

Изменчивость климатических условий и оледенения Тянь-Шаня за последние 100 лет

О.А.Подрезов, д.г.н., проф.; А.Н.Диких, д.г.н., проф.;
К.Б.Бакиров, к.г.н., доц.

Благодаря беспрецедентным успехам наук о Земле удалось установить, что глобальный климат Земли за последние 500 тыс. лет колебался с главным 100000-летним циклом, включающим периоды ледниковых эпох и более коротких межледниковий с длительностью около 10000 лет [6]. Размах колебаний температуры в голоцене (последние 10000 лет) составил 6°C, а после климатического оптимума, который имел место примерно 6,5 тысяч лет назад, когда температура была на 2°C выше современной, она приобрела глобальную тенденцию к понижению, продолжающуюся и сейчас. Это понижение, как и во все предыдущие периоды, не монотонно, а имеет более короткопериодный колебательный характер, и примерно с 1700 г. (минимум малого ледникового периода) наблюдается временное повышение температуры (рис.1).



Рис.1. Климат последнего тысячелетия.

На графике представлены оценки зимних условий в Восточной Европе, основанные на анализе летописей и других исторических материалов. Во время «малого ледникового периода» (1450-1850 гг. н.э.) ледники повсеместно наступали, и их размеры значительно превосходили современные [6].

В связи с открытием парникового эффекта атмосферных газов (водяной пар, углекислый газ, метан и др.) изменение климатических условий может приобрести существенный антропогенный оттенок. Образно это показано на рис.2. Однако решение проблемы далеко от завершения и возможные климатические последствия, вследствие многих пока не поддающихся учету факторов, все еще носят дискуссионный характер [1, 2, 5, 6, 10].

Горные ледники Тянь-Шаня в последние 150 лет неизменно отступали, т.е. деградировали. При возможном быстром потеплении эта деградация усилится, что приведет к весьма негативным последствиям для условий проживания населения не только в Кыргызстане, но и в сопредельных Республиках. Вопрос о региональной изменчивости климатических условий имеет, поэтому, предельную остроту, вследствие как своей жизненной важности, так и большой сложности.



Рис.2. Прогноз климата на период до 2100 года н.э.

С 1850 г. средняя глобальная температура (показанная черной линией) колебалась в диапазоне, равном приблизительно 1° . В будущем эта температура вероятнее всего будет возрастать, что связано главным образом с увеличением содержания углекислого газа в атмосфере. Примерно до 2000 года эффекты этого увеличения будут оставаться малозаметными, однако впоследствии они, как ожидается, примут драматические масштабы [6].

На рис.3а-г показаны колебания средних годовых температур и сумм осадков на наиболее длиннорядной в регионе метеостанции (МС) Нарын (2040 м) за последние 115 и 111 лет, и Тянь-Шань (3614 м) за 68 лет.

Наглядно видно, что на обеих МС температура (рис.3а,б) имеет тенденцию к росту, колеблясь случайным образом около рассчитанных линейных трендов. За 115 лет общее трендовое повышение на МС Нарын составило $1,3^{\circ}\text{C}$ ($0,011^{\circ}\text{C}/\text{год}$). Причем за холодный сезон оно достигло 2°C , тогда как за теплый только $0,5^{\circ}\text{C}$. Размах колебаний годовых температур равен $5,7^{\circ}\text{C}$ (от $0,1^{\circ}\text{C}$ в 1904 г. до $5,8^{\circ}\text{C}$ в 1997 г.) при среднем квадратическом отклонении от климатической нормы ($2,8^{\circ}\text{C}$), равном $1,01^{\circ}\text{C}$.

На МС Тянь-Шань за 68 лет произошло общее трендовое повышение температуры на $0,55^{\circ}\text{C}$ (тренд $0,008^{\circ}\text{C}/\text{год}$), т.е. рост происходил со скоростью, близкой к скорости на МС Нарын. При этом в теплое время года он был также более интенсивен ($0,8^{\circ}\text{C}$), чем в холодное ($0,4^{\circ}\text{C}$).

