

УДК 551.324.6:551.583(574)

**КОЛЕБАНИЯ ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВ КАК ИНДИКАТОР
ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**Канд. геогр. наук Е.Н. Вилесов
Канд. геогр. наук В.Н. Уваров

В результате осуществления мониторинга крупной ледниковой системы, на основе повторного картографирования с привлечением аэрофотосъемки (АФС) за 1955, 1979 и 1990 "реперные" годы определены изменения основных площадных и линейных характеристик всех ледников северного склона Заилийского Алатау. Отчетливо выявлено общее отступление ледников, сокращение их площадей и объемов.

Одной из самых актуальных задач современной географии является разработка глобальных и региональных прогнозов развития окружающей среды. В этих прогнозах первостепенное значение придается климату и особенностям реакции геосистем на его изменения. Наиболее благоприятные возможности для изучения динамики климатических условий представляет анализ неустойчивых или находящихся в пороговом состоянии геосистем. Среди них выделяются горные нивально-гляциальные системы, в которых особое место принадлежит ледникам, наиболее чутко реагирующим на изменения климата.

Высокогорья Центральной Азии (Тянь-Шань, Памир и другие горные системы) - районы развития достаточно мощного современного оледенения. Оно представлено различными морфологическими типами современных ледников, а также разными формами ископаемых льдов под моренами стадии Фернау и многолетней мерзлоты. Присутствие ледников во многом определяет характер других элементов природного комплекса и экологические условия гляциально-ниваальной зоны. Лед здесь во всех формах своего проявления обуславливает особое энергетическое состояние географической среды, поскольку формирование и существование льда требует специфических климатических условий, или, по Л.С. Бергу, "определенный оптимум температуры, осадков и влажности".

Исследованиями гляциологов установлено, что современное оледенение горных областей является важным природным феноменом, с режимом которого связаны многие гидрометеорологические процессы и явления на сопредельных территориях. Работы М.И. Будыко [2] В.М. Котлякова [9], А.Н. Кренке [10] и других авторов подчеркивают роль ледников в формировании теплового режима отдельных регионов. Комплексное изучение ледников дает богатый материал для суждения о

состоянии и изменчивости природной среды в прошлом и в современную эпоху.

Все более нарастающее потепление климата, обусловленное также и антропогенным воздействием, вызывает соответствующие изменения в горно-ледниковых системах аридных гор Центральной Азии, в том числе на юго-востоке Казахстана. В связи с этим появилась необходимость учета уменьшения площади и объема ледников. Именно запас воды, содержащейся в ледниках, служит важным показателем водных ресурсов горных районов. Рациональное водопользование для нужд гидроэнергетики и ирригации невозможно без исчерпывающей информации об этом компоненте, поскольку ледники в летнее время обеспечивают сток горных рек на 30-50 %. Таким образом, возникла проблема проведения мониторинга современного оледенения, причем как для отдельных "опорных" ледников, так и для крупных ледниковых систем в целом, насчитывающих сотни и даже тысячи отдельных ледников.

Основанием для оценки фонового состояния ледниковой системы Заилийского Алатау служит 40-летний ряд массобалансовых (однородных и методически выдержанных) измерений, выполненных на "опорном" леднике Туюксу за период 1956-1996 гг. [11, 15], и специальных исследований современной эволюции всей ледниковой системы северного склона Заилийского Алатау на базе повторных аэрофотосъемок (АФС) [3, 6]. Первоначальной "точкой отсчета" слежения за состоянием ледниковой системы северного макросклона Заилийского Алатау следует считать 1955 год, когда здесь впервые была проведена аэрофотосъемка. Материалы этой съемки легли в основу составленного Каталога ледников бассейнов левых притоков р. Или [8]. В июле - августе 1979 г. была проведена повторная (после 1955 г.) аэрофотосъемка, целиком покрывшая территорию оледенения хребта. В процессе картометрического анализа представилось возможным выявить изменения оледенения Заилийского Алатау за 24 года - с 1955 по 1979 год, получить количественную информацию о темпах и интенсивности этих изменений. Результаты этого анализа обобщены в работе [4] и доложены на международном симпозиуме "Сезонные и многолетние колебания нивальных и гляциальных процессов в горах" [5].

В августе-сентябре 1990 г. проведена еще одна сплошная АФС ледниковой зоны Заилийского Алатау. Таким образом, в нашем распоряжении оказались данные для еще одного "реперного" года - 1990-го, что позволило выявить изменения основных характеристик ледников за 1979-1990 гг. и получить информацию для суждения о направленности процессов массообмена и современной эволюции оледенения Заилийского Алатау в течение 35 лет (1955-1990 гг.).

