

## ГЛЯЦИОЛОГИЯ

УДК 551.322

### НОВЫЙ ПОДХОД К ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ МАЛЫХ ЛЕДНИКОВ И МНОГОЛЕТНИХ СНЕЖНИКОВ НА ОСНОВЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НЕПРЕРЫВНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ ГЛЯЦИАЛЬНО-НИВАЛЬНОГО ОБЪЕКТА (НА ПРИМЕРЕ ГОР КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ)

М.М. Адаменко, Я.М. Гутак

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия*

Для правильной оценки изменений геосистем и климата в районах, где представлены малые формы оледенения, необходимо четко разделить объекты, относящиеся к ледникам, и объекты, связанные со снежными полями. Завышение или занижение количества ледников за счет многолетних снежников «смазывает» истинную картину гляциальной обстановки и ведет к неверным климатическим и гидрологическим прогнозам. В статье рассматривается возможность использования критерия продолжительности непрерывного существования гляционивальных объектов для решения этой задачи.

**Ключевые слова:** малые ледники, многолетние снежники, горы Кузнецкий Алатау.

#### Введение

Оледенение Кузнецкого Алатау представлено малыми формами, по аналогии с горами Урала, Хибин, плато Путорана и других среднегорных гляциальных районов, лишенных зоны вечных снегов. Малые ледники Кузнецкого Алатау обладают рядом уникальных особенностей и существуют, в первую очередь, благодаря большому количеству осадков (до 3 000–3 500 мм/год [Шпинь, 1975]), более половины которых выпадает в виде снега, а также высокой концентрации снежных масс на подветренном склоне вследствие метелевого переноса. При этом особенности режима и динамики малых ледников гор Кузнецкого Алатау, в сравнении с другими районами малого оледенения, изучены крайне слабо. Малые ледники и многолетние снежники гор Кузнецкого Алатау являются ярким индикатором климатических условий особой зоны высокого снегонакопления в приводораздельных частях осевых хребтов и массивов, так называемого очага сниженной континентальности [Ревякин, 1970], практически не охваченной здесь метеорологическими и гидрологическими наблюдениями.

Для гор Кузнецкого Алатау дифференциация многолетних снежников и ледников является, ввиду физико-географических особенностей района, актуальной и весьма сложной задачей. Завышение или занижение количества ледников за счет многолетних снежников, которые по своей динамике принципиально различны, «смазывает» истинную картину гляциальной обстановки района и может привести в дальнейшем к неверным климатическим и гидрологическим прогнозам. Для правильной оценки современных изменений горных геосистем и климата в

районах, где представлены малые формы оледенения, необходимо четко разделить объекты, относящиеся к ледникам, и объекты, связанные со снежными полями, и многолетними снежниками. В данной статье мы рассматриваем ранее предложенные принципы и подходы для решения этой задачи, исследуем возможность использования критерия продолжительности непрерывного существования гляционивальных объектов для дифференциации их на классы малых ледников и многолетних снежников.

#### Методика исследований

Для решения поставленной задачи детальному анализу подверглись 30 объектов Тигертышского горного узла и Канымского нагорья Кузнецкого Алатау, которые ранее [Каталог, 1980] были идентифицированы как ледники. В 2002–2005 гг. в полевых условиях составлены морфологические описания и произведены замеры площади этих объектов. В 2006–2015 гг. неоднократно проводились измерения площадей и фотограмметрия наиболее крупных и репрезентативных ледников Центрального и Южно-Алатауского районов оледенения, а именно ледника Караташ № 56 (2008, 2015 гг.), Тронева № 58 (2008, 2010 гг.), Черно-Июсский № 83 (2008, 2011 гг.), Центральный № 87 (2011 г.). Для ледника Караташ собраны данные о фронтальной динамике путем измерения расстояния от фиксированных точек до открытого льда в середине августа 2004, 2005 и 2015 гг. Кроме того, при написании статьи проанализированы данные полевых исследований Н.В. Коваленко [Коваленко, 2008] и А.А. Сюбаева [Сюбаев, Ковалев, 2004], работавших в районе в 2002–2006 гг.

Результаты экспедиционных работ были дополнены с помощью методов парных фотографий и дистанционного зондирования. Для этого собран большой объем фотографий ледников и снежников Кузнецкого Алатау, включая первые фотографии из отчетов И.П. Толмачева (1899–1901 гг.) и А.Н. Чуракова (1930-е гг.), негативы П.С. Шпиня из архивов Новокузнецкого краеведческого музея. По аэрофотоснимкам *Landsat* были рассчитаны площади ледников Караташ, Черно-Июсский и Центральный. Учитывая невысокое пространственное разрешение снимков – 30 м/пиксель, дистанционные методы мониторинга ледников явились вспомогательными. Важно отметить, что при каталогизации ледников в 80-х гг. XX в. площадь была оценена с точностью до сотых долей квадратного километра, поэтому использование снимков невысокого пространственного разрешения для решения поставленных задач мы считаем допустимым. Кроме того, в площадь наиболее крупных ледников (например, ледников Караташ и Черно-Июсский) была включена площадь примыкающих к ним фирновых полей, которые в 1980-х гг. соединялись с ледниками [Шпинь, 1980]. Эти фирновые поля расположены на пологих открытых склонах, легко читаются на космоснимках и являются ярким индикатором снежности. Их площадь сильно варьируется год от года, давая прирост или убыль общей площади ледника. Нами использовались космоснимки ледников конца сезона абляции (последние числа августа – первая декада сентября), когда ледники хорошо различимы, не скрыты облаками и отсутствуют следы сезонных снегопадов.

