

УДК 551.324

Современные изменения горных ледников на южном склоне Джунгарского Алатау

© 2014 г. А.Л. Кокарев, И.Н. Шестерова

Институт географии Министерства образования и науки Республики Казахстан, Алматы
kokarev60@mail.ru

Present-day changes of mountain glaciers on the southern slope of the Dzhungarian Alatau range

A.L. Kokarev, I.N. Shesterova

Institute of Geography, Ministry of Education and Science, Almaty, Republic of Kazakhstan

Статья принята к печати 19 июня 2014 г.

Геоинформационные системы, космические снимки, ледниковые системы, оледенение, прогноз деградации оледенения, Джунгарский (Жетысу) Алатау. Dzhungarian (Zhetysu) Alatau, forecast of glaciers degradation, geoinformation systems, glacial systems, glaciation, space images.

Оледенение южного склона Джунгарского (Жетысу) Алатау на 2011 г. оценено по результатам оперативных космических съёмок сенсорами Landsat 7 ETM+ с применением цифровых моделей рельефа (ASTER GDEM). Определены морфологические характеристики ледников, современных моренных комплексов и приледниковых озёр. Для оценки изменения оледенения использованы данные этой ледниковой системы из Каталогов 1956, 1972, 1990 и 2000 гг. По состоянию на 2011 г. в Южной Джунгарии зарегистрировано 500 ледников с общей площадью открытой части 120,1 км². Общая площадь морен составила 105,6 км², а объёма открытого льда – 4,6 км³. На территории Южной Джунгарии установлено 190 приледниковых озёр суммарной площадью 6,0 км², из них 19 озёр относятся к особо прорывоопасным (их общая площадь 2,5 км²). За 55 лет площадь оледенения Южной Джунгарии сократилась на 47,4%, что в среднем составило 0,86% в год. В последние годы темпы деградации значительно снизились по сравнению с более ранними периодами. На основе выявленных тенденций дан прогноз изменения площади оледенения Южной Джунгарии до конца текущего столетия.

Glacierization of southern slope of the Dzhungarian Alatau range as of 2011 was estimated using results of cosmic surveys by the Landsat 7 satellite (sensor ETM+) and digital models of the relief (ASTER GDEM). Data from Glacier Inventories of 1956, 1972, 1990, and 2000 were also used for this estimation. For the last 55 years the glacierization area in the Southern Dzhungaria was reduced by 47.4%. Changes the glacierization area of South Dzhungaria are predicted up to end of current century.

Введение

Дефицит водных ресурсов считается одной из наиболее актуальных проблем для стран с засушливым климатом, а для многих регионов Центральной Азии таяние горных ледников – один из основных источников пресной воды в летний период. Продолжающаяся деградация оледенения в результате изменения климата создаёт новые проблемы для населения и экономики этого региона. И здесь очень важен гляциологический прогноз, который делается на основе мониторинга ледников [7]. Под гляциологическим мониторингом понимается система повторных наблюдений, оценки, контроля и прогноза состояния ледников, а также выяснение их роли в изменениях природной среды. Данная работа служит продолжением регионального мониторинга ледниковой системы Южной Джунгарии [1, 2, 4, 5].

Результаты исследования оледенения южного склона Джунгарского Алатау отражены в первом Каталоге ледников СССР [13]. Бассейны крупных рек Хоргос и Усек и более мелких – Чижин, Тышкан и Бурхан занимают западную часть Южного Центрального хребта (Токсанбай) Джунгарского Алатау и хребты Тышкантау и Итчеку (рис. 1, а). Протяжённость Южного Центрального хребта с

запада на восток в пределах границ данного района достигает 112 км. Оледенение здесь распространено в пределах 44°30'–44°50' с.ш. и 79°25'–80°30' в.д. Современная оро- и гидрографическая сеть бассейнов рек, расположенных на южном склоне Джунгарского Алатау, определяется особенностями тектонического строения хребта – системой горстов и грабенов широтного простирания, а также историей развития эрозионной сети, которая формировалась вразрез простиранию основных тектонических разломов. В своих истоках реки имеют сильно разветвлённую гидрографическую сеть, но затем, собираясь в один общий поток, прорываются через систему широтных хребтов-горстов и выходят на предгорную равнину [13].

Этапы мониторинга и методы исследования

Основой для определения морфометрических характеристик горно-ледниковых систем служит первая аэрофотосъёмка Джунгарского Алатау, выполненная в 1956 г. Материалы этой съёмки легли в основу первого Каталога ледников бассейнов рек Хоргос и Усек, составленного П.А. Черкасовым [13]. На основе новых топографических карт масштаба 1:25 000 и данных аэрофотосъёмки 1972 г. П.А. Черкасов составил

