |          |
| 2003 | —                         |                                                     |                                               | 16.08.03                  | 0,08                                                | —                                             |                             |                                                     |                                               |          |
| 2004 | 18.08.04                  | 0,10                                                |                                               | 18.08.04                  | 0,10                                                | 18.08.04                                      | 0,05                        |                                                     |                                               |          |
| 2005 | 21.08.05                  | 0,13                                                |                                               | 0,14 [4]                  | 21.08.05                                            | 0,08                                          | 21.08.05                    | 0,06                                                | 0,06 [4]                                      |          |
| 2006 | 08.09.06                  | 0,12                                                |                                               | 0,1 [6]                   | 08.09.06                                            | 0,09                                          | —                           | 09.09.06                                            | 0,06                                          | 0,08 [6] |
| 2007 | 03.09.07                  | 0,10                                                | 04.09.07                                      | 0,10                      | —                                                   |                                               |                             | —                                                   |                                               |          |
| 2008 | —                         |                                                     | 14.09.08                                      | 0,07                      |                                                     |                                               |                             |                                                     |                                               |          |
| 2009 | 08.09.09                  | 0,11                                                | 08.09.09                                      | 0,09                      | 08.09.09                                            | 0,05                                          |                             |                                                     | —                                             |          |
| 2010 | 18.08.10                  | 0,12                                                | —                                             |                           |                                                     | —                                             |                             |                                                     |                                               |          |
| 2011 | 15.09.11                  | 0,12                                                | 07.09.11                                      | 0,08                      | —                                                   |                                               |                             | 0,04 [4]                                            |                                               |          |
| 2013 | 04.09.13                  | 0,12                                                | 04.09.13                                      | 0,13                      |                                                     |                                               |                             |                                                     | 04.09.13                                      | 0,08     |
| 2014 | —                         |                                                     | 22.08.14                                      | 0,09                      | —                                                   |                                               |                             | —                                                   |                                               |          |
| 2015 | 01.09.15                  | 0,14                                                | 01.09.15                                      | 0,10                      | 01.09.15                                            | 0,06                                          |                             |                                                     |                                               |          |
|      | —                         |                                                     | 27.08.16                                      | 0,09                      | —                                                   |                                               |                             |                                                     |                                               |          |

\*Прочерки в таблице соответствуют годам, по которым нет данных о площади конкретного ледника. При этом площадь других ледников измерена инструментальными наблюдениями или дистанционными методами.

годов, когда с 2004 по 2005 г. среднее отступление фронта ледника составляло 6,5 м.

Данные об изменении положения фронтальной линии мы дополнили оценкой изменения формы продольного профиля и мощности ледника. Анализ парных фотографий ледника Караташ для второй декады августа за 1971, 2005 и 2015 гг. позволил оценить изменения толщины ледника (см. рис. 3 – *Ia–Iв*). За период с 1971 г. (фотография П.С. Шпиня) по 2015 г. фронт ледника отступил на 10–15 м. В 2003–2005 гг. отмечалось выполаживание продольного профиля ледника Караташ, а к настоящему времени ледник сформировал крутой лоб. За последние 10 лет толщина ледника в верхней части увеличилась на 10–20 м, в 2015 г. было отмечено активное накопление свежего моренного материала в левой части фронта ледника. Морена вблизи фронта ледника стала крайне неустойчивой, всхолмлённой, что свидетельствует о подвижках ледника.

В табл. 1 представлены данные об изменении площадей трёх ледников в 1975–2015 гг., полу-

ченные на основе непосредственных измерений и расчётов по дистанционным методам. Эти данные хорошо согласуются с результатами сравнения парных фотографий ледников.

