

Климатические процессы в нивально-гляциальном поясе Заилийского Алатау и их воздействие на горное оледенение и речной сток

© 2013 г. Е.Н. Пивень

Институт географии Республики Казахстан, Алматы

pivenen@mail.ru

Статья принята к печати 12 февраля 2013 г.

Баланс массы ледника, гляциометеорологические показатели, многолетние наблюдения, речной сток, снежный покров.

Glacier mass balance, glaciometeorological indexes, long-term observations, river runoff, snow cover.

На основе результатов новых наблюдений, выполненных на высокогорном стационаре Института географии Республики Казахстан, исследованы современные изменения климата нивально-гляциальной зоны Заилийского Алатау и их проявления в режиме речного стока. Проанализированы тенденции изменения за 1973–2011 гг. десяти метеорологических параметров за разные интервалы осреднения, а также баланса массы ледника Центральный Туяксу и стока рек бассейна р. Или. Установлены причины некоторого замедления деградации оледенения и увеличения речного стока за те же годы.

Введение

Потепление климата очевидно. Существенные различия мнений о его причинах не мешают большинству учёных признать сам факт потепления. В условиях Казахстана темпы увеличения годовых и сезонных температур воздуха значительно выше средних глобальных [6, 7, 13]. За 100 лет осреднённая по территории республики средняя годовая температура воздуха выросла на 1,3 °C [10], а последние десять лет были самыми тёплыми за всю историю метеонаблюдений. Большая часть выполненных ранее исследований характеризует равнинную и предгорную территории страны. Однако в юго-восточной части республики для познания закономерностей формирования возобновляемых водных ресурсов наиболее интересен высокогорный пояс выше 3000 м, где образуется около 50% снежных ресурсов этого региона и сосредоточены все многолетние запасы льда. Прогнозы изменения водных ресурсов даже на ближайшую перспективу невозможны без изучения современных климатических процессов. Из-за недостаточности или отсутствия гидрометеостанций (ГМС) в горных и особенно в высокогорных районах достоверно оценить изменения метеопараметров и климата трудно. Исключение представляет собой бассейн р. Малая Алматинка (местное название — Киши Алматы) в центральной части северного склона Заилийского (Иле) Алатау, где в высоко-

горных условиях действуют две станции: ГМС Мынжилки расположена на высоте 3017 м над ур. моря, а ГМС Туяксу — стационар Института географии Республики Казахстан — находится на морене вблизи ледника Центральный Туяксу (Туйыксу) на высоте 3450 м над ур. моря. Здесь проводятся постоянные круглогодичные измерения. Эта станция — единственная на всём постсоветском пространстве, где наблюдения в районе горного оледенения ведутся непрерывно более 40 лет (рис. 1).

Материалы и методы исследований

В исследовании мы применяли статистические методы обработки метео- и гидрологических данных (корреляционный и регрессионный анализ, выявление тенденций и трендов в их многолетних колебаниях), метод гидрологической аналогии, анализ разностных интегральных кривых стока. Были проанализированы: многолетние изменения десяти метеопараметров для ГМС Туяксу по разным интервалам осреднения за весь период наблюдений (1971–2011 гг.); данные о средней толщине снежного покрова и максимальных снегозапасах по материалам ГМС Большое Алматинское озеро, расположенной в бассейне р. Большая Алматинка на высоте 2500 м; величины годового, зимнего и летнего баланса массы ледника Центральный Туяксу. Рассмотрены изменения годового стока десяти рек бас-



Рис. 1. ГМС Туюксу (а) и район постоянных гляциологических исследований Института географии Республики Казахстан ледник Туюксу (б)

Fig. 1. GMS «Tuyuksu» (a) and polygon area of continual high-mountainous glaciological researches of Institute of Geography of the Kazakhstan Republic «Tuyuksu Glacier» (b)

сейна р. Или с разными высотным положением водосборов, площадью оледенения и степенью антропогенного воздействия. Данные по ГМС Туюксу и балансу массы ледника — результат многолетних полевых работ лаборатории гляциологии Института географии Республики Казахстан. Материалы наблюдений по метеостанциям Мынжилки, Большое Алматинское озеро и стоку рек получены из кадастровых и справочных публикаций Гидрометеорологической службы Республики Казахстан.