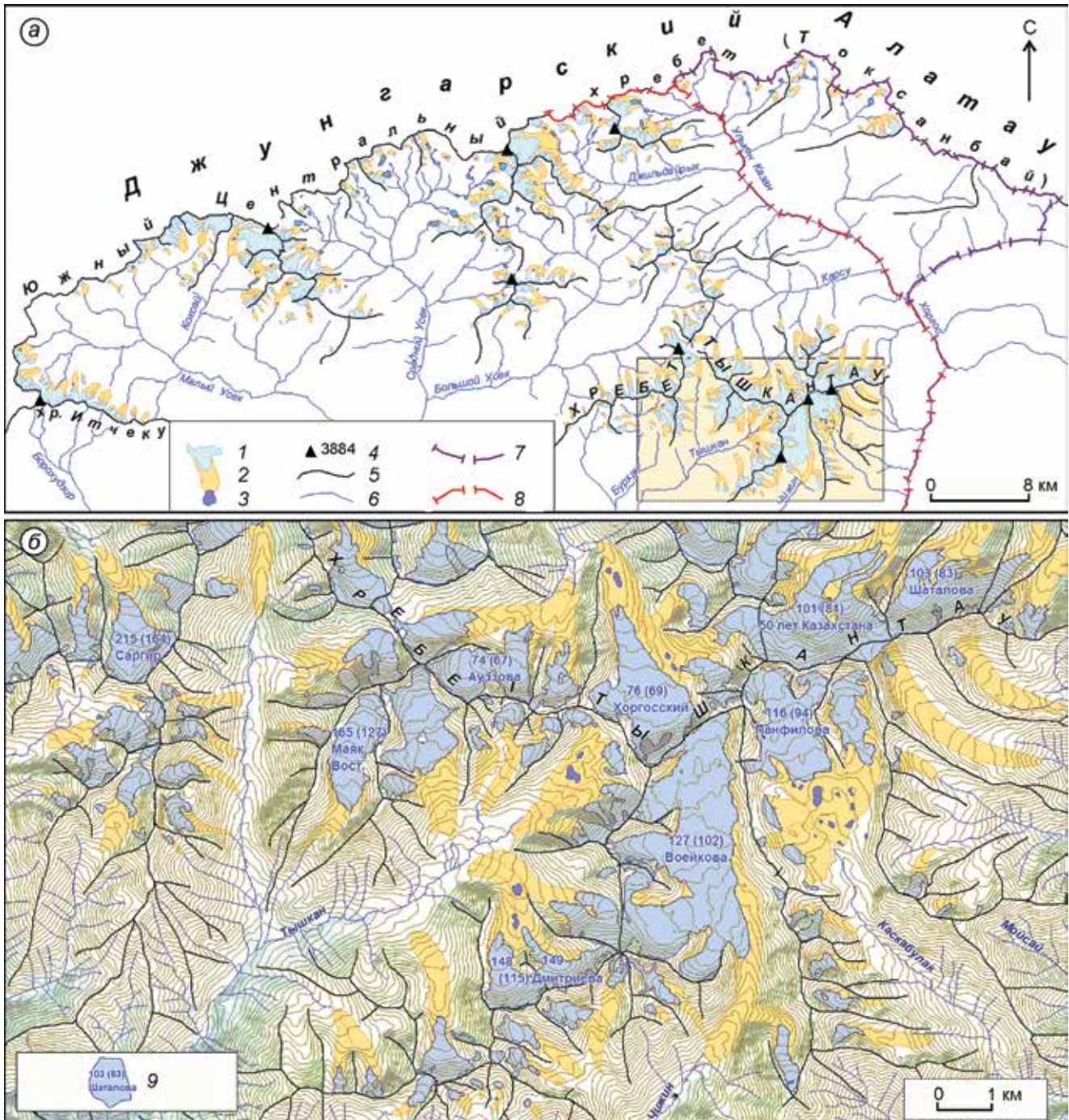


Рис. 1. Орогидрографическая схема южной части Джунгарского Алатау (а) и фрагмент карты оледенения по состоянию на 2011 г. (б):

1 – ледники; 2 – современные морены; 3 – озёра; 4 – вершины; 5 – хребты; 6 – реки; 7 – государственная граница с КНР до 1994 г.; 8 – современная государственная граница с КНР; 9 – номера ледников и их названия, в скобках – номера ледников в 1956 г.

Fig. 1. Geographical scheme of the southern part of Dzungarian Alatau (a) and fragment of map of glaciation for 2011 (b):

1 – glaciers; 2 – recent moraines; 3 – lakes; 4 – tops; 5 – ranges; 6 – rivers; 7 – state border with China before 1994; 8 – recent state border with China; 9 – numbers of glaciers and their name, in brackets – numbers of glaciers in 1956

второй Каталог ледников Джунгарского Алатау, а итоговые таблицы опубликованы в работах [12, 16]. Первый этап составления третьего Каталога

ледников южной части Джунгарского Алатау по состоянию на 1990 г. также выполнен П.А. Черкасовым. По материалам аэрофотосъёмки с по-

мощью стереофотограмметрического прибора СПР-3М на топографические карты масштаба 1:25 000 и 1:50 000 были нанесены контуры ледников и морен (современных и стадии фернау) по состоянию на 1990 г. [12]. Следующий этап работы над этим Каталогом ледников, который выполняли авторы настоящей статьи, предусматривал обработку картографического материала на основе ГИС-технологий. Топографические карты трансформировались в проекцию UTM WGS84. С помощью ГИС-программы MapInfo картографическую информацию переводили в цифровой формат и рассчитывали площадь и длину ледников, конечных и боковых морен, секторов ледников по высотным интервалам, а также определяли высотные отметки характерных точек ледников согласно рекомендациям [10]. Результаты измерений заносились в таблицы MapInfo, которые служили основой для формирования таблиц Каталога [4]. Картографическую основу состояния ледников на 2000 г. (четвёртый Каталог) составляет оперативная космическая съёмка Landsat 7 ETM+ за 04.09.2000 г. Данный тип космической информации позволил выделить ледники, моренные комплексы, озёра и другие объекты гляциологического мониторинга на момент съёмки [5].