Во второй половине XX – начале XXI вв. общим трендом было сокращение ледников Кузнецкого Алатау. Наибольшее сокращение площадей ледников отмечено в 2002–2004 гг. С 2005 г. площади ледников стабилизируются (табл. 2). Площадь карово-присклонового ледника Центральный с 2007 г. стабильно возрастает. Ледник Караташ (по П.С. Шпиню) вскачедолинный, а по нашему мнению каровый) в отдельные годы показывает рост площади, с 2004 по 2015 г. площадь ледника увеличилась на 0,04 км<sup>2</sup>. Присклоновый ледник Черно-Июсский в целом деградирует (его площадь не превышает 30–40% площади, приведённой в Каталоге ледников СССР).

На рис. 4 мы предприняли попытку сопоставить тенденции изменения ледников с динамикой климатических показателей. Причина незначительного сокращения площади каровых

Таблица 2. Средние летние температуры (июнь–август), годовые суммы осадков (по ГМС Ненастная) и площади ледников Кузнецкого Алатау\*

| Год  | Средняя летняя температура, °С | Годовая сумма осадков, мм | Изменение площади ледника по сравнению с предыдущим наблюдением, км <sup>2</sup> |                                                                               |                                                                                     |
|------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|      |                                |                           | Центральный (№ 87)<br>(площадь по Каталогу ледников СССР – 0,2 км <sup>2</sup> ) | Караташ (№ 56)<br>(площадь по Каталогу ледников СССР – 0,13 км <sup>2</sup> ) | Черно-Июсский (№ 83)<br>(площадь по Каталогу ледников СССР – 0,19 км <sup>2</sup> ) |
| 1975 | 10,93                          | 1612,4                    |                                                                                  |                                                                               |                                                                                     |
| 1979 | 12,47                          | 1816,7                    | –0,01                                                                            | –                                                                             |                                                                                     |
| 1981 | 11,67                          | 1179,6                    | –0,03                                                                            |                                                                               | –                                                                                   |
| 1998 | 12,89                          | 2007,4                    |                                                                                  | –0,03                                                                         |                                                                                     |
| 2000 | 12,16                          | 1683,7                    | –                                                                                | –0,01                                                                         | –0,1                                                                                |
| 2001 | 12,44                          | 1851,3                    | –0,04                                                                            | 0                                                                             | –0,02                                                                               |
| 2002 | 12,39                          | 1983,5                    | –0,02                                                                            | –0,02                                                                         | –0,01                                                                               |
| 2003 | 12,3                           | 1624,4                    | –                                                                                | +0,01                                                                         | –                                                                                   |
| 2004 | 11,93                          | 1769,1                    | 0                                                                                | +0,02                                                                         | –0,01                                                                               |
| 2005 | 13,17                          | 1289,2                    | +0,03                                                                            | –0,02                                                                         | +0,01                                                                               |
| 2006 | 11,85                          | 1851,4                    | –0,01                                                                            | +0,01                                                                         | 0                                                                                   |
| 2007 | 11,93                          | 1609,8                    | –0,02                                                                            | +0,01                                                                         |                                                                                     |
| 2008 | 12,56                          | 1672,2                    | –                                                                                | –0,03                                                                         | –                                                                                   |
| 2009 | 10,79                          | 1822,4                    | +0,01                                                                            | +0,02                                                                         | –0,01                                                                               |
| 2010 | 11,7                           | 1459,6                    | +0,01                                                                            | –                                                                             |                                                                                     |
| 2011 | 11,73                          | 1407,3                    | 0                                                                                | –0,01                                                                         | –                                                                                   |
| 2012 | 14,06                          | 1266,9                    | 0                                                                                | –                                                                             |                                                                                     |
| 2013 | 11,47                          | 2032,8                    | –0,01                                                                            | +0,05                                                                         | +0,03                                                                               |
| 2014 | 12,72                          | 1739,8                    | –                                                                                | –0,04                                                                         | –                                                                                   |
| 2015 | 13,33                          | 1954,1                    | +0,03                                                                            | +0,01                                                                         | –0,02                                                                               |

\*Прочерки в таблице соответствуют годам, по которым нет данных о площади конкретного ледника. При этом для других ледников тенденцию изменения площади можно оценить.

ледников заключается в том, что на протяжении последних 40 лет вместе с ростом средних летних температур возрастало и количество осадков.