Изменения метеорологических параметров

По данным наблюдений на двух ГМС оценены временные изменения температуры воздуха и атмосферных осадков за отдельные месяцы и сезоны года для периодов 1936–2005 (ГМС Мынжилки) и 1971–2005 гг. (ГМС Туюксу). По данным ГМС Туюксу установлены изменения следующих параметров: продолжительности солнечного сияния; облачности; максималь-

ной толщины снежного покрова; максимальных срочной и среднесуточной температур воздуха; продолжительности тёплого и бесснежного периодов за 1971–2005 гг.; дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C весной и осенью; дат максимальной толщины снежного покрова; дат установления и разрушения устойчивого снежного покрова; дат, когда наблюдалась максимальная в году среднесуточная температура воздуха [11]. Повышение *региональной среднегодовой температуры* воздуха за 70 лет (1936–2005 гг.) составило $1,4^{\circ}\text{C}$. В последние 35 лет (1975–2010 гг.) отмечается особенно быстрый рост температуры. Однако в этот период повышались главным образом зимние температуры, летние изменялись незначительно, а максимальные в году значения среднесуточной температуры даже уменьшились. Возможно, это объясняется ростом облачности, которая препятствует притоку прямой солнечной радиации. В 2001–2011 гг. процессы потепления

Средние температуры воздуха по ГМС Туюксу в разные периоды, °С

Период	Годовая	Месяцы			Средняя суточная максимальная
		VI–VIII	VI–IX	X–V	
1971–1980	–4,2	4,7	3,9	–8,3	12,7
1981–1990	–4,0	4,8	4,1	–8,0	12,5
1991–2000	–3,8	4,9	4,3	–7,8	11,1
2001–2011	–3,3	5,3	4,5	–7,2	11,1
$\Delta = T_{2001-2011} - T_{1971-1980}$	0,9	0,6	0,6	1,1	–1,6

усилились – летняя температура повысилась на 0,4 °С, что вдвое больше, чем раньше, а зимние температуры выросли на 0,6 °С. Изменения температуры в нивально-гляциальном поясе были синхронны ходу её средних значений для всей территории республики. В таблице приводятся средние температуры воздуха (°С) по ГМС Туюксу в разные периоды.

Устойчивый переход среднесуточной температуры через 0 °С весной происходил в те же сроки, что и прежде, а осенью – значительно позже. Продолжительность тёплого периода возросла, поскольку весной выхолаженная за зиму подстилающая поверхность берёт теплоту воздуха на прогревание, а осенью она обогревает воздух. Атмосферные осадки по изменениям их годовых сумм имели положительную тенденцию, но в последнее десятилетие они стали возрастать не только в холодное время года. Выросли число летних снегопадов и время существования летнего снежного покрова, особенно на поверхности ледника. Анализ рядов осадков показал, что их сумма за год, холодный (X–V месяцы) и тёплый (VI–IX месяцы) периоды, а также летние осадки (VI–VIII) имеют положительную направленность изменений с начала 1970-х годов по текущий 2013 г. Однако статистически значимая положительная тенденция существует только в ряду осадков холодного периода (X–V месяцы). С 1970 по 2011 г. осадки холодного периода по ГМС Туюксу увеличились на 90 мм (рассчитано по уравнению линейного тренда) при их средней величине 505 мм. Сумма осадков за год выросла примерно на 120 мм, а за тёплый период – на 30 мм, т.е. увеличение суммы осадков за год происходило преимущественно за счёт роста осадков холодного периода.

Снежный покров в холодное время года формировался подобно росту атмосферных осадков. Осенью он образовывался позже, чем отмечалось раньше в связи с более поздним

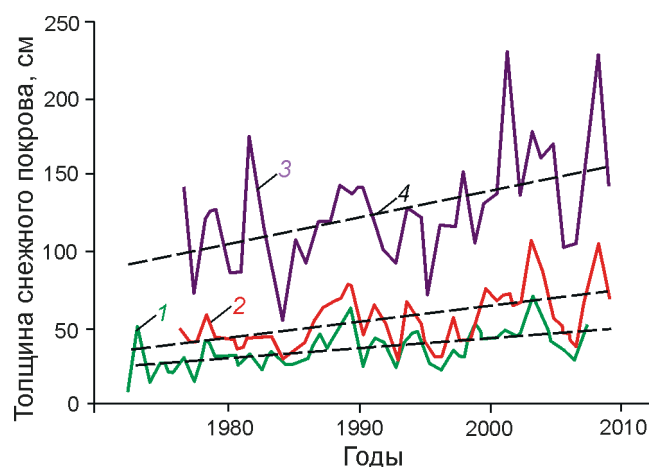


Рис. 2. Изменения толщины снежного покрова:

1 – средняя толщина за X–IV месяцы на ГМС Большое Алма-тинское озеро; 2 – средняя толщина за X–VI месяцы на ГМС Туюксу; 3 – максимальная толщина на ГМС Туюксу; 4 – линии тренда (см. рис. 4, 5)

Fig. 2. Snow depth changes:

1 – average depth for X–IV, GMS Great Almaty Lake; 2 – average depth for X–VI, GMS Tuyuksu; 3 – maximum snow depth, GMS Tuyuksu; 4 – linear trends (see Fig. 4, 5)

устойчивым переходом среднесуточной температуры через 0 °С. В последние 30–35 лет весной снежный покров разрушается в прежние сроки или даже немного позже, несмотря на более ранний переход температуры воздуха через 0 °С. Это объясняется значительным ростом снеготопливных запасов. К 2005 г. максимальная толщина снежного покрова отмечалась на 31 день позже прежнего, несмотря на то, что устойчивый переход осенних температур происходил всего на 12 дней позже. Максимальная толщина снежного покрова увеличилась на 65 см. Наблюдения, выполненные в последние годы, подтвердили, что в многолетнем ходе средней и максимальной толщины снега существует значимый положительный тренд (рис. 2).

Выявлены хорошие связи средней толщины снежного покрова за холодный период и

максимальных снегозапасов на метеостанциях Большое Алматинское озеро и Туюксу (коэффициенты корреляции связей 0,8–0,9). В динамике средней и максимальной толщины снежного покрова на обеих станциях существует значимый положительный тренд. С учётом таких связей этот вывод можно перенести и на максимальные снегозапасы. Анализ многолетних изменений осадков и снегозапасов с привлечением данных по ГМС Большое Алматинское озеро подтвердил вывод о росте снегозапасов в нивально-гляциальной зоне за последние 40 лет (1972–2011 гг.).

Изменения баланса массы ледника Центральный Туюксу

Зимний баланс массы ледника Центральный Туюксу с октября по май в течение 1975–2011 гг. изменялся согласно временному ходу атмосферных осадков и максимальной толщины снежного покрова. Коэффициенты корреляции составляли 0,73 и 0,75 соответственно (рис. 3). Оба предиктора зимнего баланса имели тенденцию к увеличению в последние 40 лет (1972–2011 гг.), что приводило к росту как снегозапасов в нивально-гляциальном поясе, так и положительной составляющей годового баланса ледника. От зависимостей отклоняются значения зимнего баланса за 1972–1974 гг., когда наметился переход к более интенсивному потеплению. Данные за эти годы вызывают некоторое сомнение. Причины выпадения этих лет из общей зависимости могут быть разными – от

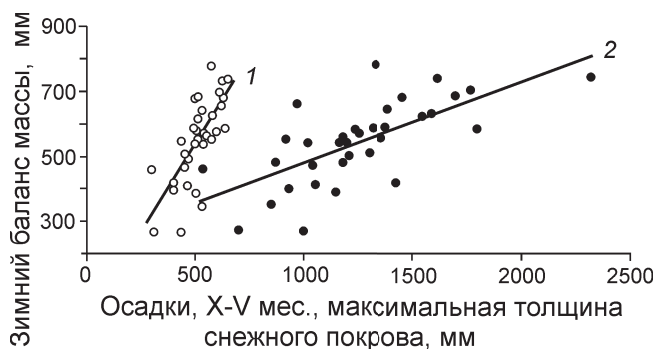


Рис. 3. Зависимость зимнего баланса массы ледника Центральный Туюксу:

1 – от суммы осадков за холодный период (X–V месяцы); 2 – от максимальной толщины снежного покрова по ГМС Туюксу

Fig. 3. Relationship of winter mass balance for Central Tuyuksu Glacier:
1 – with precipitation sum of the cold period (X–V); 2 – with maximum snow depth as for GMS Tuyuksu

ошибок в измерениях или расчётах до принадлежности этих величин к другой статистической совокупности. Ряд прямых наблюдений за балансом массы ледника Центральный Туюксу намного продолжительнее, чем ряд наблюдений на ГМС Туюксу, что позволяет проанализировать ход его изменений более чем за 50 лет.

