

УДК 551.321/322(574)

**О КАТАЛОГЕ ЛЕДНИКОВ СЕВЕРНОГО СКЛОНА
ЗАИЛИЙСКОГО АЛАТАУ ПО СОСТОЯНИЮ НА 1990 Г**

Доктор геогр. наук

П.А. Черкасов

Л.А. Ерисковская

С.В. Ударцев

Т.В. Солодовникова

Составлен Каталог ледников северного склона Заилийского Алатау по состоянию на 1990 г по планам ледников, построенным по материалам аэрофотосъёмки на СПР-3М. Их площади вычислены компьютерными методами, принятыми в ГИС, а объёмы – по нашей методике, учитывающей морфологию ледников.

В период Международного Гидрологического Десятилетия (МГД) 1965-1974 гг. в Советском Союзе была разработана и реализована программа по созданию Каталога ледников СССР.

Основой для создания Каталога ледников Казахстана использовались топографические карты масштаба 1:100 000, (по материалам аэрофотосъёмки 1955-56 гг.). С помощью контактной печати снимков этой аэрофотосъёмки ледники были вручную откорректированы на картах, с использованием данных полевых экспедиционных исследований.

Такие Каталоги, в том числе и для северного склона хр. Заилийский Алатау [1], были составлены в соответствии с методическими указаниями "Руководства по составлению Каталогов ледников СССР" [2].

В них впервые были помещены достаточно определённые сведения о размерах оледенения на территории СССР.

Первые натурные исследования ледников Казахстана и Средней Азии, выполненные в начале 20 века, показали, что размеры горных ледников Тянь-Шаня, Джунгарского Алатау и Алтая постепенно уменьшаются. Этот процесс стал особенно заметным с 20-х годов 20 века. Он в значительной мере связан с антропогенной деятельностью, которая ведёт к повышению глобальной температуры воздуха. Особенно быстро уменьшение площади и объёма ледников началось с 70-х годов 20 века.

Необходимость оценки запасов льда в горах в конкретные годы с целью составления прогноза его эволюции потребовали повторной ревизии оледенения гор Казахстана. По заданию Института географии АН КазССР в Казахском филиале Всесоюзного института сельскохозяйственных агро-геодезических исследований (ВИСХАГИ) в 1987 г. были составлены в масштабе 1:25 000 топографические планы высокогорной зоны и ледников северного склона Заилийского Алатау по аэрофотосъёмке 1979 г. На этих топопланах в местах расположения ледников, представленных в виде белых пятен, с нетрансформированных аэроснимков вручную срисовывались контуры ледников, которые затем покрывались сетью горизонталей с топографических карт масштаба 1:100 000.

В результате выполненных работ был составлен список ледников по бассейнам рек северного склона Заилийского Алатау с указанием их площади чистой поверхности (без морен) и по высотным зонам с интервалом 100 м [3]. В Казахском филиале ВИСХАГИ этот метод используется для составления планов сельскохозяйственных угодий, расположенных, как правило, на мало расчленённой поверхности. Для этого вида топографических работ его точность достаточна. Но на фотоплане высокогорной зоны, характеризующейся большим расчленением рельефа по вертикали и пестротой светотеней, он не даёт возможности чётко выделить контуры ледников, а мелкие ледники оказываются неопределимыми (об этом на конкретном примере будет сказано ниже). Кроме того, площади ледников, попадая на границы ступенчато трансформированных плоскостей или в их отдельные высотные зоны, оказывались изображенными в разных масштабах. Для целей картирования отдельных ледников в масштабе 1:25 000 этот метод не пригоден, т. к. своей громоздкостью выполнения ряда промежуточных процессов сопровождается большой потерей точности.

На материалах Каталога ледников СССР и ВИСХАГИ был выполнен анализ изменения количества, площади и длины ледников Заилийского Алатау [4].