Несмотря на то, что за этот период растаяли 56 ледников, их общее число увеличилось на 23, что связано с распадом крупных ледников (табл. 1). По макросклону в целом общее число ледников в 1990 г. достигло 330, что составило 107 % их численности в 1955 г. и 125 % - в

1979 г. Это способствовало увеличению дробности оледенения, косвенным показателем которой служит средняя площадь одного ледника. Этот показатель по "реперным" годам изменялся следующим образом: с 0,94 км² в 1955 г. и 0,86 км² в 1979 г. до 0,62 км² в 1990 г. Таким образом, средние размеры одного ледника за 35 лет уменьшились на 0,32 км² или на 34 %.

Таблица 1

Изменение числа ледников по бассейнам рек северного склона Заилийского Алатау

Бассейн реки	Число ледников			Изменение числа ледников		
	1955 г.	1979 г.	1990 г.	1955-1979 гг.	1979-1990 гг.	1955-1990 гг.
Узункаргалы	16	15	19	-1	+4	+3
Чемолган	10	9	10	-1	+1	0
Каскелен	20	18	22	-2	+4	+2
Аксай	18	16	19	-2	+3	+1
Каргалинка	7	7	10	0	+3	+3
Большая Алматинка	49	45	55	-4	+10	+6
Малая Алматинка	12	12	19	0	+7	+7
Талгар	92	77	98	-15	+21	+6
Есик	49	37	39	-12	+2	-10
Тургень	34	31	39	-3	+8	+5
Итого	307	267	330	-40	+63	+23

Следует полагать, что в ближайшие годы и десятилетия процессы, связанные с деградацией оледенения (вытаивание, распад, отчленение притоков), будут интенсивно продолжаться. Общее число ледников, несмотря на стайвание многих из них, будет увеличиваться за счет распада, а средняя площадь - уменьшаться, что весьма отрицательно скажется на режиме оледенения региона.

Сопоставление данных Каталога ледников (1955) и материалов АФС залетов 1979 г. и 1990 г. показало существенное сокращение площади оледенения региона (табл. 2). Как показывают данные (см. табл. 2), наиболее подвержены сокращению ледники бассейнов рек Чемолган и Каргалинка, обладающие минимальными площадями оледенения. Менее значительны потери площади льда у ледников бассейнов Каскелен и Аксай, часто залегающих в глубоких и затененных частях долин. Меньше всего, лишь около 20 %, потеряно площади у высоко-расположенных ледников в бассейне р. Средний Талгар, где абсолютные высоты приближаются к 5 тыс. метров.

Таблица 2

Изменение площади оледенения на северном склоне
Заилийского Алатау за 1955-1990 гг.

Бассейн реки	Площадь оледенения, км ²			Сокращение площади оледенения			
	1955 г.	1979 г.	1990 г.	км ²			в % к 1955 г.
				1955- 1979 гг.	1979- 1990 гг.	1955- 1990 гг.	
Узункаргалы	12,90	10,31	9,17	2,59	1,14	3,73	28,9
Чемолган	2,60	2,24	1,54	0,36	0,70	1,06	40,8
Каскелен	13,50	12,86	10,67	0,64	2,19	2,83	21,0
Аксай	13,50	12,49	10,66	1,01	1,84	2,84	21,0
Каргалинка	3,90	2,89	2,44	1,01	0,45	1,46	37,4
Большая Алматинка	33,90	25,25	21,94	8,65	3,31	11,96	35,2
Малая Алматинка	9,30	8,12	6,35	1,18	1,77	2,95	31,7
Талгар	112,50	89,24	79,70	23,26	9,54	32,80	29,2
Есик	49,50	36,77	34,76	12,73	2,01	14,74	29,8
Тургень	35,70	28,88	26,34	6,82	2,54	9,36	26,2
Итого	287,30	229,05	205,57	58,25	25,48	83,73	29,1

Средняя скорость сокращения площади ледников за весь 35-летний период составила почти 2,4 км²/год, и площадь оледенения за это время сократилась на 29,1 %, т.е. по 0,8 %/год. Отметим, что средняя скорость сокращения площади ледников в Гиссаро-Алае в 1957-1980 гг. составила также 0,8 % в год [14].