Для оценки изменений климата в районе исследований нами проанализированы данные высокогорной метеостанции Ненастная за весь период инструментальных наблюдений с 1934 по 2015 г. [Булыгина и др.]. Рассчитаны средние летние температуры и годовая сумма осадков, а также линейные тренды изменения этих показателей для периода с 1975 по 2015 г. Данная метеостанция является единственной во всем горном районе, расположенной выше границы леса. Она удалена от ледников, поэтому ее репрезентативность для оценки климата низовально-гляциальной зоны Кузнецкого Алатау была нами доказана через сравнение хода суточных температур (июль–август) на сезонных метеопостах вблизи границ ледников. Коэффициент корреляции хода суточных температур в июле–августе на метеопосту вблизи нижней границы ледника Караташ и ГМС Ненастная составляет 0,95–0,92.

#### **Современное состояние вопроса малого оледенения**

Михаилом Владимировичем Троновым проблема малых ледников была выдвинута в числе основных

нерешенных вопросов гляциологии. На сегодняшний момент окончательно не ясно, какие объекты стоит относить к малым ледникам. В целом существуют две точки зрения на вопрос. Одна группа исследователей придерживается мнения, что переход между снежниками и ледниками плавный и малые ледники – это также и близкие к ним снежно-фирно-ледяные образования. В ряде своих публикаций М.В. Тронов высказывал подобную точку зрения. Так, он отмечает: «Малые формы оледенения – это не обязательно ледники, но и компактные образования, содержащие лед» [Ревякин, 1970: 89]. Н.И. Осокин отмечает, «что существует группа снежников, которые близки к небольшим ледникам и различить их между собой затруднительно» [Осокин, 1981]. Г.Е. Глазырин отмечает, что «не существует четкой границы между снежниками и ледниками, различие между ними скорее количественное, чем качественное, а переход плавный» [Глазырин, 1977: 81]. Конкретно для района Кузнецкого Алатау это точка зрения гиперболизировалась в мнении, что «оледенение здесь (Кузнецкий Алатау. – *Прим. авт.*) представлено лишь зачаточными формами ледников – почти снежников» [Глазырин, 1977: 90].

Другая точка зрения на вопрос дифференциации малых ледников и снежников базируется на том, что несмотря на небольшие размеры малый ледник должен обладать всеми характерными признаками ледника. Среди прочих ученых подобную точку зрения высказывает В.С. Ревякин [Ревякин, 1970], приводя в своей статье «Современное состояние проблемы малых ледников» широкий анализ и обобщение мнений по данной проблеме. При подобном подходе к малому леднику относятся только те снежно-ледовые образования, которые, несмотря на малую площадь, имеют все характерные элементы ледника, но «в миниатюре». «В том случае, когда этих свойств нет (признаков ледника. – *Прим. авт.*) – нет и ледника» [Ревякин, 1970]. В гляциологическом словаре под редакцией В.М. Котлякова определение малого ледника дается в разъяснении термина ледник: «...объекты менее 0,1 км<sup>2</sup> называют малыми ледниками» [Гляциологический словарь, 1984]. В полевых выходах нами установлено, что при непосредственном изучении гляционивальных объектов для малых ледников в горах Кузнецкого Алатау являются диагностическими такие визуальные признаки, как преобладание льда в снежно-фирно-ледяной массе, наличие огив (чередующихся серого запыленного и более широкого белого слоев льда), разделение на зоны абляции и аккумуляции к концу сезона абляции, признаки движения (формирующаяся морена, провислость огив).

Небольшая площадь малых ледников и обилие сезонного снега способствуют тому, что подобные диагностические признаки можно наблюдать в узкий

временной промежуток, часто лишь в конце августа – первой декаде сентября. При посещении ледников Кузнецкого Алатау в июне–июле лед и соответствующий ему микрорельеф часто полностью скрыты под сезонным снегом. Кроме того, большинство малых ледников, как гор Кузнецкого Алатау, так и других горных систем, расположены в труднодоступных районах, что делает регулярное их посещение с целью мониторинга затруднительным. Необходимо поиск диагностических признаков, которые можно оценивать дистанционными методами (космической и аэровизуальной съемкой).

Неоднократно предпринимаемые попытки провести границу между малыми ледниками и многолетними снежниками исходя из их площади, формы, наличия движения и рельефообразующей деятельности гляционивальных объектов не дали существенных результатов. Так, если исходить из определения Гляциологического словаря, около 1/5 выделенных в Кузнецком Алатау ледников вообще не являются малыми, так как их площадь более 0,1 км<sup>2</sup>. В то же время в отношении снежников констатируются данные: «...большинство авторов считают снежником снежно-ледовое образование размером до 1 км<sup>2</sup>» [Осокин, 1981: 9]. Долгое время наличие движения и, как следствие, способность к рельефообразующей деятельности являлись главным критерием при выявлении ледников. Этот подход утратил свою актуальность ввиду открытия снежников с собственным движением [Осокин, 1981] и многообразия форм рельефа, созданных процессами нивации (нивные кары, ниши, конуса выноса и др.) [Любимов, 1967]. В специфических условиях Кузнецкого Алатау, сопряженных с аномальной снежностью осевых хребтов, где объемы накопленного за зиму снега на подветренных склонах велики, а процессы нивации протекают необычайно интенсивно, критерий отсутствия движения и способности к рельефообразованию у снежных полей не выполняется. Также в этом районе следует осторожно трактовать критерий наличия четкой границы между областью питания и областью расхода вещества, который, по мнению Н.В. Коваленко, является главным признаком ледников, даже более важным, чем собственное движение [Коваленко, 2008]. Ледники Кузнецкого Алатау накапливают снег всей поверхностью и в отдельные годы с высокой снежностью и затяжной весной могут оставаться скрытыми под сезонным снежным покровом весь период абляции, как мы наблюдали это в 2008 и 2013 гг. Также бесперспективной является попытка выделить отдельную промежуточную категорию между ледниками и многолетними снежниками, что неоднократно отмечалось разными исследователями [Осокин, 1981; Коваленко, 2008].