В 2013 г. была опубликована монография, посвящённая оледенению Джунгарского Алатау [1], где также приводятся основные морфометрические показатели состояния ледников на 1990 и 2000 гг. Однако в нашем случае район исследования несколько отличается. В новый Каталог по состоянию на 2011 г. включены 30 ледников, в настоящее время относящихся к территории КНР, но входящих в Каталоги 1956, 1972, 1990 и 2000 гг. (границы были изменены в середине 1990-х годов). Поэтому данные этой монографии не использовались. Новый Каталог ледников Южной Джунгарии по состоянию на 2011 г. составлен на основе обработки космических снимков Landsat ETM+ на следующие даты: 19.08.2011; 03.09.2011; 09.11.2011; 20.08.2012. Наземное разрешение снимков Landsat составляет 30 м, разрешение с использованием панхроматического изображения – 15 м. Для вычисления статистических характеристик рельефа и в некоторых случаях определения морфологических типов ледников использованы топографические карты и цифровая модель рельефа ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model). Применена система координат UTM WGS84.

Обработка снимка и его дешифрирование проведены по методикам, подробно изложенным в

работах [4–6] с применением программ ENVI, ERDAS Imagine и MapInfo. Для уменьшения ошибки дешифрирования использовались панхроматические изображения, выбирались также мультиспектральные изображения, максимально удовлетворяющие задачам проекта, выполнялись различные виды коррекций. Построение контуров ледников вели вручную по растровой подложке. Сопоставление контуров ледников на разных по времени снимках позволило установить наиболее точные границы ледников на момент съёмки. Кроме картографирования границ ледников, проведено дешифрирование моренных комплексов (современных и стадии фернау), имеющих отчётливые дешифровочные признаки (светлый тон окраски, хорошую выраженность в рельефе). Для разных объектов применялись разные мультиспектральные псевдоцветные синтетические изображения, полученные с разным сочетанием каналов.

Важный параметр в оценке оледенения – объём горных ледников. При сравнении и анализе существующих методик расчёта выбраны формулы, приведённые в работах [8, 15] и полученные при исследовании оледенения Джунгарского Алатау. Большинство оценок объёма льда в ледниковых системах предыдущих Каталогов (по состоянию на 1972, 1990 и 2000 гг.) даётся по этим формулам, учитывающим морфологические типы горных ледников. Средняя многолетняя высота фирновой линии (границы питания) на всех ледниках района рассчитывалась как средняя взвешенная по площади высотных зон по методу Куровского.

Результаты исследований

По состоянию на 2011 г. в Южной Джунгарии зафиксировано 500 ледников общей площадью 120,12 км². Из них 284 ледника (57% общего числа) имеют площадь меньше 0,1 км², общая площадь этих ледников составляет 9,01 км² (лишь 8% общей площади оледенения). Площадь морен равна 105,60 км². Объём открытого льда – 4,649 км³. Для сравнения, в Каталоге [13] по состоянию на 1956 г. приводится 460 ледников с общей площадью открытой части 228,40 км² и объёмом льда 9,6 км³. Площадь морен – 45,8 км². Фрагмент ГИС-карты оледенения показан на рис. 1, б, а общие характеристики оледенения (число, площадь и объём ледников, площадь морен, а также отметки высот ледников) в основных бассейнах Южной Джунгарии по состоянию на 2011 г. приведены в табл. 1. Согласно расчётам, высота фирновой линии лед-

Таблица 1. Параметры оледенения основных бассейнов Южной Джунгарии по состоянию на 2011 г.

Бассейн реки	Число	Чистый лёд		Площадь морен, км ²	Высота открытой части оледенения, м над ур. моря		Высота фирновой линии, м
		площадь, км ²	объём, км ³		min	max	
Хоргос: китайская часть	30	3,48	0,135	3,77	3400	4100	3736
	казахстанская часть	124	38,11	1,509	3210	4400	
Чижин	17	8,72	0,500	3,96	3260	4160	3679
Тышкан	53	13,18	0,434	10,90	3290	4177	
Бурхан	4	0,42	0,013	0,38	3420	3970	
Усек	272	56,21	2,058	51,47	3245	4200	3649
<i>Всего</i>	500	120,12	4,649	105,60	3210	4400	3685

ников Южной Джунгарии составляет 3685 м. По сравнению с 1956 г. (3645 м) она поднялась на 40 м. Максимальное значение этого параметра характерно для восточной части района (бассейн р. Хоргос, 3736 м), минимальное – для запада (бассейн р. Усек, 3649 м). При этом наибольшее увеличение *ELA*, наоборот, наблюдается в западной части района, а наименьшее – в восточной.