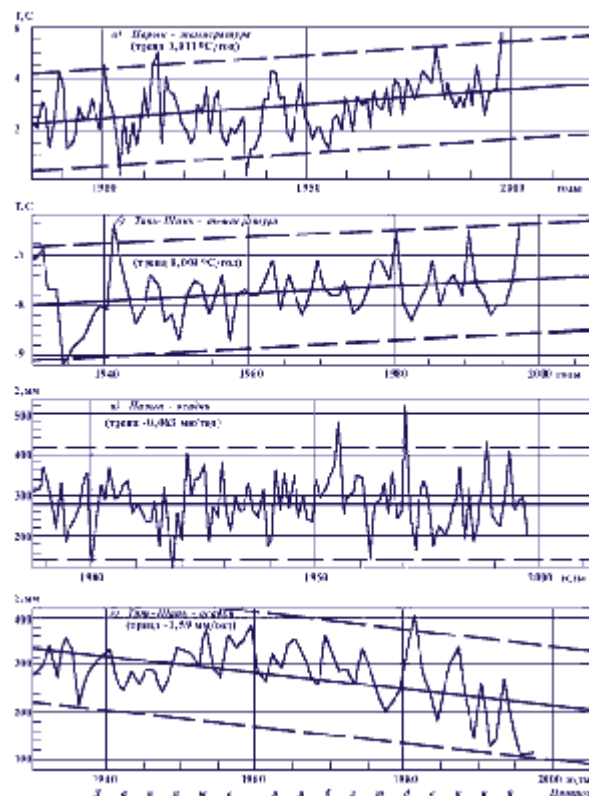


Рис.3. Колебания средней годовой температуры воздуха (а,б) и годовых сумм осадков (в,г) на МС Нарын и Тянь-Шань за 115(111) и 68 лет.

Сплошные линии – линейные тренды за весь период; пунктирные линии – зоны колебаний температуры и осадков в отдельные годы с вероятностью 0,95.

Климатическая норма за весь период равна $-7,8^{\circ}\text{C}$, а размах колебаний в отдельные годы был значительно меньше, всего $1,9^{\circ}\text{C}$ (от $-8,2^{\circ}\text{C}$ в 1993 г. до $-6,3^{\circ}\text{C}$ в 1997 г.) при среднем квадратическом отклонении $0,56^{\circ}\text{C}$.

В табл. 1 приведены тренды по ряду МС Тянь-Шаня, характеризующих климатические условия зон среднегорья около 2 км и высокогорья 3-3,5 км за интервалы от 10 до 50 лет. Наглядно видно, что тренды как по разным станциям за одни и те же периоды, так и по каждой отдельной станции за разные периоды, могут иметь не только различные значения, но и разные знаки. Все они статистически не значимы, т.е. лежат в пределах случайных колебаний (климатический шум) и могут объясняться, например, случайными колебаниями циркуляции атмосферы в регионе [7]. Такая же картина соответствует трендам за теплый и холодный периоды.

Таблица 1

Тренды годовых температур по МС Тянь-Шаня за различные периоды.

Станция	z, км	Тренды ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) за периоды				
		10 лет	20 лет	30 лет	40 лет	50 лет
		(1979-88)	(1969-88)	(1959-88)	(1949-88)	(1939-88)
Нарын	2,04	0,018	-0,005	0,024	0,044	0,035

Сусамыр	2,07	-0,105	0,004	0,058	0,045	0,029
Койлю	2,80	0,001	-0,022	0,005	-0,001	
Арпа	3,00	-0,193	-0,012	0,005	0,017	
Ак-Сай	3,10	-0,121	-0,033	0,011	0,015	
Чатыр-Куль	3,54	-0,093	0	0,006	0,034	0,031
Тянь-Шань	3,61	0,018	0,016	0,006	0,010	0,011

Одним из наиболее изменчивых элементов климата являются осадки. Климатические нормы осадков по МС Нарын и Тянь-Шань приведены в табл.2.

Как видно, на МС Нарын в теплый период года выпадало 72% годовой суммы осадков, а на МС Тянь-Шань около 83%, что соответствует общим климатическим условиям Внутреннего Тянь-Шаня. В Нарыне за 111 лет годовые суммы осадков случайным образом колебались около нормы (280 мм), имея практически нулевой тренд (-0,063 мм/год). Это хорошо видно на рис.3в, из которого следует, что колебания осадков на станции можно рассматривать как чисто случайные, носящие бессвязный характер (коэффициенты автокорреляции меньше 0,2) и не имеющие значимых линейных трендов на любых участках 111-летнего периода наблюдений.

Таблица 2

Нормы осадков (мм) на МС Нарын (111 лет) и Тянь-Шань (68 лет).