*Таким образом, основной теоретической задачей при изучении малых ледников и снежников, с нашей*

*точки зрения, является поиск четкого критерия, позволяющего надежно разделить эти группы снежно-ледовых образований и изучать их динамику дистанционными методами.*

Ряд исследователей избегает вопроса оценки времени непрерывного существования многолетних снежников и дает общие формулировки, как, например, «неопределенно долго» [Гляциологический словарь, 1984: 409]. В других случаях имеются четкие указания на ограниченность сроков существования многолетних снежников годами или декадами. Н.И. Осокин указывает, что снежником является образование, помимо прочих признаков, существующее «от нескольких часов до нескольких лет» [Осокин, 1981]. В отношении устойчивости многолетних снежников к климатическим изменениям в литературе неоднократно высказывалось мнение, что эти образования могут быть весьма устойчивыми к значительным колебаниям климата [Глазырин, 1977; Tsuchiya, 1984]. Данные последних исследований указывают, что многолетние снежники и переходные образования характеризуют быстрая реакция на изменения микроклиматических условий, отсутствие инерции сохранения, которая является важным свойством ледников. Исследование динамики многолетних снежников в массиве Монгун-Тайга в 2007–2008 гг. показало, что реакция на климатические колебания нивально-гляциальных систем может быть как быстрой и очевидной (снежники), так и асинхронной и различной по масштабам [Чистяков и др., 2015]. В 2007–2008 гг. на территории данного массива суммарная площадь снежников по сравнению с серединой 1960-х гг. сократилась почти в 15 раз, т.е. на 94%, в то время как площадь оледенения сократилась за этот же период всего лишь на 30% [Ганюшкин и др., 2012]. Н.В. Коваленко отмечает, что сопоставление межгодовых колебаний контуров разных нивально-гляциальных образований на Путоране показало, что границы малых ледников отличаются гораздо большей стабильностью, в то время как снежники способны за один сезон испытывать распад на несколько независимых образований и быструю регенерацию впоследствии [Коваленко, 2008].

Таким образом, если мы расширим классическое определение понятий «многолетний снежник», «малый ледник» информацией о времени непрерывного существования этих объектов, дифференциация их упростится. При таком подходе многолетний снежник – это образование, состоящее преимущественно из снега и фирна, непрерывно существующее в течение нескольких лет или десятилетий, неустойчивое к внутривековым колебаниям климата и способное полностью стаять за один неблагоприятный год. В последующий благоприятный период в нивальной нише возобновляются накопление снега и цикл развития многолетнего снежника из сезонного снежно-

го поля повторяется. В свою очередь, к малым ледникам следует относить образования, сложенные преимущественно из фирна и льда, обладающие инерцией сохранения. Время их непрерывного существования исчисляется как минимум веками или тысячелетиями. Малые ледники обладают устойчивостью к внутривековым колебаниям климата и реагируют на ухудшение гляциоклиматических условий отступанием и сокращением мощности ледовой толщи, а на их улучшение – наступанием и накоплением ледовой массы. На наш взгляд, именно критерий «времени непрерывного существования» позволяет провести «черту» между ледниками и снежниками.

### **Эволюция оледенения и динамика климата гор Кузнецкого Алатау с 1975 г. по настоящее время**

Со времени открытия и каталогизации ледников Кузнецкого Алатау прошло около 40 лет, попробуем интерпретировать накопленный фактический материал с позиции длительности непрерывного существования выделенных в районе ледников. Оледенение Кузнецкого Алатау было открыто сравнительно поздно, в 1967 г. Первооткрывателем и исследователем ледников Кузнецкого Алатау был Петр Степанович Шпинь, доцент Кузбасского педагогического института. Им выполнен большой фронт работ по изучению условий существования, режима, морфологии ледников. С конца 1980-х гг. и до начала XXI в. ледники этого района исследовательскими группами не посещались совсем. В 2002–2005 гг. несколькими независимыми исследователями проводились ревизия и мониторинг состояния ледников Кузнецкого Алатау [Сюбаев, 2004; Коваленко, 2008; Adamenko et. al., 2015]. Все работы указывают на отступление ледников вплоть до 2009 г.

Во время каталогизации оледенения Кузнецкого Алатау теоретические вопросы, касающиеся малого оледенения, еще только разрабатывались. Более углубленное изучение работ П.С. Шпиня выявило, что недостаточно ясно, какой объект относился им к ледникам, а какой к «снежно-ледовым образованиям, имеющим признаки ледников» (терминология П.С. Шпиня). В единственной монографии, посвященной оледенению Кузнецкого Алатау, при характеристике ледников дается указание, что «к этому типу относятся постоянные снежно-фирновые образования, обладающие всеми характерными признаками ледников» [Шпинь, 1980: 33]. Отмечается также, что некоторые крупные снежники могли быть приняты за ледники: «...ошибка, вероятно, не превышает 5–7% от общего числа ледников» [Шпинь, 1980: 24]. Нами произведен анализ большого количества фотоматериала 1970–1980-х гг., на котором запечатлены ледники Кузнецкого Алатау, из част-

ных архивов туристическо-краеведческих групп, а также из архива П.С. Шпиня в Новокузнецком краеведческом музее, и установлено, что у многих образований, выделенных как ледники, характерные признаки ледников (сложение льдом, разделение на область абляции и аккумуляции, выпуклый профиль и др.) отсутствовали или исчезли уже к концу 1980-х гг. Эти фотоматериалы были нами частично опубликованы [Adamenko et. al., 2015].