Основная часть ледников (64%), а соответственно, и площади (64%), и объёма оледенения (62%) приходится на склоны северной, северо-восточной и северо-западной экспозиций. На склонах южной, юго-восточной и юго-западной экспозиций экспонировано 15% ледников (21% площади и 23% объёма); на восток ориентировано 14% ледников (12% площади и 12% объёма), а на запад – только 7% (3% площади и 3% объёма). Ледники рассматриваемой территории в соответствии с рекомендациями в работах [8, 14] были разделены на три группы: ледники основных долин; ледники всياчих долин и каров; всياчие ледники. Наибольшее число ледников (49%) относится к последней группе, однако по площади эти ледники составляют лишь 7% оледенения, а по объёму льда – 3%. Довольно многочисленную группу образуют ледники всياчих долин и каров (карово-долинные, каровые, карово-висячие, асимметричные каровые, всياчие каровые и шлейфовые) – 43% общего количества. На их долю приходится 47% площади и 49% объёма оледенения. Ледники основных долин (долинные, сложные долинные, асимметричные долинные и котловинные) составляют лишь 8% общего числа, занимают 46% площади и содержат 48% объёма оледенения Южной Джунгарии.

По площади ледники южной части Джунгарского Алатау распределяются следующим образом: 1) мелкие ледники (< 0,1 км²) заметно пре-

обладают по количеству (57%), но по площади занимают лишь 8%, а по объёму оледенения – 4% оледенения региона; 2) наиболее представительна группа ледников площадью 0,1–1 км² – 39% по количеству, около 55% по площади и 52% по объёму льда; 3) на долю 14 ледников площадью 1–2 км² (3%) приходится 16% общей площади оледенения; 4) шесть ледников (чуть больше 1% общего числа) размером 2–5 км² составляют 16% площади и почти 19% объёма оледенения; 5) только один ледник в Южной Джунгарии – Воейкова – имеет площадь > 5 км² (7,14 км²), он составляет чуть меньше 6% общей площади оледенения и в нём сосредоточено около 10% общего объёма льда Южной Джунгарии.

Изменение оледенения

Имеющиеся данные позволяют предварительно проанализировать изменения основных параметров оледенения между годами составления Каталогов ледников 1956, 1972, 1990, 2000 и 2011 гг. Из табл. 2 видно, что основная часть оледенения в Южной Джунгарии сосредоточена в ледниках размером 0,1–0,9 км². С 1956 по 2011 г. площадь оледенения на ледниках такого размера постоянно увеличивалась относительно года инвентаризации. По абсолютным значениям наблюдается уменьшение числа и площади ледников всех градаций, кроме ледников менее 0,1 км². Число и площадь этих ледников постоянно колеблются не только в результате деградации более крупных и исчезновения мелких, но и в зависимости от качества снимков и погрешности дешифрирования, которая в данном случае имеет наибольшее значение [9].

Анализ изменения площади оледенения в зависимости от морфологических типов ледников показал, что сократились площади ледников всех типов. При сравнении ледников разных Ка-

Таблица 2. Изменение числа (n) и площади открытой части ледников Южной Джунгарии с 1956 по 2011 г. в зависимости от их размеров

Размер ледника, км ²	1956 г.	1972 г.	1990 г.	2000 г.	2011 г.	1956–2011 г.	
	$n/\text{км}^2$ *	$n/\text{км}^2$	$n/\text{км}^2$	$n/\text{км}^2$	$n/\text{км}^2$	Δn	км ² /%**
< 0,1	127/7,6	142/10,0	287/9,9	251/7,8	284/9,0	157	1,4/18,6
0,1–0,9	266/94,0	259/91,5	208/71,5	202/67,5	195/65,7	-71	-28,3/-30,2
1,0–1,9	48/61,0	33/42,6	28/37,7	22/28,8	14/19,7	-34	-41,3/-67,7
2,0–4,9	16/41,9	11/30,1	8/21,8	6/19,5	6/18,6	-10	-23,3/-55,5
≥ 5,0	3/23,9	3/20,0	2/12,6	1/7,2	1/7,1	-2	-16,8/-70,1
<i>Всего</i>	460/228,4	448/194,2	533/153,5	482/130,8	500/120,1	40	-108,3/-47,4
≥ 0,5	146/178,4	105/134,7	81/102,5	74/87,5	66/77,2	-80	-101,2/56,7
< 0,5	314/50,0	343/59,5	452/51,0	408/43,3	434/42,9	120	-7,1/-14,2

*В числителе – число ледников, в знаменателе – площадь ледников; **в числителе – изменение площади ледников, км², в знаменателе – то же, %.

талогов по морфологическим параметрам установлены некоторые несоответствия. Так, при повторной каталогизации нередко меняются морфологические типы и экспозиция отдельных ледников. Для выявления таких ошибок мы сравнили данные Каталогов за 1956 и 1972 гг., составленных под руководством П.А. Черкасова [12, 13, 16]. Отметим, что именно в этот период изменения морфологических типов и экспозиции ледников были наиболее значительными по сравнению с Каталогами, изданными в последующие годы. В результате анализа в Южной Джунгарии в период с 1956 по 1972 г. изменили морфологический тип 59 ледников (в 1956 г. их суммарная площадь составляла 39,4 км², или 18%, а в 1972 г. – 29,612 км², или 16%). В этот же период поменяли экспозицию 63 ледника (в 1956 г. их суммарная площадь составляла 57,6 км², или 26%, а в 1972 г. – 45,917 км², или 25%). Например, сложно-долинный ледник 102 (Воейкова), самый большой в Южной Джунгарии, поменял экспозицию с южной на юго-восточную [16]. Эта поправка – уточнение ошибочно определённой экспозиции в 1956 г. Такие значительные изменения не позволяют достоверно сравнить ледники разных временных Каталогов оледенения по морфологическим типам и экспозициям. В основном изменения происходят внутри групп ледников одного типа: долинных, каровых и висячих. При сравнении по морфологическим типам (рис. 2) сильнее всего за 1956–2011 гг., несмотря на увеличение количества, сократились площадь и объём ледников висячего типа.