В начале 80-х годов 20 века были созданы Государственные топографические карты в масштабе 1:25 000 на всю территорию СССР. На основе этих карт, созданных по материалам аэрофотосъёмки 1973-1975 гг., были составлены четыре части Каталога ледников для Заилийско-Кунгейской ледниковой системы [5]. Каталог ледников северного склона Заилийского Алатау содержит сведения о линейных размерах и площади каждого ледника в отдельности, его положении на местности по отноше-



членения рельефа до 1 – 1,5 км по вертикали и расположении объектов чаще всего не в центре снимков, а даже на нескольких снимках, что влечёт за собой большие плановые их искажения, взять на себя смелость что-то вручную нарисовать на топографических картах определённого масштаба и, как пишут сами авторы программы, получать "детальные изображения ледников". По этой, так сказать, не научной методике авторы "построили новые карты" ледников северного склона Заилийского Алатау (которые, правда, не демонстрировались как официальный документ в печати), определили их площади и линейные размеры [7, 8, 9].

Для определения объёма ледников авторы избрали формулу Мазо-Глазырина [11], которая написана для определения объёмов стационарных горных ледников. Неужели авторы не обратили внимание, что сами они пытаются учесть изменения размеров ледников в крайне неустойчивом состоянии оледенения в период его катастрофически быстрого сокращения, т.е. нестационарных условиях. Уже давно установлено [10], что в зависимости от морфологии ледников их объём на единицу площади заметно изменяется. Поэтому по одной формуле рассчитывать объём ледников различных морфологических типов нельзя. К сожалению, по указанным причинам, мы не могли воспользоваться материалами выше названных авторов, для своих исследований и поэтому вынуждены были сами заняться составлением планов ледников и их Каталогов по аэрофотосъёмке 1990 г. Для этой цели мы избрали трудоёмкий, но единственно правильный путь составления планов ледников.

По негативам (размером 18×18 см) аэрофотосъёмки высокогорной зоны Заилийско-Кунгейской ледниковой системы 1990-92 гг. (любезно предоставленным нам Государственным институтом сельскохозяйственных агро-геодезических исследований (ГИСХАГИ)), на модернизированном стереофотограмметрическом приборе СПР-3М (любезно предоставленном РГКП "Картография") нами на топографических картах масштаба 1: 25000 аэрофотосъёмки 1974 г. были составлены планы ледников северного склона Заилийского Алатау по состоянию на 1990 г. На СПР-3М ошибки измерений в пределах одной модели (каждой пары аэрофотоснимков) за счёт инструментальных погрешностей прибора, при увеличении оптической системы 6 и 10^x составляют не более:

- 1/7000 H при определении разности высот точек местности;
- 0,05 мм при определении координат X и Y точек;

- 0,2 мм для проектируемых контуров объектов и горизонталей на оригинале карты.

Расчет площадей ледников, представленных на топографических картах масштаба 1:25000, производился компьютерными методами принятыми в Географических Информационных Системах (ГИС).

Картографическая информация - контуры ледников и морен, а также границы высотных зон далее переводились в цифровую форму для передачи в программный комплекс ГИС (в данном случае использовался пакет ArcView 3.1 компании ESRI), где непосредственно и проводилось определение площадей. Создание цифровых карт и планов местности по картографическим материалам мы разбивали на три основных этапа:

- подготовка исходных картографических материалов к оцифровыванию;
- преобразование исходных картографических материалов в цифровую форму;
- обработка цифровой картографической информации.

Подготовка материалов к оцифровыванию включает аналого-цифровое преобразование изображения в цифровую растровую форму с помощью сканера. Максимальная погрешность сканирования, при разрешении 300 пикселей на 1 дюйм, составляет приблизительно 0,14 мм в масштабе карты.

Обработка цифровых карт без учёта деформации носителя исходного картографического материала приводит к ошибкам. Для устранения недостатков производилась трансформация проекций, т.е. операция преобразования условных плановых координат в координаты картографической проекции. Так как искажения исходной информации не являются равномерными, то трансформация осуществлялась путем эластичного преобразования на основе аппроксимации сети контрольных точек. Оцифровка данных проводилась выборочно. В отдельные группы отбирались контуры ледников, контуры боковых и конечных морен, границы высотных зон. При этом ледники и морены представлялись в виде полигональных (площадных) объектов, а границы высотных зон, как линейные объекты. Каждому полигональному объекту назначалась индивидуальная номенклатурная запись, отвечающая за идентификацию объекта. Векторные данные передавались в программный комплекс ArcView 3.1, где проводился подсчёт (встроенными функциями программного комплекса) площадей чистой поверхности ледников, конечных и боковых морен. Затем так же средствами ArcView производилось деление (нарезка) площади чистой поверхности ледников по высотным зонам.