Более всего испытали сокращение площади ледников размерами $\geq 2-3$ км². Впрочем, довольно интенсивно теряли свою площадь и более мелкие ледники, большинство из которых совсем растаяло. Среди крупных ледников есть и такие, площадь которых оставалась стабильной или сократилась незначительно. Это в основном те ледники (их очень мало), концы которых лежат довольно высоко или они погребены под моренным чехлом. Сокращение площади зависит и от динамической активности: наиболее активные ледники (с большей энергией оледенения) успевают пополнять свои языки льдом из областей питания и тем самым удерживаться от потери площади. Практически ни у одного ледника не произошло увеличение площади (если не считать 2-3 случая, связанные с более точным подсчетом этих площадей).

Такие же особенности и темпы деградации ледников характерны для других регионов Северного Тянь-Шаня. Так, по данным В.Б. Айзина [1], в бассейне р. Ала-Арча на северном склоне Киргизского хребта за 26 лет (1955-1981 гг.) растаяли 9 ледников (из 33-х) с площадью 0,1-0,3 км², а площадь оледенения сократилась с 45,9 до 35,8 км², т.е. на 10,1 км² или на 22 %. Из общей площади сокращения

оледенения на северном склоне Заилийского Алатау, равной к 1990 г. 83,76 км², 45,22 км² (или 54 %) приходится на ледники долин, 37,47 км² (или 45 %) - на ледники склонов (шлейфовые, каровые, висячие) и 1,07 км² (или 1 %) - на ледники плоских вершин, занимающие древние денудационные поверхности, поднятые на высокий гипсометрический уровень - около 4000 м.

Наконец, отметим, что сокращение площади ледников происходит не только вблизи нижнего края отступающих языков и по бортам ледника, но часто не менее интенсивному уменьшению площади, занятой льдом, подвержены и высокие участки, от 4000 до 4500 м, где толщина льда минимальная (так называемая "облицовка"). Более того, у некоторых ледников сократились только фирновые участки при неизменной площади языка. Таким образом, наблюдается не только фронтальная, но и ареальная деградация ледников по всему их контуру, способствующая уменьшению их длины и площади как снизу, так и сверху. И все же наибольшее сокращение площади оледенения приходится на языковые части ледников, а наименьшее - на области питания. Так, только за период 1979-1990 гг. площадь оледенения по склону в целом в высотной зоне 3300-3400 м сократилась на 76 %, в зоне 3400-3500 м - на 50 %, в зоне 3500-3600 м - на 36 %, в зоне 3600-3700 м - на 20 %, в зоне 3700-3800 м - на 10 %, в интервале высот 3800-3900 м - на 6 %, на высотах 4200-4400 м - на 2 %. Общая деградация оледенения четко проявилась не только в сокращении площади, но и в уменьшении длины ледников. Однако при изучении колебаний ледников и проведении их мониторинга важно знать длину пути и скорость отступления их концов. Поэтому при картографической обработке контуров ледников 1990 г. определялся именно этот показатель (табл. 3).

Разумеется, названный показатель - для каждого ледника характеристика сугубо индивидуальная, зависящая от множества факторов и условий. Об этом свидетельствует и большой диапазон ее значений. Ряд ледников за 1979-1990 гг. отступил на 400-500 м, т.е. со скоростью 45 м/год; а ледник № 139 - Тогузак правый в бассейне р. Левый Талгар (правда, по узкой полосе льда, зажатой между моренами) отступил на 1600 м, т.е. почти по 100 м/год.

Были на северном склоне хребта и наступающие ледники. К таким ледникам с явными признаками наступления относятся 2 ледника, залегающие в верховьях реки Большая Алматинка, № 65 и № 79. Первый из них за 11 лет продвинулся на 30 м (в среднем по 2,7 м/год), а второй - на 100 м (по 9 м/год). Феномен этих ледников объясняется просто: оба они относятся к так называемым забронированным ледникам - каменным глетчерам, медленно сползающим вниз под действием силы тяжести и под защитой мощного моренного чехла.

Таблица 3

Параметры отступления концов ледников на северном склоне
Зайлийского Алатау за 1955-1990 гг.