Как уже отмечалось, большая часть ледников в Южной Джунгарии имеет северную экспозицию (рис. 3). Потеря площади за 1956–2011 гг. в абсо-

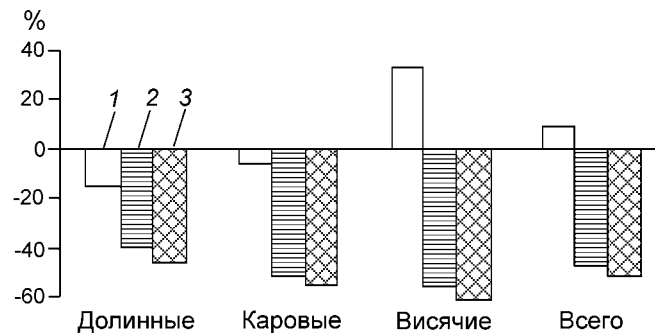


Рис. 2. Изменение параметров оледенения южной части Джунгарского Алатау в зависимости от морфологического типа ледников (1956–2011 гг.)

1 – число; 2 – площадь; 3 – объём

Fig. 2. Change of glaciations of the southern part of Dzhungarian Alatau depending on morphological type of glaciers (1956–2011)

1 – amount; 2 – area; 3 – volume

лютном и относительном выражении здесь также значительнее всего: $-32,4 \text{ км}^2$ ($-61,4\%$). Сильно уменьшились и ледники восточной и юго-восточной экспозиций (соответственно 55,0 и 41,7%). Меньше всего сократились ледники южной экспозиции (22,9%). Скорость сокращения площади открытой части оледенения в последнее десятилетие заметно уменьшилась, а по сравнению с предыдущим десятилетием сократилась практически вдвое (табл. 3). В целом за 55 лет (1956–2011 гг.) площадь оледенения Южной Джунгарии сократилась на 47%, теряя в среднем 0,86% в год. Объём ледников этого региона уменьшился за это время почти на 52%, ежегодно сокращаясь в среднем на 0,94%.

Графики изменения скорости сокращения площади оледенения Южной Джунгарии приведены на рис. 4. Одна кривая отображает временной ход сокращения всего оледенения,

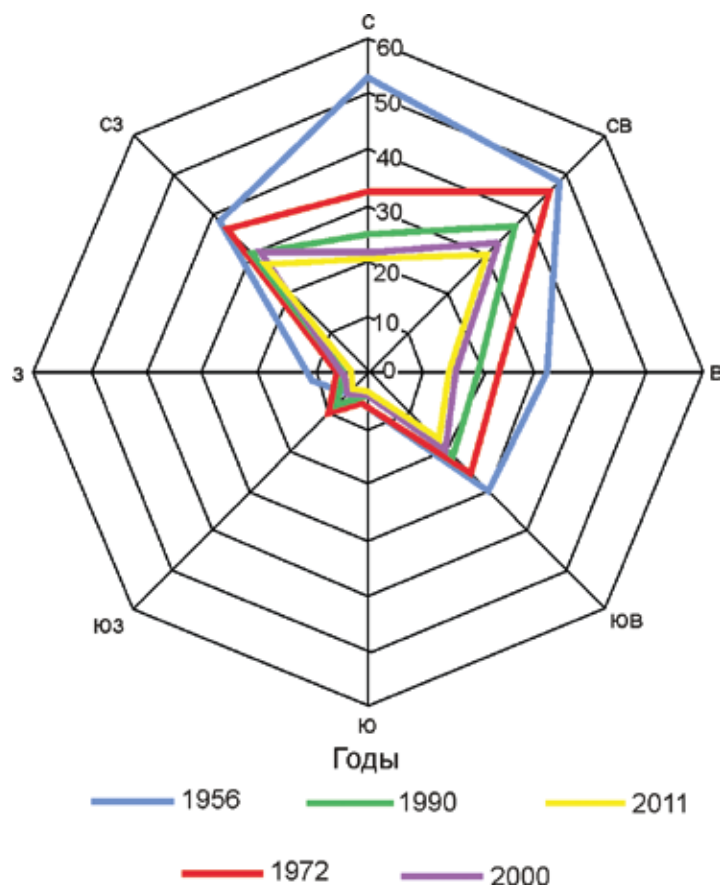


Рис. 3. Изменение площади оледенения Южной Джунгарии в зависимости от экспозиции ледников, км²
Fig. 3. Change of glaciation area in the southern part of Dzhungarian Alatau depending on exposition of glaciers, km²

Таблица 3. Изменение площади и объёма открытой части ледников Южной Джунгарии по периодам между годами составления Каталогов оледенения