Каталог ледников состоит из пояснительного текста, схем, табл. 1. "Основные сведения о ледниках" (с пояснениями) и табл. 2, в которой приведены суммарные величины количества ледников, их площади и объёмы по району оледенения на 1990 г. Схемы расположения ледников (см. рис.) составлены по отдельным речным бассейнам или группам бассейнов.

Между созданием второго Каталога ледников северного склона Заилийского Алатау и нашей нынешней его подготовкой прошло 16 лет. За это время часть малых ледников перешла в разряд "меньше 0,1 км² площади" или они исчезли совсем, часть крупных ледников разделилась на более мелкие, поэтому общее число ледников на изучаемой территории изменилось. Чтобы сохранить преемственность между старой и новой нумерацией ледников, в таблице приводим "новый" номер и в скобках – "старый" номер ледника, а затем его собственное название, если оно есть, а если нет, то повторяем "новый" номер ледника. Ледники площадью меньше 0,1 км² не нумеруются, но их место расположения в бассейнах показывается на схемах в виде кружка.

Морфологический тип и общая экспозиция ледников определялись по аэрофотоснимкам, топографическим картам и натурным наблюдениям. Согласно классификации, рекомендованной "Руководством по составлению Каталога ледников СССР" [10], они характеризуются следующими основными терминами: долинный, котловинный, каровый, висячий, плоских вершин и др. Экспозиция ледника определялась в соответствии с направлением, к которому обращена его поверхность; она даётся по 8-ми румбам. Длина ледника измерялась по топографическим картам. Учитывая, что планы ледников содержат определённые ошибки полевых и камеральных измерений, при заполнении таблицы была принята точность длины ледника $\pm 0,005$ км, а их площадей $\pm 0,001$ км². Высотные отметки характерных точек ледников приводятся с точностью до 5 м (если они определены по горизонталям топографических карт), или с точностью до 1 м (если такие данные имелись на картах). Средняя многолетняя высота фирновой линии \bar{Z}_ϕ рассчитывалась по методу Куровского как средняя взвешенная по площади высотных зон, дающего наиболее близкие к действительности средние многолетние высоты:

$$\bar{Z}_\phi = \frac{1}{\sum_{i=1}^n F_i} \cdot \sum_{i=1}^n (Z_i \cdot F_i), \quad (1)$$