В качестве иллюстрации приводятся фототаблицы по ледникам № 47 и 48 (рис. 1 и 2), нами обнаружены подробные фотографии 1985–1989 гг. Как видно на рис. 1, уже на фотографиях 1989 г. ледник № 48 имеет вогнутый чашеобразный профиль, сложен белым фирном, признаки льда и подразделение на области абляции и аккумуляции отсутствуют. О полной деградации этих ледников в 2004–2006 гг. свидетельствует Н.В. Коваленко: «Так, ледник Высокогорный (№ 47)... в настоящее время полностью исчез... Полностью деградировал также ледник № 48, залегающий в соседней долине» [Коваленко, 2008]. Полное исчезновение ледника № 47 фиксируется фотографиями 2006 г. (рис. 1, I). Нами ледник № 48 был посещен в июле 2006 г. и классифицирован как снежник без признаков ледяного ядра, сравнительные фотографии, отражающие его морфометрию, представлены на рис. 2.

В целом мы можем с достоверностью утверждать, что ледники № 2, 5, 6, 8, 9, 29, 30, 47, 48, 50–55, 57, 59, 60, 84 в XX – первом десятилетии XXI в. неоднократно полностью исчезали. Это надежно зафиксировано прямыми полевыми наблюдениями, космоснимками и парными фотографиями, данные которых были опубликованы [Адаменко, Гутак, 2015а; Adamenko et. al., 2015]. Эти снежно-ледовые образования целесообразно классифицировать как многолетние снежники, которые только в благоприятные годы формируют ледяное ядро. Каталогизация их велась в 1970-х гг., благоприятных для накопления снежно-ледовой массы, что вызвало данную ошибку.

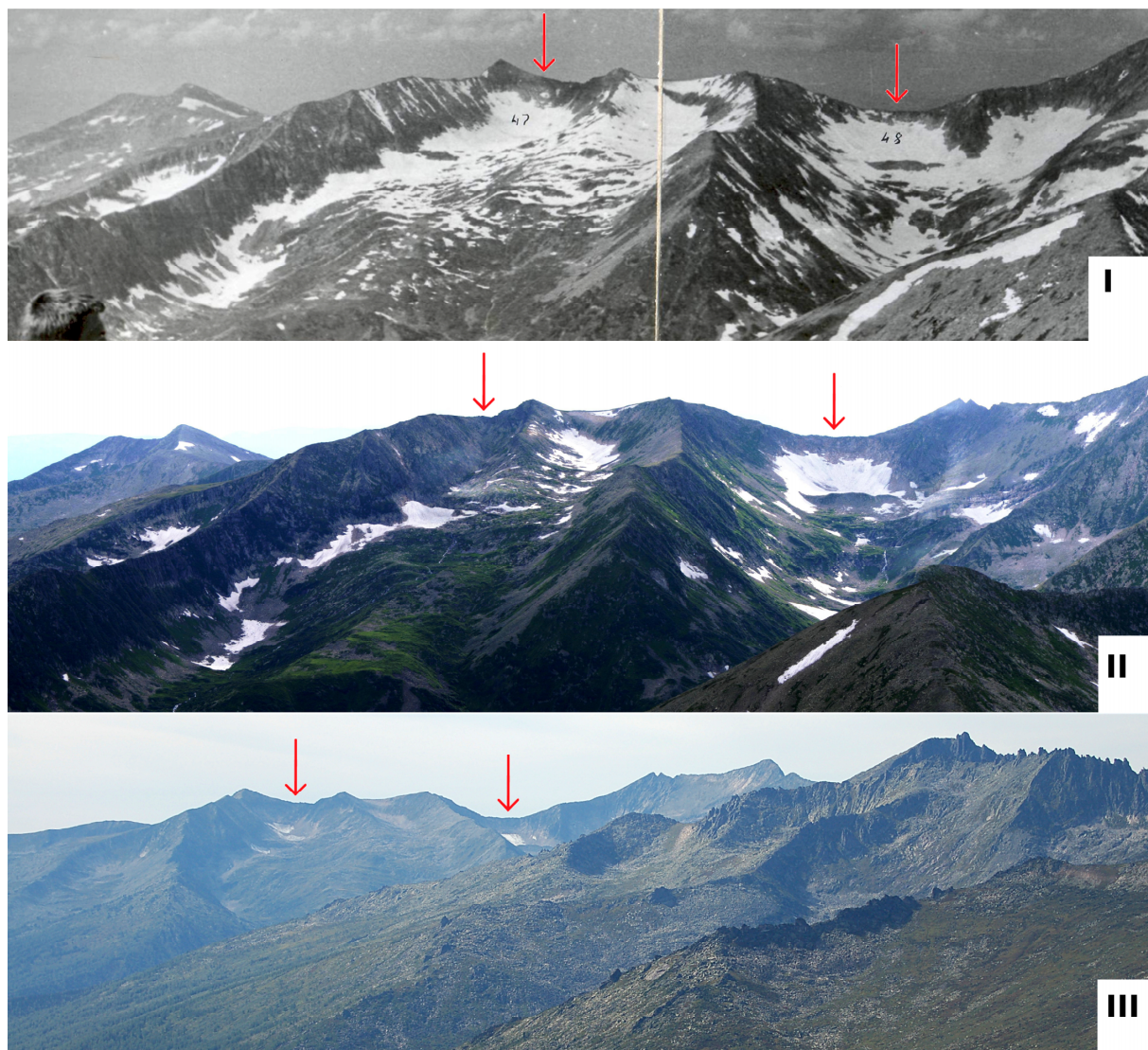
Ледники № 1, 16, 22, 23, 49, 83 образуют группу деградировавших ледников. На основе данных метода парных фотографий можно сделать вывод, что в период каталогизации наличие у них ледниковых признаков не вызывает сомнений. За последние 40 лет площадь их уменьшилась на 40–70%, по данным непосредственных полевых измерений [Адаменко, Гутак, 2015а]. Кроме ледника № 49, все они относятся к присклоновым ледникам, которые, по замечанию Л.С. Троицкого, «очень сходны со снежниками» [Оледенение Урала, 1966: 26].