За весь период наблюдений с 1957 по 2011 г. в ходе зимнего баланса массы наблюдался значимый отрицательный тренд, т.е. было замечено уменьшение накопления массы ледника по сравнению с её величиной в 1960-х годах. Скачкообразное изменение произошло в середине 1970-х годов, когда усилилось потепление. Годовые значения температуры воздуха стали повышаться более интенсивно, главным образом за счёт увеличения зимних температур, тогда как летние значения температуры воздуха изменялись мало. Внутригодовой период таяния стал длиннее. Суммарная абляция, или летний баланс, т.е. отрицательная часть годового баланса, – стала ещё больше превышать положительную (аккумуляцию), несмотря на появившуюся в последние три десятилетия тенденцию её увеличения. Годовой баланс получил отрицательную тенденцию. Эти процессы во второй половине XX в. вызвали деградацию оледенения, повышение высоты границы питания и сокращение площади ледника.

Обращает на себя внимание тот факт, что ряд летнего баланса однороден по среднему значению и дисперсии. Ряды же значений зимнего и вследствие этого годового баланса неоднородны. Для ряда зимнего баланса массы критическое значение критерия Стьюдента превышено в несколько раз ($t = 13,0$ при $t_{5\%} = 2,0$). Нарушение однородности произошло в 1973–1975 гг. Анализ временного хода баланса массы ледника за последние 35 лет (период однородности ряда зимнего баланса) показывает положительные изменения в его колебаниях (рис. 4). Зимний баланс массы растёт, уменьшаются отрицательные значения летнего и годового баланса массы (замедляется расход массы), причём тенденции изменений статистически значимы. Рост зимнего баланса за этот период отмечается на фоне отрицательного линейного тренда за 1957–2011 гг. Увеличение зимнего баланса за 1975–2011 гг. пока ещё не компенсировало его резкого снижения за 1957–1974 гг.

Вопрос неоднородности временного ряда зимнего баланса массы ледника требует допол-

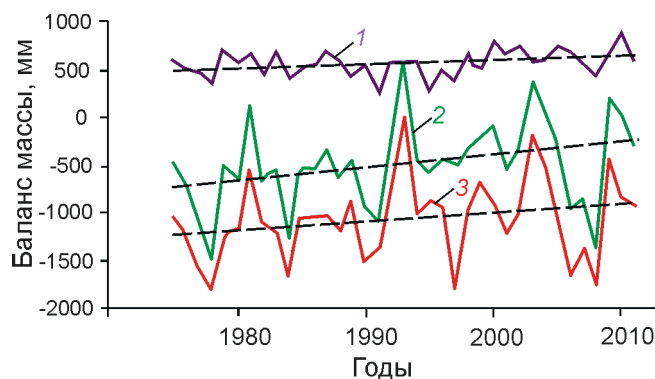


Рис. 4. Динамика баланса массы ледника Центральный Туяксу за 1975–2011 гг.:

1 – зимнего; 2 – годового; 3 – летнего

Fig. 4. Dynamics of mass balance for Central Tuyuksu Glacier in 1975–2011:

1 – winter; 2 – annual; 3 – summer

нительного изучения. Это может быть вызвано сменой методик наблюдений и расчёта зимнего баланса массы ледника Центральный Туяксу в начале 1970-х годов, изменениями циркуляционных процессов и условий снегонакопления или иными причинами. В последние годы усилившегося потепления увеличились не только облачность и количество зимних осадков, но и число летних снегопадов. Как известно, летний снег, покрывающий ледниковую поверхность, заметно сокращает её таяние [9], что способствует некоторому сдерживанию абляции. Это обстоятельство, а также рост снеготопливных запасов вызывали уменьшение отрицательной величины годового баланса массы ледника Центральный Туяксу.