Период, годы	Изменение площади за весь период		Сокращение площади за год		Изменение объёма		Сокращение объёма за год	
	км ²	%	км ²	%	км ³	%	км ³	%
1956–1972	-34,2	-15,0	-2,1	-0,94	-1,49	-15,52	-0,1	-0,97
1972–1990	-40,7	-21,0	-2,3	-1,16	-1,97	-24,29	-0,11	-1,35
1990–2000	-22,7	-14,8	-2,3	-1,48	-0,95	-15,47	-0,09	-1,54
2000–2011	-10,7	-8,2	-1,0	-0,74	-0,54	-10,40	-0,05	-0,95
1956–2011	-108,3	-47,4	-2,0	-0,86	-4,95	-51,56	-0,09	-0,94

вторая – сокращение ледников площадью больше 0,5 км² (согласно рекомендациям, данным в статье по оценке изменений ледников на Алтае [9]). Видно, что скорость сокращения ледников площадью более 0,5 км² в большинстве случаев выше скорости изменения площади всех ледников, так как, сокращаясь и распадаясь, ледники из большей градации попадали в меньшую, что, в свою очередь, замедляло сокращение оледенения, а иногда и увеличивало его площадь, например

в группе ледников меньше 0,5 км² (см. табл. 2). Наибольшее расхождение между значениями наблюдается в 1956–1972 гг. и, вероятно, вызвано завышенной оценкой крупных ледников и недоучетом мелких. Данный факт уже отмечался авторами монографии [1]. Максимальных значений скорость сокращения всей площади оледенения Южной Джунгарии за рассматриваемый период достигает в 1990-х годах и значительно снижается в последующее десятилетие. Это несколько от-

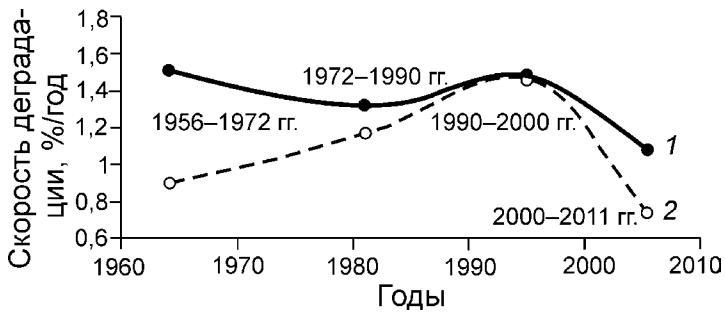


Рис. 4. Изменение скорости деградации оледенения южной части Джунгарского Алатау: 1 – площадь ледников > 0,5 км²; 2 – площадь всех ледников

Fig. 4. Change of speed of degradation of glaciations of Southern Dzhungarian Alatau:

1 – area of glaciers ≥ 0,5 km²; 2 – total area of glaciers

личается от динамики аналогичного параметра в Заилийском Алатау, где наивысшие значения наблюдались в середине 1970-х годов [11].

Средняя скорость сокращения площади оледенения Южной Джунгарии вполне сопоставима со скоростью сокращения оледенения северного склона Заилийского Алатау, где она, по данным мониторинга [6] за 53 года (1955–2008 гг.), составляла около 0,8% в год. В других регионах казахстанской Джунгарии (каталогизация которых также проведена в нашей лаборатории по состоянию на 2011 г.) сокращение площади оледенения колеблется от 0,8% в год в западной и северной частях до 1% в год в северо-восточной (бассейны рек Тентек и Ргайты). За 55 лет исследуемого периода полностью исчезло 105 ледников (их общая

площадь в 1956 г. составляла около 12 км²). Растаявшие ледники относились главным образом к висячим, хотя среди них были и плосковершинные, карово-висячие, висячие каровые и каровые. Около 76% из них в 1956 г. располагались в своеобразной «зоне риска» – ниже фирновой линии или на открытых склонах.

Согласно прогнозу, сделанному ранее [1, 2] и основанному на расчётных значениях объёма и баланса массы оледенения в реперные годы, оледенение Южной Джунгарии (при сохранении выявленной скорости деградации) к 2076 г. практически исчезнет. Полученное значение хорошо согласуется с прогнозом П.А. Черкасова [14], основанном на скорости изменения массы льда в ледниках. По его расчётам, ледники Южной Джунгарии прекратят