Установлено, что ледники № 56, 58, 85–87 устойчивы по отношению к изменениям климата. Эти ледники существуют непрерывно, по крайней мере, с Малого ледникового периода, что подтверждается



лихенометрическими исследованиями на их моренах, архивными фотографиями, конца XIX – первой половины XX в. [Adamenko et. al., 2015]. Косвенно на это указывают также данные об изменении климата в районе по дендрохронологическим данным [Адаменко, 2012]. По своей морфологии это крупные каровые или присклоновые ледники, лежащие в выработанных ледниковых нишах или карах, сформированных плейстоценовым оледенением. Наибольшее сокращение ледников устойчивой группы зафиксировано в 2002–2004 гг. С 2005 г. ледники № 56, 58, 85–87 стабилизи-

ровались и увеличивают площади и мощность ледовой толщи. С 2004 по 2015 г. площадь ледников Караташ и Центральный на основе анализа аэрофотоснимков *Landsat* увеличилась на 0,02 и 0,04 км<sup>2</sup>, что составляет 15 и 20% соответственно от площади, указанной в Каталоге ледников СССР. Также зафиксированы увеличение толщины льда на леднике Караташ и замедление отступления его фронта. За последние 12 лет ледник Караташ отступил на 2–3 м, для сравнения, с 2004 по 2005 г. среднее отступление фронта ледника составляло 6,5 м [Адаменко, Гутак, 2015б].



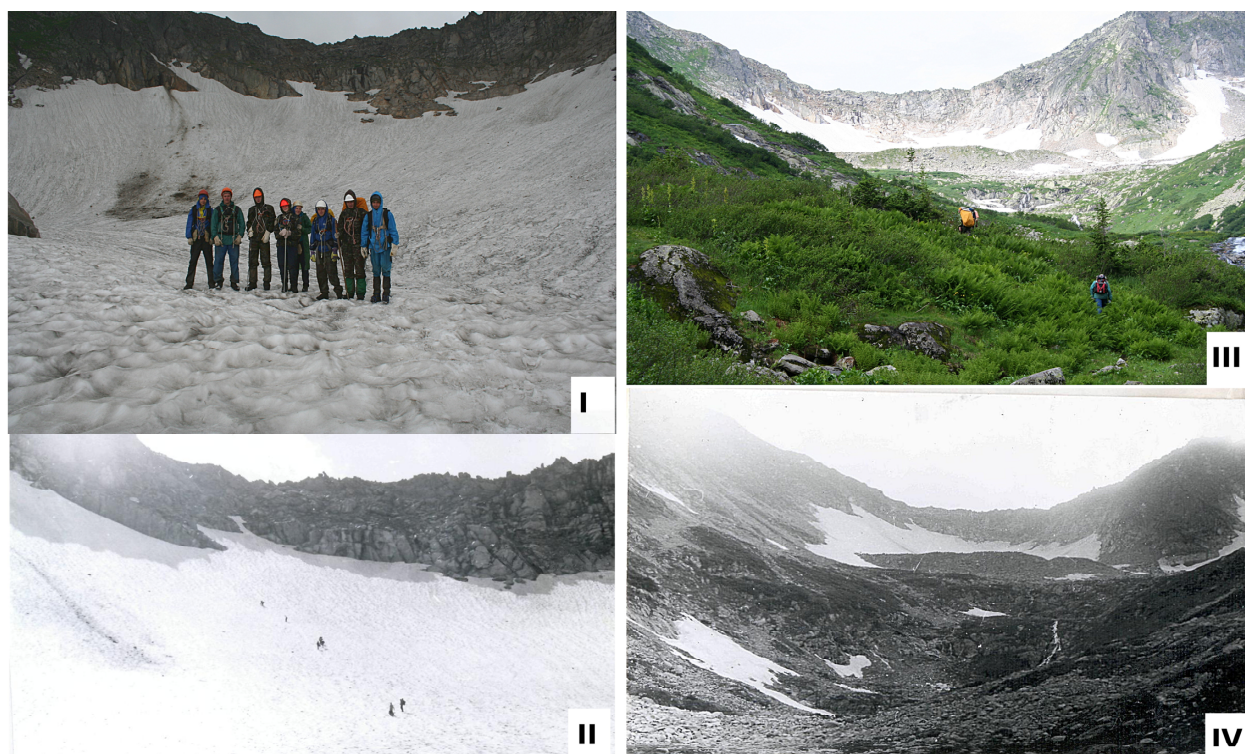
**Рис. 1. Изменение снежников № 47 и 48 за последние 30 лет, классифицированных в Каталоге ледников СССР как ледники (обозначены стрелками)**