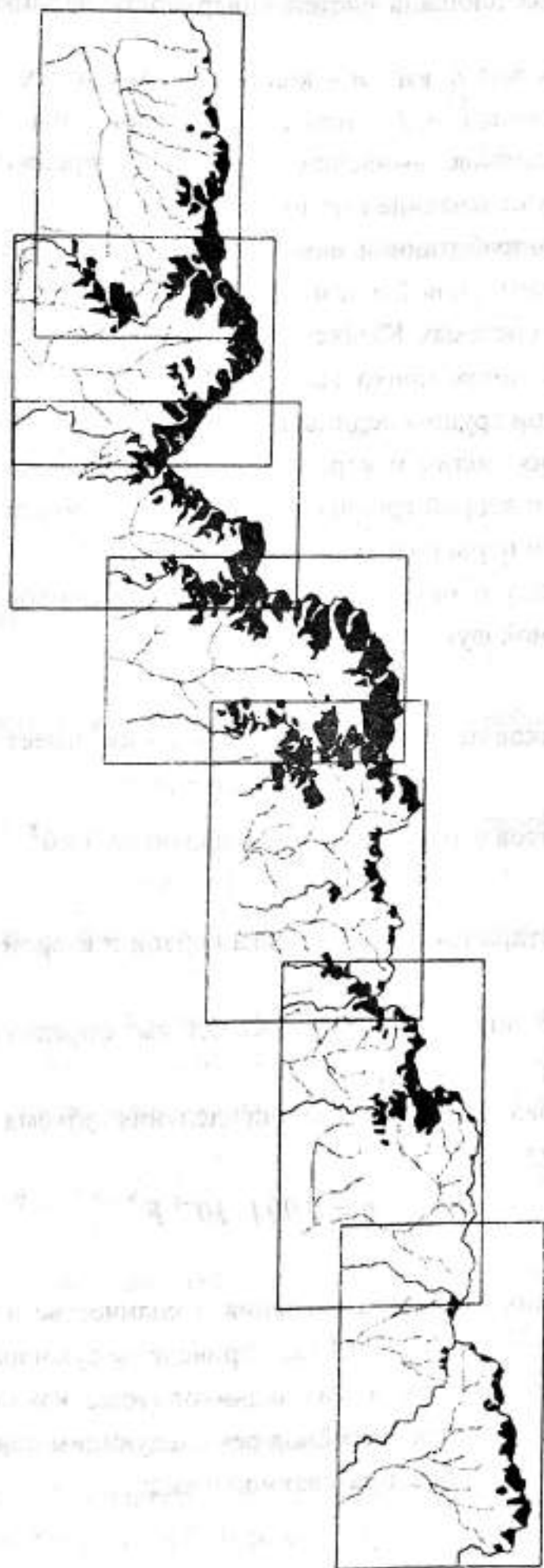


Рис. Северный склон Зайлийского Алатау.

где $\sum_{i=1}^n F_i$ – общая площадь чистой поверхности ледника в пределах заданных высотных зон Z , км²; n – количество высотных зон; Z_i – средняя высота высотной зоны i , м; F_i – площадь высотной зоны i , км².

Объём ледников, вычислен по самой совершенной в настоящее время методике, учитывающей не только размеры, но и морфологические типы ледников, разработанной нами на материалах определения их толщины по данным воздушной и наземной радиолокации [10].

В горных системах Казахстана объём льда в ледниках различных морфологических типов, приходящийся на 1 км² их площади неодинаков. Нами выделены три группы ледников: 1 – ледники основных долин, 2 – ледники висячих долин и каров, 3 – ледники висячего типа "горных склонов". Ледники второй группы имеют больший объём при той же площади, чем ледники первой группы.

Связи между площадью F и объёмом q ледников были аппроксимированы степенной функцией вида

$$q = a \cdot F^b. \quad (2)$$

Для ледников первой группы эта связь в км³ имеет вид:

$$q = 29,76 \cdot 10^{-3} F^{1,38}. \quad (3)$$

Для ледников второй группы площадью до 3 км²

$$q = 49,37 \cdot 10^{-3} F^{1,20}, \quad (4)$$

где F – площадь открытой части ледника первой и второй группы, берётся в км².

Третью группу площадью болсе 0,1 км² определяли по формуле, полученной в [12].

Преобразованная нами для определения объёма льда в км³ эта формула имеет вид:

$$q = 0,004 \cdot 10^{-6} F^{1,12}, \quad (5)$$

где F берётся в м².

В настоящих Каталогах сведения о количестве и площади ледников, размеры которых меньше 0,1 км², приведены суммарно по отдельным бассейнам рек. Поэтому объём этих ледников (тоже, как правило, висячих) мы определяли в целом для бассейнов рек следующим образом.

По формуле (5), преобразованной в вид:

$$q = 4 \cdot 10^{-9} \left(\frac{\sum F_i}{n} \right)^{1,12}, \quad (6)$$

где F_i в м^2 , вычислялась средняя для бассейна реки площадь такого ледника по их общему количеству n и суммарной площади $\sum S_i$, а затем его объём q в км^3 .

По количеству ледников $n_{<0,1}$ и их среднему объёму $q_{<0,1}$ рассчитывался общий объём льда этих ледников в речном бассейне $Q_{<0,1}$:

$$Q_{<0,1} = q_{<0,1} \cdot n_{<0,1}. \quad (7)$$

У большинства современных ледников с площадью более $0,1 \text{ км}^2$ в телах фронтальных морен до сих пор сохраняются ядра погребённого льда.