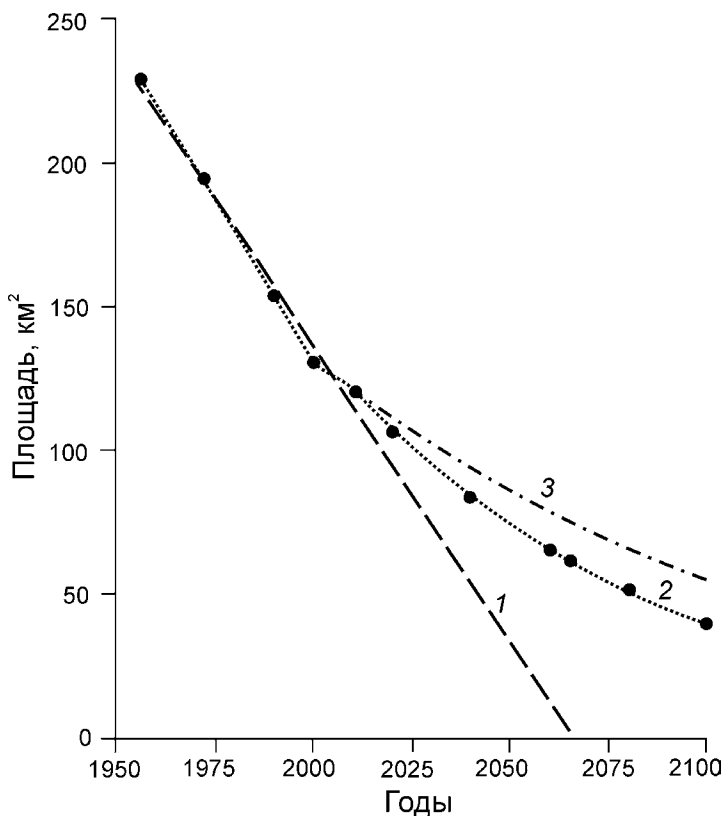


Рис. 5. Прогноз деградации оледенения Южной Джунгарии на основе выявленных тенденций:

1 – линейный (по прямой); 2 – по экспоненте; 3 – по формуле сложных процентов

Fig. 5. Forecast of degradation of glaciation in the southern part of Dzhungarian Alatau on the basis of the revealed tendencies:

1 – linear (in the direct line); 2 – exponentially; 3 – by compound interest formula

существовать к 2070 г., теряя при этом ежегодно 0,96% своей массы. Прогноз, основанный на экстраполяции графика изменения площади оледенения, выраженного прямой, также подтверждает исчезновение оледенения к 2070 г. (рис. 5).

Учитывая выявленную тенденцию сокращения скорости деградации за последнее десятилетие, можно воспользоваться методикой прогноза, предложенной Г.Е. Глазыриным [3]. Данная методика основана на применении формулы сложных процентов, учитывающей снижение скорости деградации оледенения при уменьшении его площади. Согласно расчётам по данной формуле (см. рис. 5), оледенение Южной Джунгарии может сохраниться до конца текущего столетия и составить к 2100 г. 24% первоначального значения. Наилучшим же образом изменение площади оледенения по годам на рис. 5 аппроксимируется экспонентой. Согласно прогнозу, сделанному на основе уравнения экспоненты, оледенение Южной Джунгарии к 2100 г. составит 18% первоначального значения (1956 г.). Картографирование оледенения южного склона Джунгарского Алатау позволило оценить не только размеры ледников и морен региона, но и установить в гляциальной и перигляциальной зонах природные объекты, которые могут способствовать возникновению разрушительных селей и неблагоприятным проявлениям динамики криолитозоны. Например, на карте оледенения выделено 19 приледниковых озёр общей площадью 6 км², из них 19 озёр – особо прорывоопасные (общая их площадь – 2,5 км²). Их изучение и мониторинг с использованием дистанционных методов поможет прогнозу схода гляциальных селей.

Заключение

В результате мониторинга и составления повторных Каталогов оледенения Южной Джунгарии подтверждены выводы о продолжающейся деградации региона. За 55 лет (1956–2011 гг.) полностью исчезло 105 ледников (их общая площадь в 1956 г. составляла около 12 км²). За этот период площадь оледенения Южной Джунгарии сократилась на 47%, т.е. на 0,86% за год. Скорость сокращения площади открытой части оледенения в последнее десятилетие заметно снизилась. Так, по сравнению с предыдущим десятилетием она уменьшилась практически в 2 раза. Вероятно, это связано не с изменением климатических условий, а с «перемещением» ледников на большие высоты за счёт их уменьшения [2]; кроме того, оставшиеся ледники занимают более затенённые

«укромные» формы рельефа. В результате деградации оледенения крупные ледники распадаются на части и, как следствие, значительно увеличивается их число, меняются морфологический тип и экспозиция. Это необходимо учитывать при различных сравнениях параметров оледенения по годам инвентаризации. Согласно прогнозу, ледники Южной Джунгарии при сохранении современных климатических условий, возможно, к концу текущего столетия ещё сохранятся, хотя их площадь будет составлять не более 24% площади оледенения в 1956 г.

Работа выполнена в рамках прикладных фундаментальных исследований лаборатории гляциологии «Современная динамика и прогноз оледенения и снежности Юго-Восточного Казахстана с применением ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования» (№ ГР 0112РК00572, руководитель темы – академик НАН РК И.В. Северский) в Институте географии Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Литература