I – июль 1985 г. (автор фотографии неизвестен); II – июль 2006 г., снежник № 47 полностью стаял (фотография И.В. Гуляева); III – конец августа 2012 г., на месте снежников № 47, 48 заметны небольшие фирновые пятна на фоне полностью свободной от сезонного снега территории (фотография М.М. Адаменко)

**Fig. 1. Changes of snowfields № 47, 48 over the past 30 years, that was classified in the Catalog of Glaciers of the USSR as glaciers (indicated by arrows)**

I – July, 1985 (photo by unknown author), II – July, 2006 snowfield № 47 was completely melt (photo by I.V. Gulaev); III – end of August 2012, on the site of snowfields № 47, 48 there are small firn spots on the background of area that completely free of seasonal snow (photo by M.M. Adamenko)





**Рис. 2. Сравнительные фотографии снежника № 48, классифицированного в Каталоге ледников СССР как ледник**

I – июль 2006 г., образование сложено сезонным снегом и повторяет форму склона (фотография И.В. Гуляева); II – август 1989 г., положение верхней линии снега за последние 30 лет изменилось незначительно (автор фотографии неизвестен); III – июль 2006 г. (фотография И.В. Гуляева); IV – август 1989 г. (автор фотографии неизвестен)

**Fig. 2. Comparative photos of the snowfield № 48, classified in the Catalog of Glaciers of the USSR as a glacier**

I – July 2006, the formation is composed of seasonal snow and repeats the shape of the slope (photo by I.V. Gulyaev); II – August 1989, the position of the upper snow line for the last 30 years has changed insignificantly (unknown author of photo); III – July of 2006 (photo by I.V. Gulyaev); IV – August of 1989 (unknown author of photo)

Анализ данных по единственной высокогорной метеостанции Ненастная в Кузнецком Алатау указывает, что за 40 лет средняя летняя температура в районе увеличилась на  $1,3^{\circ}\text{C}$  (скорость линейного роста  $0,33^{\circ}\text{C}/10$  лет), среднегодовое количество осадков также увеличилось на 320 мм (темпы линейного роста 80 мм/10 лет; метеоданные с портала [meteo.ru](http://meteo.ru) [Булыгина и др.] проанализированы нами). Зафиксированное изменение климата практически точно соответствует зависимости: «...понижение или повышение летних температур на 1 градус Цельсия влияет на снеговую границу, так же как увеличение или уменьшение количества осадков на 300 мм...», выявленной М.В. Троновым для ледников Алтая [Тронов, 1964].

### Закключение

Малые ледники, несмотря на то, что их площади не превышают  $0,14\text{ км}^2$ , существуют в Кузнецком Алатау непрерывно в течение как минимум нескольких столетий. Многолетние снежники могут полностью исчезать за один неблагоприятный год, их срок

непрерывного существования в Кузнецком Алатау может достигать нескольких десятилетий.

С нашей точки зрения, «длительность непрерывного существования» гляциально-нивального объекта можно использовать как критерий при определении категорий «многолетний снежник» и «малый ледник». С позиции «длительности непрерывного существования» мы можем предположить, что в Каталоге ледников СССР как ледники был классифицирован большой процент многолетних снежников. Значительное сокращение площади оледенения Кузнецкого Алатау, которое было зарегистрировано в 2002–2005 гг., было вызвано, в первую очередь, ставиванием подобных снежно-ледовых образований. Аналогичная ситуация наблюдалась и в 50-х гг. XX в. [Шпинь, 1980]. Таким образом, первоначальная оценка гляциальной ситуации в Кузнецком Алатау как полная деградация (данная нами и другими исследователями) является неточной.

Авторы выражают благодарность Игорю Викторовичу Гуляеву за многолетнее сотрудничество и любезно предоставленные фотоснимки ледников Кузнецкого Алатау. Мы также признательны ру-

ководству Новокузнецкого краеведческого музея за возможность работы с личным архивом первооткрывателя оледенения Кузнецкого Алатау П.С. Шпиня Особую благодарность авторы выка-

зывают старшему научному сотруднику института географии РАН Черновой Людмиле Павловне за ценные советы и идеи по развитию данного исследования.