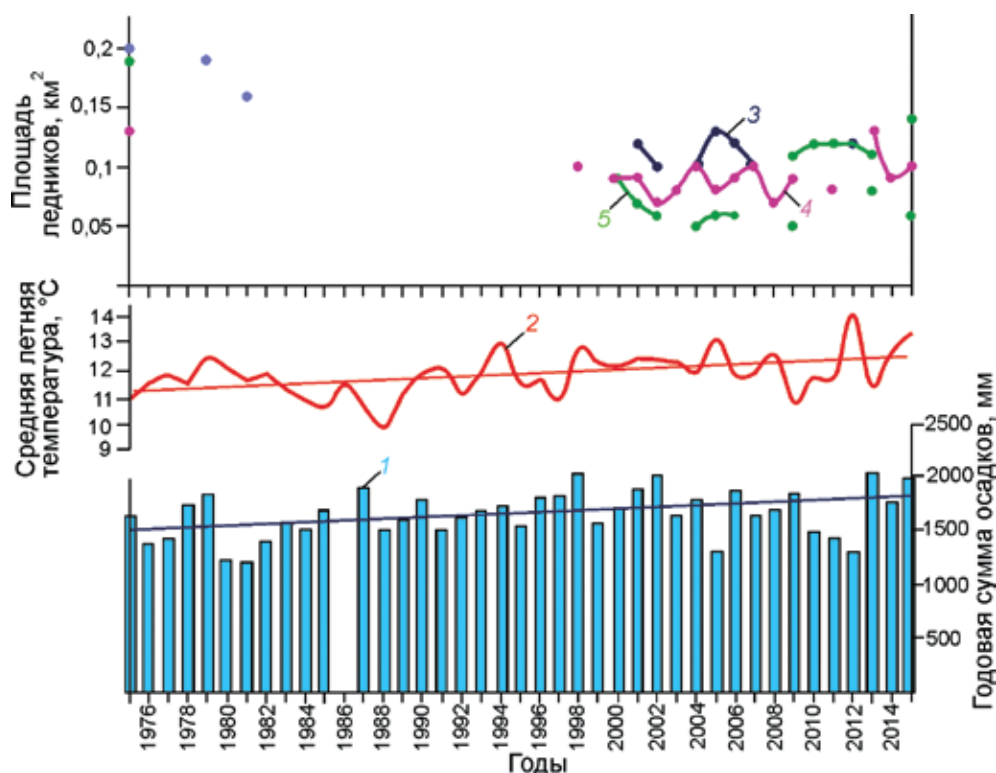
### Заключение

За последние 40 лет средняя летняя температура в горах Кузнецкого Алатау увеличилась на 1,3 °С, а годовая сумма осадков – на 320 мм, что отразилось на состоянии ледников. Малые присклоновые ледники, не имеющие выработанных ниш, сократили свои размеры или перешли в разряд многолетних снежников. Присклоновые ледники с момента их каталогизации сократились на 70–90%. Крупные каровые и карово-присклоновые ледники, непрерывно существовавшие на протяжении нескольких веков, отступили незначительно. С 2005 г. условия существования крупных ледников Кузнецкого Алатау стали более благоприятными.

Значительное сокращение ледников Кузнецкого Алатау, зафиксированное нами в 2002–2005 гг. и приписываемое общей деградации,

объясняется также тем, что при составлении Каталога ледников СССР многие многолетние снежники были приняты за ледники. Крупные каровые ледники на подветренных склонах широких водоразделов в отрицательных формах рельефа, выработанных древним оледенением, продолжают существовать благодаря высокой метелевой концентрации снега и находятся в равновесии с современным климатом. Замечание М.В. Тронова [17] о том, что на Алтае «понижение или повышение летних температур на 1 градус Цельсия влияет на снеговую границу так же, как увеличение или уменьшение количества осадков на 300 мм», практически точно соответствует крупным ледникам Кузнецкого Алатау.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность профессору Томского государственного университета В.В. Севастьянову за ценные советы и замечания по улучшению статьи. Также выражаем благодарность И.В. Гуляеву за любезно предоставленные в наше распоряжение фотоснимки ледников Кузнецкого Алатау. Мы очень признательны руководству Новокузнецкого краеведче-