Бассейн реки	Длина пути, м			Средняя скорость, м/год
	1955- 1979 гг.	1979- 1990 гг.	1955- 1990 гг.	
Узункаргалы	104	85	189	5,4
Чемолган	50	107	157	4,5
Каскелен	93	209	302	8,6
Аксай	50	142	192	5,5
Каргалинка	228	84	312	8,9
Большая Алматинка	212	106	318	9,1
Малая Алматинка	92	224	316	9,0
Талгар	165	168	333	9,5
Есик	230	113	343	9,8
Тургень	151	125	276	7,9
Средневзвешенная по северному склону	160	139	299	8,5

Весьма примечательно, что длина пути отступления концов языков примерно одинакова для всех морфологических типов ледников - долинных, склоновых и плоских вершин. Суммарное за 35 лет изменение (уменьшение) длины ледников, составившее 480 м, почти на 2/3 (300 м) обусловлено отступлением их концов. Средняя скорость отступления ледников равна 6,7 м/год в 1955-1979 гг., 12,6 м/год в 1979-1990 гг. и 8,5 м/год за все 35 лет. Таким образом, средняя скорость отступления ледников в последний период была в 2 раза выше, чем в 1955-1979 гг.

В результате дешифрирования АФС залета 1990 г. выявляется еще один не менее примечательный факт, удостоверяющий вполне определенную тенденцию в динамике территории, занятой гляциально-нивальными образованиями на стадии их деградации. Именно деградация современного оледенения играет определяющую роль в возникновении на поверхности свежееобразовавшихся конечных морен, на зандровых площадках вблизи языков ледников многочисленных приледниковых озер. Если в середине 1960-х гг. на северном склоне Зайлийского Алатау насчитывалось лишь 10 приледниковых озер объемом более 10 тыс. м³, а в 1980 г., согласно [13], их стало уже 41, то в 1990 г., по нашим подсчетам, их число достигло 60, без учета эфемерных озер, периодически возникающих на поверхности ледников и в пригляциальной зоне. Таким образом, за 25 лет число крупных приледниковых озер увеличилось в 6 раз. Прорывы этих озер могут привести к возникновению гляциальных селей, в том числе катастрофических, как это было в 1973 г. в долине р. Малой Алматинки, в 1977 г. - на Большой Алматинке или в 1979 г. - в Среднем Талгаре.

Вообще интенсификация селевой деятельности тесно связана с

деградацией оледенения, поскольку в результате отступления и, в особенности, исчезновения ледников увеличивается площадь распространения незакрепленного рыхлообломочного материала, остаются обширные скопления моренных отложений и массивы мертвых льдов, служащих потенциальными очагами формирования гляциальных селей. В связи с тем, что темпы деградации оледенения не уменьшаются, не следует ожидать и снижения гляциальной селевой опасности.

Сокращение площади и длины ледников, естественно, привело к уменьшению их толщины и объема содержащегося в них льда. Расчеты объемов льда произведены по формуле Мазо-Глазырина [12], учитывающей характерные особенности морфометрии ледников (табл. 4).

Таблица 4

Изменение объема ледников на северном склоне
Заилийского Алатау за 1955-1990 гг.

Бассейн реки	Объем ледников, км ³			Уменьшение объема ледников км ³			в % к 1955 г.
	1955 г.	1979 г.	1990 г.	1955-1990 гг.			
				1955- 1979 гг.	1979- 1990 гг.	1955- 1990 гг.	
Узункаргалы	0,42	0,31	0,28	0,11	0,03	0,14	33,3
Чемолган	0,05	0,05	0,03	0,00	0,02	0,02	40,0
Каскелен	0,58	0,56	0,50	0,02	0,06	0,08	13,8
Аксай	0,49	0,46	0,40	0,03	0,06	0,09	18,4
Каргалинка	0,16	0,10	0,09	0,06	0,01	0,07	43,8
Большая Алматинка	1,16	0,78	0,68	0,38	0,10	0,48	41,4
Малая Алматинка	0,34	0,28	0,22	0,06	0,06	0,12	34,3
Талгар	4,70	3,58	3,11	1,12	0,47	1,59	33,8
Есик	2,07	1,45	1,35	0,61	0,10	0,72	34,8
Тургень	1,57	1,27	1,14	0,30	0,13	0,43	27,4
Итого	11,54	8,84	7,80	2,70	1,04	3,74	32,3

Как показывают данные (см. табл. 4), за 35-летний период уменьшение объема ледников по отдельным бассейнам колеблется в довольно широких пределах - от 13,8 до 43,8 %, составляя в целом по ледниковой системе 32,4 %, или 1/3 первоначальных запасов льда в 1955 г. Уменьшение объема ледников происходило в соответствии с сокращением их площади (см. табл. 2). Минимальное уменьшение объема, отмеченное у ледников бассейнов рек Каскелен и Аксай, согласуется с наименьшей площадью сокращения льда в этих бассейнах. Наоборот, максимальное относительное уменьшение объема льда, более 40 %, в бассейнах рек Чемолган, Каргалинка и Большая Алматинка соответствует самым большим потерям площади льда в них. Максимальные абсолютные потери объема льда, более 1,5 км³, отмечены у

ледников бассейна реки Талгар. Средняя скорость уменьшения объема льда за весь 35-летний период составила около $0,1 \text{ км}^3/\text{год}$, что соответствует скорости сокращения объема по $0,9 \%$ в год.