Воздействие климатических процессов в нивально-гляциальном поясе на речной сток

Большинство исследователей, занимающихся проблемами изменения климата и его проявлениями в природных системах, не сомневаются в продолжающемся потеплении климата на значительной части планеты, в том числе и в Казахстане, и в усилении этого процесса с изменением влагооборота с 1970-х годов. Известный климатолог О.А. Дроздов в своей статье [8] называл 1973 г. началом «нового глобального потепления». Примерно с этого времени систематически увеличивается повторяемость зональных форм макроциркуляции атмосферы, а в 2000 г. был достигнут её максимум за последние 70 лет [15]. По данным коллектива исследователей [1], в 1985–2003 гг. водные ресурсы России на 5% превысили их величину

в 1936–1984 гг. При этом отмечается существенное увеличение водности рек в межень, чего не было раньше за весь период наблюдений. Для Восточного Казахстана, по данным исследования [5], с 1974 г. отмечается снижение стока рек, в первую очередь р. Иртыш. В эти же годы при анализе гидрологических условий и взаимосвязей в нивально-гляциальной зоне отмечена смена соотношений гляциологических и гидрологических характеристик [12]. Об этом говорится и в работе [16] для территории Восточной Сибири и Дальнего Востока.

До настоящего времени основной причиной стабильности стока рек юго-восточного Казахстана и региональных водных ресурсов называлось усилившееся таяние ледников [14 и др.]. Положительный тренд максимальных снеготопливных запасов в нивально-гляциальной зоне центральной части Заилийского Алатау и систематическое уменьшение отрицательных значений баланса массы ледника за последние 36 лет (1975–2011 гг.) позволяют усомниться в этом заключении. В работах [2, 3] показано, что в результате потепления климата в регионе из-за уменьшения площади ледников сократился ледниковый сток (при увеличивающемся слое стаивания). Возможно, на современном этапе несколько преувеличена роль подземных льдов в качестве компенсационного механизма поддержания стабильности речного стока [14], хотя при удлинении продолжительности тёплого периода [11] в гляциально-нивальной зоне и соответственно периода абляции включение их в общие процессы таяния достаточно убедительно показано в работе [17].

По нашим оценкам, на большинстве рек региона в многолетнем ходе стока наблюдается стационарность процесса или положительные тенденции за весь период наблюдений (с 1930-х годов по 2008 г.), т.е. в течение большей части XX в. Даже на реках со стоком, существенно искажённым антропогенным воздействием, статистическая значимость отрицательных тенденций очень низкая. Отметим, что в связи с массовым закрытием гидрологических постов на территории Казахстана для анализа многолетних колебаний водности рек бассейна р. Или удалось выбрать только десять постов, действующих по настоящее время и имеющих период наблюдений не менее 40 лет с минимальным количеством восстановленных средних годовых расходов.

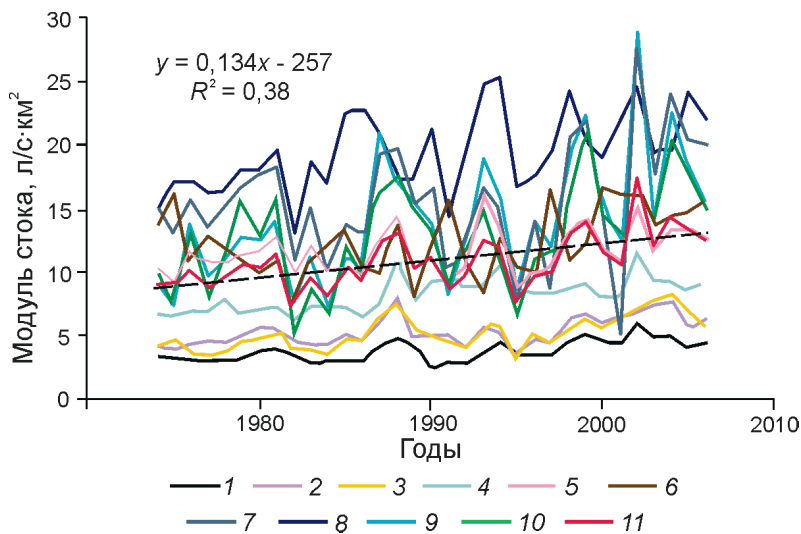


Рис. 5. Динамика стока рек бассейна р. Или: 1 – Или – ур. Капшагай; 2 – Или – 171 км выше Капшагайской ГЭС; 3 – Шарын – ур. Сарытогай; 4 – Шилик – с. Малыбай; 5 – Турген – с. Таутурген; 6 – Малая Алматинка – Мынжилки; 7 – Малая Алматинка – г. Алматы; 8 – Проходная – устье; 9 – Тересбутак – устье; 10 – Бутак – с. Бутак; 11 – средний модуль стока