В первом приближении объём погребённого льда $q_{\text{пл}}$ в км^3 у ледников "основных долин" представляется возможным определять по формуле (3), преобразованной в вид

$$q_{\text{пл}} = 29,76 \cdot 10^{-3} S_{\text{от}}^{0,38} \cdot K_{\text{пл}} \cdot F_{\text{пл}}, \quad (8)$$

у ледников "висячих долин и каров" - по формуле (4), преобразованной в вид

$$q_{\text{пл}} = 49,37 \cdot 10^{-3} S_{\text{от}}^{0,20} \cdot K_{\text{пл}} \cdot F_{\text{пл}}, \quad (9)$$

у ледников "горных склонов" - по формуле (5), преобразованной в вид

$$q_{\text{пл}} = 4 \cdot 10^{-9} S_{\text{от}}^{0,12} \cdot K_{\text{пл}} \cdot F_{\text{пл}}, \quad (10)$$

где $K_{\text{пл}}$ - коэффициент перевода средней толщины открытой части ледника в толщину "мёртвого" погребённого льда, в первом приближении принят равным $0,5$; $F_{\text{от}}$ - площадь открытого льда; $F_{\text{пл}}$ - площадь погребённого льда; у ледников горных склонов с площадью $< 0,1 \text{ км}^2$ объём погребённого льда определяется по формуле (6), преобразованной в вид

$$q_{\text{пл}} = 4 \cdot 10^{-9} \left(\frac{F_{\text{от}<0,1}}{n_{\text{лв}<0,1}} \cdot n_{\text{лв}<0,1} \right)^{0,12} \cdot K_{\text{пл}} \cdot F_{\text{пл}<0,1}, \quad (11)$$

где $F_{\text{от}<0,1}$ - общая площадь открытого льда ледников в бассейне реки с площадью $< 0,1 \text{ км}^2$; $n_{\text{лв}<0,1}$ - общее количество ледников в бассейне реки с площадью $< 0,1 \text{ км}^2$, имеющих площади погребённого льда под боковыми и конечными моренами; $F_{\text{пл}<0,1}$ - площадь погребённого льда у ледников с площадью $< 0,1 \text{ км}^2$. Значение $K_{\text{пл}}$ приведено выше.

В формулах (8) и (9) $F_{\text{от}}$ и $F_{\text{пл}}$ берётся в км^2 , а в формулах (10) и (11) - в м^2 .

Количество, площадь и объём ледников в бассейнах рек северного склона хр. Заилийский Алатау

Реки	Всего по району оледенения				Ледники с площадью > 0,1 км ²						Ледники с площадью < 0,1 км ²		
	Кол-во	F, км ²	q, км ³	Кол-во	F, км ²	q, км ³	Открытого льда		Погребённого льда		Кол-во	F, км ²	q, км ³
							F, км ²	q, км ³	F, км ²	q, км ³			
Узун-Каргалы	39	14,98	0,37	17	14,37	0,37	9,25	0,29	5,12	0,08	22	0,60	0,007
Чемолган	18	2,583	0,05	5	1,86	0,04	1,04	0,03	0,82	0,01	13	0,72	0,009
Каскелен	31	13,67	0,48	12	12,73	0,47	9,16	0,40	3,58	0,07	19	0,93	0,011
Аксай	25	14,07	0,40	13	13,64	0,39	9,75	0,32	3,89	0,07	12	0,42	0,005
Каргалинка	10	3,75	0,08	3	3,02	0,07	2,14	0,06	0,88	0,02	7	0,71	0,008
Проходная	38	6,47	0,15	14	5,91	0,14	3,73	0,11	2,18	0,03	24	0,56	0,007
Б. Алматинка	51	21,74	0,68	28	20,93	0,67	15,9	0,58	5,02	0,09	23	0,81	0,011
М. Алматинка	22	8,27	0,28	10	7,88	0,28	6,06	0,24	1,81	0,03	12	0,40	0,005
Левый Талгар	81	64,09	2,66	45	62,89	2,65	52,2	2,42	10,72	0,23	36	1,20	0,014
Средний Талгар	37	29,77	1,35	22	29,14	1,34	23,66	1,23	5,48	0,11	15	0,64	0,008
Правый Талгар	11	4,20	0,13	3	4,10	0,13	2,98	0,11	1,12	0,02	8	0,10	0,001
Иссык	49	44,52	1,84	25	43,18	1,82	34,47	1,64	8,70	0,19	24	1,35	0,017
Тургень	48	33,76	1,18	29	32,77	1,16	24,98	1,01	7,80	0,16	19	0,98	0,012
Всего	460	261,82	9,66	226	252,43	9,54	195,30	8,43	57,13	1,11	234	9,42	0,116

Таблица

Данные для расчёта объёма ледников берутся из табл. 1 Каталога ледников.