**Рис. 4.** Совмещённый график хода средних летних температур, годовых сумм осадков по ГМС Ненастная и динамики площади ледников Кузнецкого Алатау:

1 – годовые суммы осадков (прямая линия – линейный тренд); 2 – средние летние температуры (прямая линия – линейный тренд); площади ледников: 3 – Центральный (№ 87); 4 – Караташ (№ 56); 5 – Черно-Июсский (№ 83)

**Fig. 4.** Combined chart of the average summer temperatures, annual precipitation according to the weather station Nenastnaya and the dynamics of glacier area:

1 – annual amounts of precipitation (straight line – the linear trend); 2 – average summer temperatures (straight line – the linear trend); glacier areas: 3 – Tsentralny Glacier (№ 87); 4 – Karatash Glacier (№ 56); 5 – Black Iyusskoy Glacier (№ 83)

ского музея за возможность работы с личным архивом первооткрывателя оледенения Кузнецкого Алатау – П.С. Шпиня.

**Acknowledgements.** We would like to thank professor of the Tomsk State University V.V. Sevastyanov for

the valuable advices and comments that improved style and content of the manuscript. We appreciate to I.V. Gulyaev for their photographs of Kuznetsky Alatau glaciers, and to the management of Novokuznetsk Museum of Local Lore, for the opportunity to work with a personal archive of P.S. Shpin'.

## Литература

1. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1132 p.
2. Шпинь П.С. Оледенение Кузнецкого Алатау. М.: Наука, 1980. 83 с.
3. Адаменко М.М., Гутак Я.М. Динамика ледников и многолетних снежников Кузнецкого Алатау в

## References

1. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1132 p.
2. Shpin' P.S. Oledenenie Kuznetskogo Alatau. Glaciation of the Kuznetsky Alatau Mountains. Moscow: Nauka, 1980: 83 p. [In Russian].
3. Adamenko M.M., Gutak Ya.M. Dynamics of glaciers and perennial snowfields of the Kuznetsk Alatau Moun-