Fig. 5. Rivers runoff dynamics for the Ili river basin: 1–10 – different gauging stations at the Ili river; 11 – average module of runoff

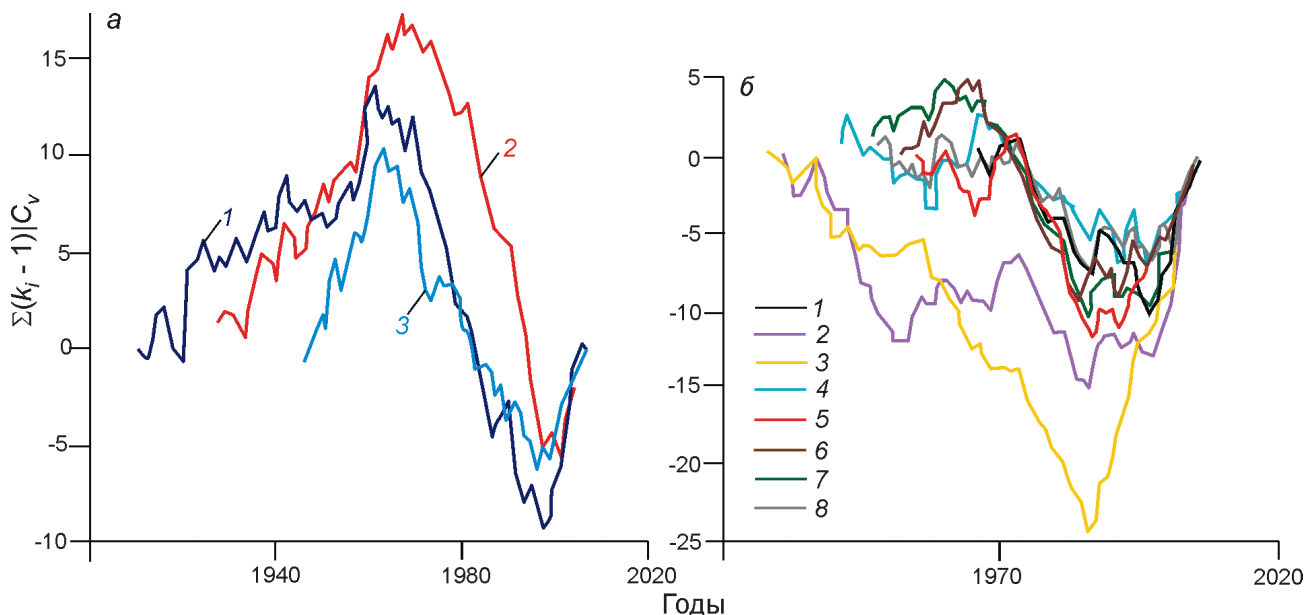


Рис. 6. Разностные интегральные кривые модульных коэффициентов годового стока рек.

По оси Y расположены значения $\Sigma(k_i - 1)/C_v$, где C_v – коэффициент вариации, $k_i = Q_i/Q_{\text{ср}}$, Q – средний годовой расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; а: 1 – Или – ур. Капшагай; 2 – Малая Алматинка – г. Алматы; 3 – Малая Алматинка – ГМС Мынжилки; б: 1 – Или – 171 км выше Капшагайской ГЭС; 2 – Шарын – ур. Сарытогай; 3 – Шилик – с. Малыбай; 4 – Турген – с. Таутурген; 5 – Коксу – с. Коксу; 6 – Проходная – устье; 7 – Тересбутак – устье; 8 – Бутак – с. Бутак

Fig. 6. Differential integral curves of modular annual rivers runoff coefficients.