Изменение режима современного оледенения в основном определяется климатическими условиями гляциально-нивальной зоны. Вместе с тем, горные ледники являются не только продуктом климата, но и чутким индикатором изменений метеорологической обстановки в связи с направленным изменением климата в последние десятилетия. Об этом свидетельствуют наблюдающиеся изменения как климата, так и состояния ледниковых систем на локальном и региональном уровнях.

Как показывает рис. 1, в ходе межгодовой изменчивости за 1957-1990 гг. непрерывных массобалансовых измерений на леднике Туюксу выделяются два периода. Первый период (1957-1972 гг.) характеризовался колебаниями величин баланса массы около нуля, но с преобладанием небольших отрицательных значений. Второй период, начавшийся в 1972 году и продолжающийся в настоящее время, отличался на начальном этапе прогрессирующей деградацией ледника. Она сохраняется до настоящего времени при величинах отрицательного баланса в среднем минус $50-60 \text{ г/см}^2$.

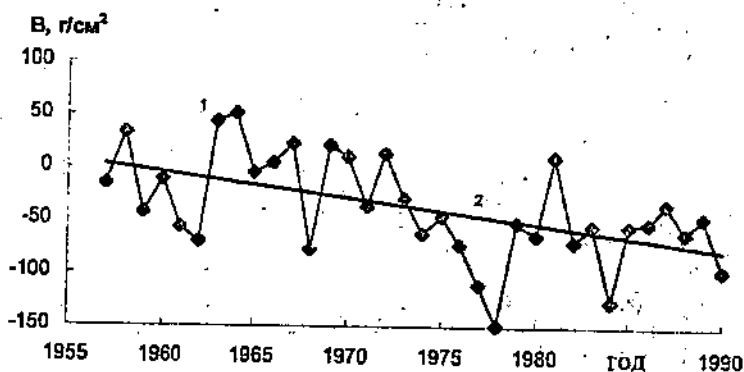


Рис. 1. Баланс массы ледника Туюксу (1) и его линейный тренд (2)

Во временном ходе баланса массы других ледников Тянь-Шаня начало периода с резко отрицательными его значениями также приходится на 1972/73 балансовый год [1, 7]. Именно с этого года в высокогорье Заилийского Алатау наблюдается резкое повышение средней летней температуры воздуха (рис.2). Как видно (см. рис. 1 и 2), существует ярко выраженный тренд в изменении как температуры воздуха, так и баланса массы ледника Туюксу. Таким образом, можно совершенно определенно утверждать, что современные межгодовые колебания режима ледников вполне сопоставимы с такими колебаниями, которые считаются достаточными для установления направленной эволюции

оледенения в случае направленного изменения климата, прежде всего - температуры воздуха (с определенным установившимся трендом). В размахе современных колебаний баланса массы кроются оценки значительной потенциальной изменчивости горных ледников региона в связи с переменой климатических условий.

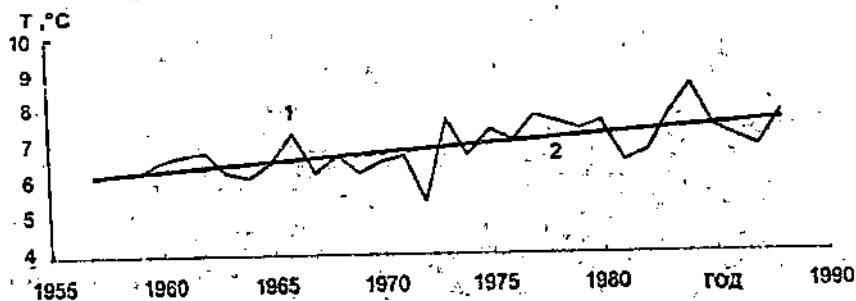


Рис. 2. Средняя летняя температура воздуха по данным М Мынжилки (1) и ее линейный тренд (2)

В результате осуществления мониторинга крупной ледниковой системы установлено, что эволюция ледников на современном этапе практически не зависит от морфологического типа и размеров ледников, а их колебания (кроме забронированных) происходят по типу вынужденных, которые обусловлены направленным изменением климатических условий региона, да и всей планеты, в сторону потепления.