Характеристика осадков	Нарын			Тянь-Шань		
	Год	Теплый период	Холодный период	Год	Теплый период	Холодный период
Среднее	279,5	200,9	78,6	279	232	47
Максимум	517	369	160	406	315	98
Минимум	122	82	24	110	77	23
Вариация	0,245	0,285	0,365	0,241	0,251	0,355

На МС Тянь-Шань наблюдается иная картина (рис.3г). Годовые суммы осадков здесь колеблются случайным образом около линии отрицательного тренда. Трендовое уменьшение осадков за 68 лет (1930-97 гг.) составило 108 мм (от 338 до 230 мм), что дает среднюю скорость их уменьшения -1,59 мм/год. Это происходит в основном за счет снижения летних осадков (на 83%). Однако и этот тренд все еще статистически не значим.

В табл.3, как и для температуры воздуха, приведены тренды годовых сумм осадков по ряду МС среднегорной (около 2 км) и высокогорной (3-3,5 км) зон. Видно, что в высокогорной области отрицательные тренды имеют место и на других станциях. Причем их значения такие же или даже больше, чем на Тянь-Шане. Это говорит о том, что тенденция к уменьшению осадков в последние 50-60 лет характерная в целом для высокогорной зоны, тогда как в среднегорной она, видимо, отсутствует (см. МС Сусамыр).

Таблица 3

Тренды годовых сумм осадков по МС Тянь-Шаня за различные периоды

Станция	z, км	Тренды (°C/год) за периоды				
		10 лет	20 лет	30 лет	40 лет	50 лет
		(1979-88)	(1969-88)	(1959-88)	(1949-88)	(1939-88)
Нарын	2,04	4,56	-0,86	-0,12	-1,73	-0,76
Сусамыр	0,07	8,60	3,22	0,38	-1,55	-0,28
Койлю	2,80	-0,61	-4,12	-2,15	-0,28	
Арпа	3,00	3,82	-0,09	-0,19	-0,91	
Ак-Сай	3,10	3,94	-1,27	-0,70	0,40	
Чатыр-Куль	3,54	-8,38	-2,75	-3,23	-1,96	-0,11
Тянь-Шань	3,61	-4,50	-2,18	-2,13	-1,94	-0,68

Таблица 4

Прогнозные трендовые оценки на 2010 г. для зон 2 и 3,5 км.

Высотная зона, км	Годовая температура, °C			Годовая сумма осадков, мм		
	среднее	максимум	минимум	среднее	максимум	минимум
2	3,6	5,6	1,6	280	416	144
3,5	-7,4	-6,2	-8,6	202	320	80

Вопрос о региональном прогнозе климатических условий на ближайшие десятилетия представляет сложную задачу, решение которой на основе физико-математических методов пока отсутствуют. Прогнозировать трендовые тенденции путем их экстраполяции на значительные интервалы является необоснованным, т.к. тренды в любой момент могут изменить даже знак. (Скорее всего, прямые тренды есть отдельные участки немонотонных колебательных кривых). Все же предположим, что общие условия изменений температуры и осадков, показанные на рис.3а-г, сохранятся на ближайшее десятилетие. Тогда, в качестве прогнозных оценок на 2010 г. можно рекомендовать значения, приведенные в табл.4. На рисунках они показаны правее разрывов, соответствующих 1998 г. Однако всегда надо помнить об условности сделанного климатического прогноза.

Колебания климатических условий неизбежно сказывается на оледенении, т.к. горные ледники есть продукт климата и рельефа местности.

В центральноазиатском регионе Кыргызская Республика является единственной, которая не только пользуется собственными водными ресурсами, но и обеспечивает ими соседние государства. Среди источников питания, формирующих поверхностный сток, значительная доля принадлежит талым ледниковым водам. Это обусловлено широким развитием оледенения. По данным Каталогов на Тянь-Шане насчитывается 15953 ледника, занимающих площадь 15416,4 км² [9]. На долю киргизского Тянь-Шаня приходится 5237 ледников и 41,1% общей площади оледенения. Сток с этих ледников идет в реки Сыр-Дарья, Чу, Талас и Асса, Тарим, озера Иссык-Куль, Балхаш, Чатыр-Куль.