C_v – variation coefficient; $k_i = Q_i/Q_{\text{ср}}$; Q – average annual water discharge, m^3/s ; figures at Fig. 6, а and Fig. 6, б mean different gauging stations at the rivers

С 1974 по 2008 г. в многолетних колебаниях стока на всех исследованных реках наблюдается положительный тренд водности (рис. 5) независимо от размера и средней высоты водосбора, особенностей условий питания, наличия оледенения в бассейне реки и интенсивности антропогенного воздействия. При сокращающемся стоке с ледников это невозможно объяснить только

компенсирующей ролью усиливающегося таяния подземных льдов. В первую очередь, увеличение стока рек объясняется тенденцией роста в эти годы толщины сезонного снежного покрова (т.е. осадков холодного периода), особенно в нивально-гляциальной зоне.

На рис. 6, а приведены разностные интегральные кривые модульных коэффициентов годового

стока рек Или и Малая Алматинка. Сток в двух створах значительно искажён антропогенным воздействием. При этом в его многолетних колебаниях отмечается почти полное совпадение фаз стока со стоком горно-ледникового бассейна р. Малая Алматинка (ГМС Мынжилки). Можно предположить, что воздействие естественных климатических изменений на сток крупной реки в замыкающем створе настолько велико, что перекрывает хозяйственное влияние. С начала 1970-х годов рост стока, несмотря на значительное антропогенное воздействие, отмечается на многих реках России [4].

Заключение

Результаты анализа современных изменений климата нивально-гляциальной зоны Заилийского Алатау подтверждают продолжающееся потепление: температура воздуха в высокогорной зоне повышалась соизмеримо росту температур на всей территории Казахстана; на более ранние сроки сдвинулись дата начала таяния снега и дата устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С весной и на более поздние сроки – осенью. Средние температуры холодного периода росли быстрее, чем тёплого. В последнее десятилетие интенсивность роста летних температур удвоилась. Увеличилось и количество осадков, особенно за холодный период и в июле. С 1975 по 2008 г. в многолетних колебаниях стока всех исследованных рек наблюдается значимый положительный тренд. Главная причина увеличения водности рек региона – рост толщины сезонного снежного покрова, отмеченный в этот период. В колебаниях зимнего, летнего и годового баланса массы ледника Центральный Туяксу наблюдаются положительные изменения. Рост зимнего баланса за этот период отмечается на фоне отрицательного линейного тренда для 1957–2011 гг. Увеличение зимнего баланса в 1975–2011 гг. пока ещё не компенсировало его резкое снижение в 1957–1974 гг. Сомнительно, что сбудутся прогнозы даты исчезновения ледников, основанные на линейной экстраполяции эмпирически определённых скоростей уменьшения площади и объёма ледников. Более вероятны скачкообразные изменения в будущем, как это произошло с зимним балансом массы ледника Центральный Туяксу в начале 1970-х годов.

В настоящее время ледниковый сток снижается не только в результате сокращения пло-

щади ледника, но и в результате уменьшения слоя абляции. Ледник стал меньше и скорость его таяния также снизилась. При смене циркуляционных эпох на больших территориях изменяются соотношения климатических и гидрологических характеристик, ослабевают или разрушаются установившиеся ранее связи и появляются новые. На рис. 6, б хорошо видно, что после 1973 г. в колебаниях стока большинства исследованных рек отмечается синфазность, которая раньше не наблюдалась. Для некоторых рек теснота выявленных ранее связей их годового стока между собой уменьшилась и они стали непригодными для расчётов. Поэтому при оценке водных ресурсов перенос аналогов прошлого на будущее становится проблематичным. В настоящее время в Или-Балхашском регионе естественные климатические воздействия на сток рек и возобновляемые поверхностные водные ресурсы превышают антропогенное влияние, которое было определяющим в зоне рассеивания стока в маловодный период.

Благодарности. Автор выражает признательность И.М. Лебедевой за ценные советы и замечания, сделанные при подготовке статьи к печати.