### ЛИТЕРАТУРА

- Адаменко М.М., Гутак Я.М. Динамика ледников и многолетних снежников Кузнецкого Алатау в XIX–XXI столетиях // Известия Алтайского отделения русского географического общества. 2015а. № 4 (39). С. 28–36.
- Адаменко М.М., Гутак Я.М. Новые данные о динамике и современном состоянии ледников Кузнецкого Алатау // Природа и экономика Кемеровской области и сопредельных территорий : сб. науч. ст. / под общ. ред. В.А. Рябова. Новокузнецк, 2015б. С. 14–17.
- Адаменко М.М. Использование дендрохронологических данных для реконструкции колебаний ледников Кузнецкого Алатау // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 362. С. 163–165.
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (TTTR). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>
- Ганюшкин Д.А., Москаленко И.Г., Чистяков К.В. Динамика многолетних снежников и снежно-фирновых полей массива Могун-Тайга // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2012. Вып. 4. С. 164–175.
- Глазырин Г.Е. Режим существования многолетних снежников – почти ледников // Вопросы горной гляциологии. Томск : Изд-во ТГУ, 1977. С. 80–91.
- Гляциологический словарь / под ред. В.М. Котлякова. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 528 с.
- Каталог ледников СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1980. Т. 15. 44 с.
- Коваленко Н.В. Современное состояние малых ледников Кузнецкого Алатау и Плато Путорана // Вестник Московского университета. 2008. № 3. Сер. 5. С. 67–71.
- Коваленко Н.В. Режим и эволюция малых форм оледенения : дис. ... канд. геогр. наук. М. : МГУ, 2008. 207 с.
- Любимов Б.П. О механизме нивальных процессов // Подземный лед. М. : Изд-во МГУ, 1967. Вып. III. С. 158–175.
- Оледенение Урала / Л.С. Троицкий, В.Г. Ходаков, В.И. Михалев, А.С. Гуськов, И.М. Лебедева, В.Н. Адаменко, Л.А. Живкович. М. : Наука, 1966. 307 с.
- Осокин Н.И. Снежники и снежниковые системы низко- и среднегорных районов СССР. М. : Наука, 1981. 72 с.
- Ревякин В.С. Современное состояние проблемы малых ледников // Материалы гляциологических исследований. 1970. Вып. 17. С. 88–94.
- Сюбаев А.А., Ковалев Е.А. Современное состояние оледенения Кузнецкого Алатау и его динамика во второй половине XX века // Природа и экономика Кузбасса. Новокузнецк : Изд-во КузГПА, 2004. Вып. 9, т. 2. С. 41–49.
- Тронов М.В. О некоторых географических признаках климата в высокогорной местности // Гляциология Алтая. 1964. Вып. 3. С. 12–51.
- Чистяков К.В., Ганюшкин Д.А., Курочкин Ю.Н. Современное состояние и динамика нивально-гляциальных систем массивов Монгун-Тайга и Таван-Богдо-Ола // Лёд и Снег. 2015. № 1 (129). С. 49–60.
- Шпинь П.С. Оледенение Кузнецкого Алатау. М. : Наука, 1980. 83 с.
- Шпинь П.С. О снежном покрове и количестве осадков в южной части Кузнецкого Алатау // Гляциоклиматология Западной Сибири. 1975. С. 74–88.
- Adamenko M.M., Gutak Y.M., Solomina O.N. Glacial history of the Kuznetsky Alatau Mountains // Environmental Earth Sciences. 2015. V. 74, № 3. P. 2065–2082.
- Landsatlook Viewer. URL: [landsatlook.usgs.gov/viewer.html](http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html)
- Tsuchiya I. A very small glacier on Mt. Chokai, Japan, 1972–1981 // Geographical Review of Japan. 1984. V. 57 (Ser. B), № 2. P. 142–153.

### Авторы:

Адаменко Марина Михайловна, кандидат географических наук, доцент, кафедра геологии, геодезии и безопасности жизнедеятельности, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия.

E-mail: [adamenko.marina@gmail.com](mailto:adamenko.marina@gmail.com)

Гутак Ярослав Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, директор, Институт горного дела и геосистем, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия. E-mail: [gutakjaroslav@andex.ru](mailto:gutakjaroslav@andex.ru)

*Geosphere Research*, 2017, 3, 33–40. DOI: 10.17223/25421379/4/5

M.M. Adamenko, Ya.M. Gutak

*Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia*

### A NEW APPROACH TO SEPARATION SMALL GLACIERS FROM PERENNIAL SNOWFIELDS WHICH IS BASED ON THE DATA ABOUT DURATION OF THE CONTINUOUS EXISTENCE OF GLACIAL AND FIRN OBJECTS (ON THE EXAMPLE OF THE KUZNETSKY ALATAU MOUNTAINS)

To properly assess the changes of geosystems and climate in areas where small forms of glaciation are presented it is necessary to distinguish the objects related to glaciers and objects that associated with snowfields. Overestimation or underestimation of the number of glaciers due to perennial snowfields distorts the true picture of the glacial situation and leads to incorrect climatic and hydrological forecasts. In this article we review principles and approaches to the classification of small glaciers and perennial snowfields and consider the possibility of using the criterion of duration of the continuous existence of glacial and firn objects for solving this problem. The

paper also summarizes meteorological measurements data, field records of 30 glaciers and remote sensing methods (repeated photos, satellite images data) to provide an overview of climate and glacier fluctuations in the Kuznetsky Alatau mountains during the last 40 years. The evidence suggests that for the Kuznetsky Alatau mountains, where more than half of all precipitation falls as snow, warming leads to increase of snowing and amount of accumulated snow mass on the leeward slopes. Since 2005 large cirque glaciers have ceased to decline and shown the trend of area and ice thickness increase. It substantiates the view that large-scale degradation of glaciers that recorded in the area in 2002–2005 can be explained by the fact a large number of perennial snowfields were erroneously classified as glaciers, whereas periodic disappearance of perennial snowfields in unfavorable years is commonplace.