Из-за пространственной неравномерности распределения оледенения доля ледниковых вод в общей водности различных рек неодинакова и колеблется в годовом объеме от 5,9% (р.Сыр-Дарья) до 46,3% (р.Сары-Джаз). В теплый период эти цифры возрастают в 2-3 раза, а в особо засушливые годы для многих рек ледники становятся единственным источником питания, поэтому проблемы, связанные с колебаниями ледников и водностью рек, постоянно актуальны. Являясь производными климата, ледники с определенной сдвижкой реагируют на все изменения режимов тепла и увлажнения, проявляющиеся в колебаниях их размеров и объемов стока.

В истории эволюции оледенения Тянь-Шаня отмечено несколько периодов его активизации и деградации. Распад мощного оледенения последней эпохи плейстоценового оледенения завершился около 14 тыс. лет назад. Он сопровождался уменьшением количества осадков на 150-200 мм и повышением июльской температуры на 1-1,5° [9]. За современный голоценовый период ледники активизировались трижды, и каждый такой всплеск продолжался до 1,5 тыс. лет. Последняя малая ледниковая эпоха завершилась во второй половине XIX столетия и процесс деградации продолжается до настоящего времени (рис.1).

При современных климатических условиях характер территориального распределения оледенения в значительной степени обусловлен особенностями строения рельефа, его высотой и орографией, причем определяющим фактором в большинстве случаев является высота.

Оледенение развито на всех хребтах с максимальными отметками 4450 м [9] и отсутствует там, где гребни не поднимаются выше 3700 м. Размеры площадей оледенения ($S_{ол}$) определяются не только абсолютной высотой хребта, но и площадью территории лежащей выше 4000 м, называемой [4] активной территорией ($S_{ат}$). Зависимость достаточно четкая и ее математическое выражение имеет вид:

$$S_{ол} = 0,3671 S_{ат} + 4,3110^{-4} S_{ат}^2 .$$

Примером активной территории в развитии оледенения могут быть хребты Ферганский и Киргизский Ала-Тоо. Максимальная отметка хребтов 4940 и 4895 м, но на первом $S_{ат}$ равна 224 км², а на втором 440,2 км². Размеры оледенения соответственно равны 189,7 км² и 532,1 км² и это несмотря на значительно большее увлажнение Ферганского хребта 1057 мм (МС Чаарташ) в сравнении с Киргизским Ала-Тоо – 646 мм (МС Ала-Арча).

Пространственная неоднородность увлажнения территории и достаточно устойчивая тенденция повышения температур воздуха проявляются в неравномерности распределения оледенения по экспозициям и высоте, что сказывается на водности рек, имеющих различную ориентацию бассейнов. В целом для рассматриваемой территории отмечается явная приуроченность ледников к склонам северной экспозиции, но колебания площадей оледенения по различным бассейнам достаточно велики. Так, в бассейнах рек оз.Иссык-Куль, Сыр-Дарья, Чу, Талас и Асса ледникам северной экспозиции принадлежит соответственно 64,9 – 74,4 – 89,4%, а южной 19,7 – 16,1 – 6,3% общей площади. Такая большая разница обусловлена главным образом неодинаковым поступлением солнечной радиации на склоны различной ориентации. При наклоне поверхности 10-30° ледники северного простираения в летние месяцы получают прямой радиации на 18,5–52,1% больше южного. Различия в поступлении солнечной энергии обусловили неодинаковые высотные уровни в положении фирновой линии и нижней границы оледенения. В гидрологическом плане оба показателя исключительно важны, так как с ними связано соотношение площадей аккумуляции и абляции и в конечном итоге величина модуля стока всей ледниковой поверхности.

В настоящее время происходит изменение величины ледникового коэффициента (отношение площадей аккумуляции ко всей площади ледника). В таких бассейнах как Малый Нарын, Талас и Асса, южный склон Кунгей Ала-Тоо это отношение равно 0,45 и свидетельствует об углубляющемся процессе распада оледенения. В бассейне р.Сары-Джаз и на северном склоне хребта Терской Ала-Тоо ледниковый коэффициент равен 0,59 и 0,64. Наиболее неблагоприятные условия для существования современного оледенения в нижней части бассейна р.Нарын, где ледниковый коэффициент равен 0,38 (р.Узун-Ахмат) и даже 0,18 (р.Карасу левая). Неблагоприятное соотношение здесь обусловлено общими низкими высотными отметками горных хребтов и потеплением климата.