Литература

1. Бедрицкий А.Н., Хамитов Р.З., Шикломанов И.А., Зельцер И.С. Водные ресурсы России и их использование в новых социально-экономических условиях с учетом возможных изменений климата // Пленарные докл. VI Всерос. гидрологич. съезда. М.: изд. Метеоагентства Росгидромета, 2008. С. 5–21.
2. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. Алматы: изд. КазНУ, 2001. 252 с.
3. Вилесов Е.Н., Морозова В.В. Дегляциация и изменения ледникового стока в бассейне р. Усек в Джунгарском Алатау // Гидрометеорология и экология. 2004. № 3. С. 89–95.
4. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб: изд. Гос. гидрологич. ин-та, 2008. 600 с.
5. Гальперин Р.И. Современные и ожидаемые водные ресурсы Черного Иртыша // Вестн. КазНУ. Сер. геогр. 2001. № 1 (12). С. 59–65.
6. Долгих С.А. О многолетних тенденциях термического режима на территории Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. 1995. № 3. С. 68–77.
7. Долгих С.А., Илякова Р.М., Сабитаева А.У. Об изменении климата Казахстана в прошедший столетний период // Гидрометеорология и гидрология. 2005. № 4. С. 6–23.
8. Дроздов О.А. О надежности использования аналогов прошлого для прогнозов водного режима на будущее // Водные ресурсы. 1992. № 4. С. 7–12.

9. Лебедева И.М. Влияние летних снегопадов на таяние ледников Средней Азии и юго-восточного Казахстана // МГИ. 1972. Вып. 20. С. 94–105.
10. Первое национальное сообщение Республики Казахстан по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Алматы: изд. Министерства охраны окружающей среды РК, 1998. 69 с.
11. Пивень Е.Н. Современные изменения климата гляциально-нивалной зоны Юго-восточного Казахстана (по данным режимных наблюдений) // Терра. 2007. Вып. 2. № 1. С. 52–61.
12. Пивень Е.Н. Современный режим стока рек гляциально-нивалной зоны Илейского Алатау // Терра. 2008. Вып. 4. № 1. С. 27–36.
13. Северский И.В. К проблеме изменения климата // Докл. Министерства науки и Академии наук РК. 1999. № 2. С. 86–93.
14. Снежно-ледовые и водные ресурсы высоких гор Азии. Алматы: изд. ЮНЕСКО, ТОО «Типография Комплекс», 2007. 292 с.
15. Современные глобальные изменения природной среды: Т. 1. М: Научный мир, 2006. 696 с.
16. Шимараев М.Н., Синюкович В.Н., Куимова Л.Н., Троицкая Е.С. Тенденции изменений климата и гидрологических процессов в озере Байкал в условиях глобального потепления // Анализ и стохастическое моделирование экстремального стока на реках Евразии в условиях изменения климата. Иркутск: изд. Ин-та географии СО РАН, 2004. С. 213–220.
17. Severskiy I.V., Kokarev A.L., Severskiy S.I. Tokmagambetov T.G., Shagarova L.B., Shesterova I.N. Contemporary and prognostic changes of glaciation in Balkhash Lake basin. Almaty: VAC Publishing House, 2006. 80 p.

Summary

On the basis of the latest monitoring data of a high-mountainous glaciological station of Institute of Geography, Republic of Kazakhstan on modern climate changes in the nival-glacial zone and their

occurrences in the mode of river runoff are analyzed. Tendencies of changes of the 10 meteorological elements for various intervals of averaging as for the years 1971–2011 are studied (winter, summer and annual mass balance of Central Tuisky Glacier and annual runoff of the rivers of Ili river basin). Results of the analysis confirm continuation of climate warming in the region; the air temperature in nival-glacial zone raised is commensurable to growth of temperatures in foothill and low mountain zones; the dates of the beginning of snow melting and dates of stable transition of air temperature through 0 °C in the spring and on later terms in the autumn moved for the earlier time; the quantity of precipitation tended to increase especially for the cold period and July. Average temperatures of the cold period grew more intensively than in the summer period. Warming of the nival-glacial zone induced not only due to increase of summer temperatures, but also due to appreciable increase of autumn air temperatures especially in September as well as due to increases of the warm period duration. Starting from 1975 the significant positive trend in long-term fluctuations of runoff for all researched rivers is observed. For the period 1975–2011, steady growth of seasonal snow cover depth in the nival-glacial and middle-mountainous zones of Zailiyskiy Alatau is observed. Positive changes in the fluctuations of winter, summer and annual mass balance of glacier are observed. Nowadays natural climatic influences to the rivers runoff in Ili-Balkhash region and renewed surface water resources exceed anthropogenic influences which were determining in the zone of runoff dispersion during the low-flow period.