**Keywords:** *Small glaciers, perennial snowfields, Kuznetsk Alatau mountains.*

## REFERENCES

- Adamenko M.M., Gutak Ya.M. *Dinamika lednikov i mnogoletnih snezhnikov Kuzneckogo Alatau v XIX-XXI stoletiyah* [The dynamics of glaciers and perennial snowfields of the Kuznetsk Alatau mountains in the XIX-XXI centuries] // *Izvestiya Altajskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva*. Proceedings of the Altai department of the Russian Geographical Society. 2015a. № 4. pp. 8–36. In Russian
- Adamenko M.M., Gutak Ya.M. *Novye dannye o dinamike i sovremennom sostoyanii lednikov Kuzneckogo Alatau* [New data on the dynamics and current state of the Kuznetsk Alatau glaciers] // *Priroda i ehkonomika Kemerovskoy oblasti i sopredel'nyh territorij / Sbornik nauchnykh trudov / pod red. V.A. Ryabova*. Novokuznetsk. in-t, Fil. Kemerov State University. Novokuznetsk, 2015b. pp. 14–17. In Russian
- Adamenko M.M. *Ispol'zovanie dendrokhronologicheskikh dannykh dlya rekonstrukcii kolebanij lednikov Kuzneckogo Alatau* [Use of dendrochronological data for the reconstruction of the glacier fluctuations of the Kuznetsk Alatau] // *Bulletin of Tomsk State University*, 2012. № 362. pp. 163–165. In Russian
- Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Alexandrov T.M. *Opisanie massiva dannykh sutochnoy temperatury vozduha i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stancyah 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]. Certificate of state database registration: 2014620942. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>
- Ganyushkin D.A., Moskalenko I.G., Chistyakov K.V. *Dinamika mnogoletnih snezhnikov i snezhno-firnovykh polej massiva Mogun-Tajga* [Dynamics of perennial snowfields and snow-firn fields of the Mogun-Taiga massif] // *Vestnik SPbGU*. Ser. 7. 2012. V. 4, pp. 164–175. In Russian
- Glazyrin G.E. *Rezhim sushchestvovaniya mnogoletnih snezhnikov – pochtly lednikov* [The regime of existence of perennial snowfields which are close to glaciers] // *Voprosy gornoj glyaciologii*. Tomsk: Izd-vo TGU, 1977. pp. 80–91. In Russian
- Glaciologicheskij slovar* [Glaciological Dictionary] / pod red. V.M. Kotlyakov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 528 p. In Russian
- Kovalenko N.V. *Sovremennoe sostoyanie malyx lednikov Kuzneckogo Alatau i Plato Putorana* [The current state of small glaciers of the Kuznetsky Alatau mountains and Putorana plateau] // *Bulletin of Moscow University*. 2008. 3 (5). pp. 67–71. In Russian
- Kovalenko N.V. *Rechim i evolutsia malih form oledeneniya* [Mode and the evolution of small forms of glaciation]. PhD manuscript, Moscow: MGU, 2008. 207 p. In Russian
- Katalog lednikov SSSR*. [Catalogue of glaciers of the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981. 15. 44 p. In Russian
- Lyubimov B.P. *O mekhanizme nival'nykh processov* [About the mechanisms of nival processes] // *Podzemnyj led*. Vypusk III. Moscow: Izd-vo MGU, 1967. pp. 158–175. In Russian
- Oledeneniye Urala* [Glaciation of the Urals] / L.S. Troitsky, V.G. Hodakov, V.I. Mihaliov et al. Moscow: Nauka Press, 1966. 307 p. In Russian
- Osokin N.I. *Snezhniki i snezhnikovye sistemy nizko- i srednegornyykh rajonov SSSR* [Snowfields and snow systems of low- and mid-mountain regions of the USSR]. Moscow: izd. Nauka, 1981. 72 p. In Russian
- Revyakin V.S. *Sovremennoe sostoyanie problemy malyx lednikov* [The current state of the problem of small glaciers] // *Materialy glyaciologicheskikh issledovaniy*. 1970. Vyp. 17. pp. 88–94. In Russian
- Syubaev A.A., Kovalev E.A. *Sovremennoe sostoyanie oledeneniya Kuznetskogo Alatau i ego dinamika vo vtoroy polovine XX veka* [Current status of glaciers Kuznetsky Alatau and its dynamics in the second half of the XX century]. *Priroda i ehkonomika Kuzbassa*. Novokuznetsk, 2004. 9 (2). pp. 41–49. In Russian
- Thronov M.V. *O nekotorykh geograficheskikh priznakakh klimata v vysokogornoy mestnosti* [Some geographic features of climate in the highlands of the Altai] // *Glyatsiologiya Altaya*. 1964. 3. pp. 12–51. In Russian
- Chistyakov K.V., Ganyushkin D.A., Kurochkin Y.N. *Sovremennoe sostoyanie i dinamika nival'no-glyacial'nykh sistem massivov Mongun-Tajga i Tavan-Bogdo-Ola* [Present state and dynamics of glacio-nival systems of Mongun-Taiga and Tavan-Bogdo-Ola] // *Lyod i Sneg*, 2015. № 1 (129). pp. 49–60. doi: 10.15356/IS.2015.01.05
- Spin P.S. *Oledeneniye Kuzneckogo Alatau* [Glaciation of the Kuznetsky Alatau mountains]. Moscow: Nauka Press, 1980. 83 p. In Russian
- Spin P.S. *O snezhnom pokrove i kolichestve osadkov v yuzhnoy chasti Kuznetskogo Alatau* [About snowpack and precipitation in the southern part of the Kuznetsky Alatau] // *Glyacioklimatologiya zapadnoy Sibiri*. 1975. pp. 74–88. In Russian
- Adamenko M.M., Gutak Y.M., Solomina O.N. *Glacial history of the Kuznetsky Alatau Mountains* // *Environmental Earth Sciences*. 2015. T. 74. No. 3. pp. 2065–2082.
- Landsatlook Viewer. URL: [landsatlook.usgs.gov/viewer.html](http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html)
- Tsuchiya I. A very small glacier on Mt. Chokai, Japan, 1972–1981. *Geographical Review of Japan*, 57 (Ser. B). No. 2. 1984. pp. 142–153.

## Author's:

**Adamenko Marina M.**, Cand. Sci. (Geograph.), Associate Professor, Department of Geology of Surveying and Life Safety, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia.

E-mail: [adamenko.marina@gmail.com](mailto:adamenko.marina@gmail.com)

**Gutak Jaroslav M.**, Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Director of Institute of Mining and Geosystems, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia. E-mail: [gutakjaroslav@andex.ru](mailto:gutakjaroslav@andex.ru)