В распределении площадей льда по высоте проявляется следующая закономерность. В редких случаях нижняя граница оледенения опускается ниже 3000 м и даже в интервале 3000-3500 м сосредоточено всего около 4% общей площади. Почти 75% оледенения приурочено к высотам 3500-4500 м. Выше площади льда начинают быстро сокращаться и в следующем 500-метровом интервале находится 13%, а от 5000 до 6500 м только 5,1% современных ледников. С позиции стокоформирования такое высотное распределение площадей льда достаточно благоприятно, так как натурными исследованиями верхняя граница стока ограничивается горизонталью в 5000 м.

Происходящее потепление климата проявляется в направленности эволюции оледенения – оно устойчиво сокращается. Если с середины XIX века и до 1910–1913 годов большинство ледников Иссык-Кульской котловины отступило от фронтальной морены на 30-50 м [3], то к 2000 году отступление оценивается в 7-13 м/год у долинных ледников и до 3-5 м/год у висячих и карово-висячих. При этом следует иметь в виду, что происходит не только линейное, но и объемное изменение размеров. По материалам непосредственных многолетних исследований на ледниках северного Тянь-Шаня (ледник Туюксу) и Иссык-Кульской котловины (ледник Кара-Баткак) понижение поверхности с 1957 по 1997 гг. составило 16,5 и 18,0 метров или более одной трети толщины ледника в его средней части. Один из крупнейших ледников Киргизского Ала-Тоо ледник Голубина с 1972 по 1993 года понизился на 6 м. Понижение поверхности во всех высотных зонах отмечается в массиве Ак-Шыйрак. С 1943 по 1977 гг. в интервале 3700-3900 м понижение составило 13,3-14,4 м, а на высоте 4800-5000 м 3,7-6,0 м при среднем годовом отступании концов ледников 3-5 м [8].

Таблица 5

Баланс массы ледников речных систем и отдельных ледников, мм [9]

Бассейн реки, ледник	1984	1985	Бассейн реки, ледник	1984	1985
Бассейн р.Сары-Джаз			Заилийский Ала-Тай		
Верховья	-359	14	Туюксу	-1250	-550
Энилчек	-35	98	Киргизский Ала-Тоо		
Ак-Шыйрак	-439	-122	Голубина	-485	-557
Койлю	-649	-328	Массив Ак-Шыйрак		
Иссык-Кульская котловина (ледники)			Давыдова	-950	90
Кара-Баткак	-1572	-1292			

Об устойчивом сокращении оледенения свидетельствуют и данные как непосредственных балансовых наблюдений, так и расчетные (табл.5). В многолетнем разрезе годовой дефицит снежно-ледового вещества для Иссык-Кульской котловины и северных периферийных хребтов оценивается в 400 мм. В отдельные годы баланс может быть положительным, но общая картина распада оледенения не нарушается. Показательны данные за 1984 и 1985 гг. В первом случае температуры были выше нормы на 0,7-1,0°, а осадки ниже на 10-15%, во втором все показатели близки к многолетней норме.

Сохраняющаяся тенденция потепления климата проявляется и в повторяемости лет с положительным и отрицательным балансом. За период с 1957 по 1972 годы баланс ледника Кара-Баткак в 6 случаях был положительным и постоянно отрицательным до 1999 г. В связи с происходящим распадом оледенения и большой ролью талых ледниковых вод в общем стоке возрастает актуальность вопросов вероятного изменения водности рек. Асинхронность хода осадков и температур воздуха в высокогорной зоне Тянь-Шаня негативно сказывается на общей водности рек. Судя по данным МС Тянь-Шань тренд осадков в отличие от температур воздуха отрицателен и сток рек, формирующийся во Внутреннем Тянь-Шане, должен уменьшаться, но этого не происходит на реках со значительной оледенелостью бассейна. Так, сток периода 1963-1990 в сравнении с 1930-62 годами на реках центральных частей северных склонов Киргизского Ала-Тоо, Терской Ала-Тоо и крупных притоков р.Сары-Джаз в июле возрос на 11,0-28,6%, а годовые величины повысились на 11,3-17,1%.