1. Вилесов Е.Н., Морозова В.И., Северский И.В. Оледенение Джунгарского (Жетысу) Алатау: прошлое, настоящее, будущее. Алматы: изд. КазНУ, 2013. 244 с.
2. Вилесов Е.Н., Северский И.В. Деградация оледенения Джунгарского (Жетысу) Алатау во второй половине XX в. // Лёд и Снег. 2013. № 2 (122). С. 12–20.
3. Глазырин Г.Е., Шестерова И.Н. Некоторые особенности оледенения китайской части бассейна р. Или // Географическая наука в Казахстане: результаты и пути развития (к 60-летию ИГ НАН РК). Алматы: Гылым, 2000. С. 67–78.
4. Кокарев А.Л., Шестерова И.Н. Деградация оледенения Жетысу (Джунгарского) Алатау (Бассейны рек Коргаса, Осека) в период с 1956 по 1990 год // География в современном мире: теория и практика: Материалы междунар. науч.-практ. конф.). Ташкент: изд. Нац. Ун-та Узбекистана, 2006. С. 308–310.
5. Кокарев А.Л., Шестерова И.Н. Современное состояние оледенения и погребённых льдов Южного Жетысуского (Джунгарского) Алатау // Вопросы географии Сибири. 2009. Вып. 27. С. 62–67.
6. Кокарев А.Л., Шестерова И.Н. Изменение ледниковых систем северного склона Заилийского Алатау во второй половине XX и начале XXI вв. // Лёд и Снег. 2011. № 4 (116). С. 39–46.
7. Котляков В.М. Ресурсы льда, сток с ледников и уровень Мирового океана // Достижения в области гидрометеорологии и контроля природной среды. Л.: Гидрометеоздат, 1987. С. 280–305.
8. Мачерет Ю.Я., Черкасов П.А., Боброва Л.И. Толщина и объём ледников Джунгарского Алатау по данным аэро-радиозондирования // МГИ. 1988. Вып. 62. С. 59–71.
9. Носенко Г.А., Хромова Т.Е., Муравьев А.Я., Нарожный Ю.К., Шахгеданова М.В. Использование исторических данных и современных космических изображений для оценки изме-

- нений размеров ледников на Алтае // Лёд и Снег. 2010. № 2 (110). С. 19–24.
10. Руководство по составлению Каталога ледников СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 154 с.
 11. *Северский И.В.* Современные и прогнозные изменения снежности и оледенения зоны формирования стока и их возможное воздействие на водные ресурсы Центральной Азии // Снежно-ледовые и водные ресурсы высоких гор Азии. Алматы: Комплекс, 2007. С. 180–205.
 12. Современное экологическое состояние бассейна озера Балхаш / Ред. Т.Д. Кудеков. Алматы: Каганат, 2002. 388 с.
 13. *Черкасов П.А.* Ресурсы поверхностных вод СССР. Каталог ледников СССР. Т. 13: Центральный и Южный Казахстан. Вып. 2. Ч. 4. Бассейны рек Хоргоса, Усека. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 77 с.
 14. *Черкасов П.А.* Расчёт составляющих водно-ледового баланса внутриконтинентальной ледниковой системы. Алматы: Каганат, 2004. 334 с.
 15. *Черкасов П.А., Никитин С.А.* К методике расчёта объёма горных ледников по данным наземной и воздушной радиолокационной съёмки (на примере Джунгарского Алатау) // Ледники, снежный покров и лавины в горах Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1989. С. 18–37.
 16. *Черкасов П.А., Ерисковская Л.Н., Каймулдаева К.М., Кусаинова Н.М., Путилина Н.М.* Новый Каталог ледников Джунгарской ледниковой системы в пределах Казахстана // Новые подходы и методы в изучении природных и природно-хозяйственных систем: Докл. междунар. конф. Казахстан, Алматы, 12–13 октября 2000 г. Алматы: изд. КазГУ, 2000. С. 9–15.

Summary

Glacierization of southern slope of the Dzhungarian (Zhetysu) Alatau range was estimated by means of data obtained by operational satellite Landsat 7 surveys on August 19 and September 2011 (sensors ETM+) with the use of digital relief models (ASTER GDEM). Analysis of these materials by means of computer programs ENVI, ERDAS Imagine, MapInfo, and ArcGIS made it possible to obtain a spatial information of glacier systems of the territory under investigation and to define morphological

characteristics of glaciers, present-day moraine complexes, glacier lakes as well as other elements of glacial monitoring at the survey moments. To estimate changes of the glacierization the data from previous Inventories of this glacier system as of 1956 and 1972 (P.A. Cherkasov), 1990 and 2000 (authors of this article) were used. 30 glaciers being now located on the Chine territory but included into the Inventories of 1956 and 1972 (because the boundaries were changed after 1990) were included into new Inventory.

As of 2011, 500 glaciers with total area of their open parts 120.12 km² were registered in Southern Dzhungaria. 124 glaciers (57% of total number) cover area less 0.1 km² each, and their total area is equal to 9.01 km² (8% of total area of the glacierization). Total area of the moraines reached 105.6 km². Volume of open ice calculated by formulas was estimated 4.6 km³. According to calculations, the firn line altitude of the glaciers on the southern slope was equal to 3685 m. As compared to 1956 (3645 m) this line lifted by 40 m. 190 glacier lakes with total area 6.0 km² were found on this territory, among them 19 lakes were classified as especially dangerous for outbursting (their total area – 2.5 km²).

For the last 55 years the glacierization area in the Southern Dzhungaria was reduced by 47.4% or, on the average, by 0.86% in every year. It should be noted that for the several last years, the rate of degradation decreased almost twice as compared to earlier years. The tendencies revealed were used to predict future changes of the glacierization area on southern slope of the Dzhungarian Alatau range by the end of current century. According to this prediction, if the climatic conditions will not change, glaciers of this region will possibly be existing, however, their area will amount not more than 24% of the glacierization area of 1956.