В условиях нарастающего антропогенного воздействия на окружающую среду и аридизации климата высокогорья юго-востока Казахстана процесс дегляциации, разрушения оледенения будет, очевидно, продолжаться и усиливаться, что необходимо учитывать при долгосрочном планировании хозяйственного использования водных ресурсов горных и предгорных регионов Казахстана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзин В.Б. Современное оледенение бассейна Ала-Арча // Тр. САНИИ Госкомгидромета. - 1984. - Вып. 105(186). - С. 111-115.
2. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 351 с.
3. Вилесов Е.Н. Мониторинг современных ледников Заилийского Алатау и прогноз их состояния в XXI веке // Вестн. НАН РК, 1996. - № 2. - С. 24-27.

4. Вилесов Е.Н., Макаревич К.Г., Поляков В.Г. Пространственно-временная изменчивость ледниковой системы Зайлийского Алатау // *Материалы гляциологических исследований*. - 1993. - Вып. 76. - С. 90-95.
5. Вилесов Е.Н., Макаревич К.Г., Поляков В.Г. Пространственно-временная изменчивость ледниковой системы в Зайлийском Алатау // *Материалы Международного симпозиума "Сезонные и многолетние колебания нивальных и гляциальных процессов в горах"*. - Ташкент, 1993. - С. 32.
6. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н., Хонин Р.В. Методические основы и программа аэрофототопографического мониторинга оледенения Казахстана // *Вестн. КазГУ. Серия геогр.*, 1995. - С. 169-177.
7. Диких А.Н. Режим современного оледенения Центрального Тянь-Шаня. - Фрунзе: Илим, 1982. - 159 с.
8. Каталог ледников СССР. Том 13. Центральный и Южный Казахстан. Вып.2. Бассейн оз. Балхаш. Ч.1. Бассейны левых притоков р. Или от устья р. Курты до устья р. Тургенъ. - Л.: Гидрометеиздат, 1967. - 78 с.
9. Котляков В.М. Снежный покров Земли и ледники. - Л.: Гидрометеиздат, 1968. - 479 с.
10. Кренке А.Н. Массообмен в ледниковых системах на территории СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1982. - 288 с.
11. Ледники Тулюксу (Северный Тянь-Шань) / К.Г. Макаревич, Е.Н. Вилесов, Р.Г. Головкова и др. - Л.: Гидрометеиздат, 1984, - 171 с.
12. Мазо А.Б., Глазырин Г.Е. Метод расчета объема стационарного горного ледника // *Тр. САНИИ Госкомгидромета*. - 1986. - Вып. 117 (198). - С. 88-98.
13. Попов Н.В. Исследование озер гляциальной зоны юго-востока Казахстана с целью оценки возможности их прорывов и мониторинга селеопасности // *Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. геогр. наук*. - М.: 1986. - 26 с.
14. Шетинников А.С. Изменение размеров оледенения Памиро-Алая за 1957-1980 годы // *Материалы гляциологических исследований*. - 1993. - Вып. 76. - С. 77-83.
15. Dyurgerov M.B., Uvarov V.N., Kostyashkina T.E. Mass balance and runoff of Tuyuksu Glacier and the north slope of the Zailiyskiy Alatau Range, Tien Shan // *Zeitschrift fur Gletscherkunde und Glazialgeologie*. - Innsbruck, Austria, 1996. - P. 41-54.

Казахский Государственный Национальный
Университет им. аль-Фараби

ТАУ МҮЗДЫҚТАРЫНЫҢ ӨЗГЕРУІ КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУ ІНДИКАТОРЫ СИЯҚТЫ

Геогр. ғ. канд. Е.Н. Вилесов

Геогр. ғ. канд. В.Н. Уваров

Ірі мұздық системасы мониторингісін жүргізу және 1955, 1979 және 1990 реперлі жылдардағы аэро-фото суреттер /АФС/ негізінде қайталап картографиялау барысында Іле Алатауының солтүстік беткейіндегі барлық мұздықтардың маңызды аумақтық және түзулік мөлшерлерінің өзгеруі анықталды. Мұздықтардың шегінгені, олардың аумағының және көлемінің кішірейгені анық білінді.