- XIX–XXI столетиях // Изв. Алтайского отдела РГО. 2015. № 4. С. 28–35.
4. Adamenko M.M., Gutak Y.M., Solomina O.N. Glacial history of the Kuznetsky Alatau Mountains // Environmental Earth Sciences. 2015. Т. 74. № 3. Р. 2065–2082.
  5. Сябаев А.А., Ковалев Е.А. Современное состояние оледенения Кузнецкого Алатау и его динамика во второй половине XX века // Природа и экономика Кузбасса. 2004. Вып. 9. Т. 2. С. 41–49.
  6. Коваленко Н.В. Современное состояние малых ледников Кузнецкого Алатау и Плато Путорана // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2008. № 3. С. 67–71.
  7. Коваленко Н.В. Режим и эволюция малых форм оледенения. М.: МАКС Пресс, 2011. 240 с.
  8. Бульгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>
  9. Шпинь П.С. Термический режим теплого периода в высотнo-гляциальной зоне Кузнецкого Алатау // Гляциология Алтая. 1978. Вып. 13. С. 44–57.
  10. Шпинь П.С. Термика летних периодов в горноледниковом бассейне р. Кара-Таш в Кузнецком Алатау // Природа и экономика Кузбасса. 1982. С. 33–36.
  11. Каталог ледников СССР. Т. 15. Л.: Гидрометеoиздат, 1980. 44 с.
  12. Landsatlook Viewer. URL: [andsatlook.usgs.gov/viewer.html](http://andsatlook.usgs.gov/viewer.html)
  13. Шпинь П.С. О снежном покрове и количестве осадков в южной части Кузнецкого Алатау // Гляциоклиматология Западной Сибири. 1975. С. 74–88.
  14. Кондрашов И.В. О вертикальных градиентах температуры воздуха в Горном Алтае и Кузнецком Алатау в летний период // Русский Алтай. Тезисы докладов. Барнаул, 1995. С. 31–32.
  15. Севастьянов В.В. Эколого-климатические ресурсы Алтае-Саянской горной страны. Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 2008. 307 с.
  16. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2015 год. М.: изд. Росгидромета, 2016. 68 с.
  17. Тронов М.В. О некоторых географических признаках климата в высокогорной местности // Гляциология Алтая. 1964. Вып. 3. С. 12–51.
  18. Трoнов М.В. О некоторых географических признаках климата в высокогорной местности // Известия Алтайского отделения Русского Географического Общества. Proc. of the Altai Branch of the Russian Geographical Society. 2015, 4: 28–35. [In Russian].
  19. Adamenko M.M., Gutak Y.M., Solomina O.N. Glacial history of the Kuznetsky Alatau Mountains. Environmental Earth Sciences. 2015, 74 (3): 2065–2082.
  20. Syubaev A.A., Kovalev E.A. Current status of Kuznetsky Alatau glaciers and its dynamics in the second half of the XX century. *Priroda i ekonomika Kuzbassa*. Nature and economy of Kuzbass. 2004, 9 (2): 41–49. [In Russian].
  21. Kovalenko N.V. The current state of small glaciers in the Kuznetsky Alatau Mountains and Putorana plateau. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5. Geografiya*. Herald of the Moscow University. Series 5. Geography. 2008, 3: 67–71. [In Russian].
  22. Kovalenko N.V. *Rezhim i evolyutsiya malykh form oledeneniya*. Regime and evolution of the small forms of glaciation. Moscow: MAKS Press, 2011: 240 p. [In Russian].
  23. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Aleksandrov T.M. *Opisanie massiva dannykh sutochnoy temperatury vozdukha i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR*. Description of the array of daily air temperature and precipitation data at meteorological stations of Russia and the former Soviet Union (TTTR). Certificate of state database registration: 2014620942. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#onucanie-massiva-dannykh>
  24. Shpin' P.S. Thermal regime of the warm period in the high-altitude glacial zone of the Kuznetsky Alatau mountains. *Glyatsiologiya Altaya*. Glaciology of Altai. 1978, 13: 44–57. [In Russian].
  25. Shpin' P.S. Thermal regime of the summer in the mountain-glacial basin «Kara-Tash» in the Kuznetsky Alatau Mountains. *Priroda i ekonomika Kuzbassa*. Nature and economy of Kuzbass. 1982: 33–36. [In Russian].
  26. Katalog lednikov SSSR. USSR Glacier Inventory. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1981, 15: 44 p. [In Russian].
  27. Landsatlook Viewer. URL: [andsatlook.usgs.gov/viewer.html](http://andsatlook.usgs.gov/viewer.html)
  28. Shpin' P.S. On snowpack and precipitation in the southern part of the Kuznetsky Alatau. *Glyatsioklimatologiya zapadnoy Sibiri*. Glacioclimatology of Western Siberia. 1975: 74–88. [In Russian].
  29. Kondrashov I.V. On the vertical gradients of air temperature in the Altai and Kuznetsky Alatau in summer season. *Russkiy Altay*. Russian Altai. Abstracts of reports. 1995: 31–32. [In Russian].
  30. Sevastyanov V.V. *Ekologo-klimaticheskie resursy Altae-Sayanskoy gornoy strany*. Ecological and climatic resources of the Altai-Sayan mountain country. Tomsk State University, 2008: 307 p. [In Russian].
  31. Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2015 god. Report on climate features in the territory of Russian Federation for 2015. Moscow: Rossgidromet, 2016: 68 p. [In Russian].
  32. Tronov M.V. Some geographic features of climate in the highlands. *Glyatsiologiya Altaya*. Glaciology of Altai. 1964, 3: 12–51. [In Russian].