Итоговая таблица, завершающая данную краткую информацию об оледенении на северном склоне хр. Заилийский Алатау по состоянию на 1990 г., для удобства анализа данных представлена в виде 3-х структурных подразделений по принятым в Каталоге принципам учёта размеров оледенения и особенностей их количественных изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вилесов Е.Н., Макаревич К.Г., Поляков В.Г. Пространственно-временная изменчивость ледниковой системы Заилийского Алатау. – МГИ, вып. 76, М., 1993, с. 90 – 95.
2. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Мониторинг оледенения южного склона Заилийского Алатау в бассейне р. Чилик. – Географические основы устойчивого развития республики Казахстан. Институт географии МН РК, Алматы, “Тылым”, 1998, с. 55 – 62.
3. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н., Хонин Р.В. Деградация оледенения северного склона Заилийского Алатау во второй половине XX века. - Вестник КазГУ, серия географическая. Алматы, Изд-во КазГУ, 1997, № 4, с. 13 – 17.
4. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н., Хонин Р.В. Методические основы и программа аэрофото- топографического мониторинга современного оледенения Казахстана. Вестник КазГУ, серия географическая, вып. 2, Алматы, 1995, с. 169 – 177.
5. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Особенности эволюции ледников Казахской части Заилийского Алатау. Устойчивость, антропогенная трансформация и оптимизация природной среды Казахстана. Материалы республиканской научной конференции. Алматы, КазГУ, 1998, с. 142 – 144.
6. Вилесов Е.Н., Хонин Р.В. Каталог ледников СССР, том 13 Центральный и Южный Казахстан, вып. 2 Бассейн оз.Балхаш, часть 1. Бассейны левых притоков р. Или от устья р. Тургень до устья р. Курты, ГИМИЗ, Л., 1967, 79 с.
7. Госагропром СССР, Казахский филиал ВИСХАГИ. Материалы по объекту К-86 - ледники. Список названий и площадей ледников Заилийского и Кунгей Алатау и Чилико-Кеминской перемычки. Алма-Ата, 1987 г.
8. Мазо А.Б., Глазырин Г.Е. Метод расчёта объёма стационарного горного ледника. Тр. САНИИ, вып. 117 (198), 1986, с. 88 – 98.

9. Мачерет Ю.Я., Черкасов П.А., Боброва Л.И. Толщина и объём ледников Джунгарского Алатау по данным аэрорадиозондирования.- МГИ. вып. 62, 1988, с. 59-71.
10. Новый Каталог ледников Заилийско-Кунгейской ледниковой системы. Черкасов П.А., Ерисковская Л.А., Каймулдаева К.М. и др., - Географические основы устойчивого развития Республики Казахстан, Алматы "Гылым". – 1998. - С. 8 - 16.
11. Руководство по составлению Каталога ледников СССР Л., ГИМИЗ, 1966, 154 с.
12. Driedger C.L., Kennard P.M. Glacier volume estimation on Cascade volcanoes: an analysis and comparison with other methods - Annals of Glaciology, Vol. 8, 1986, p. 59 - 64.

Институт географии МО и Н РК

1990 Ж. ЖАҒДАЙ БОЙЫНША ІЛЕ АЛАТАУЫНЫҢ СОЛТҮСТІК БЕТКЕІ МҮЗДАҚТАРЫНЫҢ КАТАЛОГЫ

Геогр. ғылымд. докторы П.А. Черкасов
 Л.А. Ерисковская
 С.В. Ударцев
 Т.В. Солодовникова

СПР-3М түсірілген аэрофотосурет материалдары бойынша жасалған мұздықтардың жоспары бойынша 1990 ж. жағдай бойынша Іле Алатауының солтүстік беткеіндегі мұздықтар каталогы жасалған. Олардың аудандары ГИС-те қабылданған компьютерлік әдістермен, ал көлемі мұздықтардың морфологиясын ескере отырып жасалған біздің әдісімізбен есептелген.