В бассейнах без оледенения и с незначительными площадями ледников годовой сток или уменьшился на 2,8% (р.Нельды Таласская долина) или возрос на 0,6% (р.Тюп Иссык-Кульская котловина). Неоднозначная направленность изменений водности рек с различными преобладающими источниками питания уже сейчас требуют разработки вероятностного прогноза будущего состояния водных ресурсов. Наибольшую сложность в данной проблеме представляет вопрос продолжительности времени происходящего потепления климата и количественной оценки локального и регионального проявления этого процесса. Судя по выполненным разработкам [2, 10] потепление должно продолжаться далее первой половины XXI века, причем с нарастающей интенсивностью. Относясь к такому выводу несколько настороженно и не заглядывая так далеко вперед, приведем оценку изменения объемов ледникового стока для главной реки Кыргызстана – р.Нарын и ее основных притоков на ближайшее десятилетие (табл.6). Занимая значительную площадь бассейна р.Нарын характеризуется таким разнообразием природных условий, что они в целом свойственны для всего Тянь-Шаня.

Таблица 6

Вероятные изменения объемов ледникового стока к 2010 г., млн.м³

Бассейн реки, притока	S бассейна, км ²	Степень оледенения, %	Объем стока, млн.м ³	Ледниковый сток, млн.м ³		% к 1980
				1980	2010	
Б.Нарын	5710	10,8	1488	460	507,7	110,4
М.Нарын	3870	8,9	1350	327	411,3	125,8
Кекемерен	10400	1,0	3217	109	178,5	163,2
Атбаши	5540	2,1	1044	101	104,5	103,3
Алабуга	3710	3,4	978	130	138,8	106,9

Наырн, створ Учкурган	58200	2,3	13624	1244,5	1304,0	104,8
-----------------------	-------	-----	-------	--------	--------	-------

По данным табл.6 к 2010 г объемы ледникового стока во всех бассейнах возрастут. В целом должен возрасти и общий сток. Основанием для такого вывода являются гидрометеорологические данные за последние 6-10 лет завершившегося столетия. Среднелетние температуры высокогорной зоны за 1991-2000 гг. превысили норму на 0,6°, июльские на 0,9°. Осадки были ниже многолетней величины на 22%, в среднегорье соответствовали норме. При таком режиме тепла и влаги годовой сток р.Нарын у г.Нарына за 1991-1996 гг. превысил среднюю водность на 15,7%. В данном случае компенсирующая стокоформирующая роль ледников проявилась исключительно выпукло. Необходимо подчеркнуть, что по масштабам оледенения, характеру его высотного распределения и соотношению областей аккумуляции и абляции в большинстве бассейнах притоков р.Нарын ледниковый сток не может компенсировать дефицит стока, образующегося за счет снижения или стабилизации годового количества атмосферных осадков. Увеличение водности практически до середины начавшегося столетия будет характерно для рек Сары-Джаз, Кок-Шаал, Узенгю-Кууш, рек северных склонов хребтов Терской Ала-Тоо и Киргизского Ала-Тоо. Сток рек остальных регионов Киргизского Тянь-Шаня может начать сокращаться через 10-15 лет.

Литература

1. Борисентов Е.П. Многокомпонентная природа парникового эффекта и некоторые сопутствующие явления //Международная ассоциация академий наук /Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия. – М.: ГЕОС, 2000. – С.24-39.
2. Глобальный климат //Под ред. Дж.Т.Хотона /Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 502 с.
3. Грюше П.А., Ершов С.П., Кассин Н.Г. и др. Гидрогеологические исследования произведенные в бассейне оз.Иссык-Куль в 1914 г. – Петроград, 1915. – 268 с.
4. Диких А.Н. Основные особенности существования современного оледенения Тянь-Шаня //Оледенение Тянь-Шаня. – Фрунзе: Илим, 1976. – С.3-14.
5. Дроздов О.А., Арапов П.П., Лугина К.М., Мосолова Г.И. Естественные и антропогенные изменения климата //Международная ассоциация академий наук /Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия. – М.: ГЕОС, 2000. – С.54-59.
6. Имбри Д., Имбри К. Тайны ледниковых эпох /Пер. с англ. под ред. Г.А.Авсюка. – М.: Прогресс, 1988. – 262 с.
7. Изменчивость климата Средней Азии //САНИГМИ им. В.А.Бугаева. – Ташкент, 1995. – 216 с.
8. Кузьмиченок В.А. Технология и возможности аэрофотографического картирования изменений ледников на примере оледенения Акшийрака //МГИ, Вып.67. – М., 1989. – С.80-87.
9. Оледенение Тянь-Шаня /Под ред. М.Б.Дюргерова, Лю Шаохая, Се Зичу. – М., 1995. – 233 с.
10. Предстоящие изменения климата /Под ред. М.И.Будыко, М.С.Маккракена, Ю.А.Израэля, Д.Ж.Хекта. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 270 с.