

5. Оценка изменения водных ресурсов при возможных изменениях климата

Водные ресурсы играют исключительно важную роль в развитии аридных и полупустынных природных зон и их социально-экономическом благополучии. Узбекистан является основным потребителем водных ресурсов в Среднеазиатском регионе. Развитие агропромышленного комплекса на базе орошаемого земледелия и другие направления использования водных ресурсов имеют определяющее значение в развитии экономики Узбекистана.

В условиях неравномерного распределения и дефицита водных ресурсов Республики особую актуальность приобретает оценка ресурсов и их изменение под влиянием климатических факторов.

Степень воздействия вероятных изменений климата на режим рек региона можно оценить с помощью достаточно надежных моделей формирования стока определенной полноты и точности.

Модель формирования стока горных рек, которая разработана в САНИГМИ, позволяет учитывать основные закономерности формирования стока и оценить воздействия климатических изменений на сток рек, снежный покров, ледники в масштабе отдельных речных бассейнов [1-2].

Применяемый нами модельный комплекс состоит из модели формирования снежного покрова в горах, модели ледникового стока и модели трансформации дождевого, талого снегового и ледникового поступлений в сток. Он учитывает основные региональные особенности зоны формирования стока рек, расположенной в высокогорных районах Тянь-Шаня и Памиро-Алая.

Для практического использования модельного комплекса формирования стока создана автоматизированная информационная система гидрологических расчетов и прогнозов.

Численные эксперименты заключаются в проведении серии расчетов по модели при задании ряда метеорологических сценариев с целью оценки реакции модели на воздействие метеорологических элементов (их значения и распределения во времени). Для оценки климатических воздействий на водные ресурсы были выбраны зоны формирования стока крупных и малых рек, имеющие различные типы питания и принадлежащие к бассейнам Сырдарьи и Амударьи. В качестве таких характерных гидрологических объектов-индикаторов были выбраны реки Пскем, Чаткал, Ахангаран, приток в Чарвакское водохранилище, Куршаб, Тар, Яссы, Каракульджа в бассейне реки Сырдарьи и реки Вахш и Зеравшан в бассейне Амударьи. Река Вахш является ярко выраженным представителем ледниково-снегового типа питания, а Ахангаран - снегово-дождевого.

Что касается климатических сценариев, то документы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) констатируют, что до сих пор не существует методов надежного прогноза изменения температуры тропосферы и климата в целом. Все предлагаемые оценки представляют собой всего варианты реакции климатической системы на увеличение парникового эффекта, которые принято называть «Климатическими сценариями».

Предсказание будущего изменения климата Земли в целом или отдельных регионов не является целью создания климатических сценариев. Климатические сценарии разрабатываются для оценки потенциальной уязвимости региональных экосистем и социально-экономических секторов и разработки стратегии реагирования. Поскольку климатическим сценариям, особенно региональным, соответствует большая неопределенность, целесообразно для оценки уязвимости использовать несколько сценариев изменения климата.

Наиболее надежным инструментом для моделирования физических процессов, определяющих глобальный климат, считаются трехмерные численные модели общей циркуляции атмосферы (МОЦ). В настоящее время имеются сведения по крайней мере о 20-ти МОЦ, которые потенциально могут обеспечить согласованные, физически правдоподобные оценки изменения глобального климата [7, 9, 13, 14].

Развитие в последнее время совмещенных климатических моделей «атмосфера-океан» позволяет использовать их для оценки будущего климата и численно оценить влияние увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере. Такие модели разра-

батываются в ведущих климатических центрах, а их результаты МГЭИК рекомендует использовать для построения региональных климатических сценариев.

В 1992 году МГЭИК предложено 6 сценариев эмиссии парниковых газов (iIS92a, IS92f) [11] и как следствие столько же вариантов увеличения глобальной температуры воздуха. Сценарий IS92a предполагает рост населения до 11,3 млрд. к 2100 году (т.е. удвоение), экономический рост составит 2,3-2,9% в год и не будут предприниматься никакие шаги для ограничения выбросов в атмосферу парниковых газов. Это так называемый сценарий «невмешательства». Сценарий IS92b делает те же предположения о народонаселении и экономическом росте, но предполагает проведение во многих развитых странах мероприятий по стабилизации или уменьшению выбросов. Сценарии IS92c и IS92d предполагают меньшее количество выбросов по сравнению со сценариями IS92a и IS92b, а сценарии IS92e и IS92f - большее за счет разницы в оценках прироста населения, экономического роста, использования различных видов топлива и источников энергии [14]. В соответствии с этими сценариями имеется столько же вариантов увеличения глобальной температуры воздуха, причем каждый вариант имеет свои пределы неопределенности.

Для условий Узбекистана для каждого сценария эмиссии и каждого сезона были получены наборы значений, характеризующие модельный прогноз изменений температуры с 2000 по 2030 год. В виду небольшого различия влияния на температуру сценарии 'a' и 'b', 'c' и 'd', 'e' и 'f' объединялись по парам. Что касается возможных изменений осадков, то для различных сценариев выбросов по станциям горной территории получены изменения к 2030 году только годовых сумм осадков.

Представленные в табл.26 результаты расчетов позволяют предположить, что в случаях реализации рассмотренных климатических сценариев, к 2030 году значимых изменений водных ресурсов региона не произойдет, в бассейне Амударьи возможно их уменьшение на 2-4% , а в бассейне Сырдарьи они останутся неизменными или даже она могут увеличиться на 3-4%.

Таблица 26 | Нормы и возможные изменения стока рек Центрально-Азиатского региона к 2030 году при различных климатических сценариях

Река	Q	Q _{норма}	Q в % от нормы для различных климатических сценариях		
			IS92ab	IS92cd	IS92ef
Ахангаран	Q _{вег.}	33,8	103	102	106
	Q _{год.}	20,9	106	103	109
Чаткал	Q _{вег.}	179	103	102	105
	Q _{год.}	112	105	103	106
Пскем	Q _{вег.}	118	98	98	95
	Q _{год.}	73,5	99	99	98
Приток в Чарвакское вдхр.	Q _{вег.}	297	98	98	93
	Q _{год.}	185	100	99	97
Вахш	Q _{вег.}	944	97	94	98
	Q _{год.}	547	97	94	98

Вместе с тем, учитывая большую сценарную неопределенность в задании осадков (в сценарии приводится изменение годовой суммы осадков, без распределения по сезонам и месяцам), уместно провести расчеты без учета изменения осадков. Результаты этой серии расчетов приведены в таблице 27 и показывают тенденцию сохранения стока на существующем уровне и даже некоторое его уменьшение.

Таблица 27 | Нормы и возможные изменения вегетационного стока рек Центрально-Азиатского региона к 2030 году при различных климатических сценариях

Река	Q	Q _{норма}	Q в % от нормы для различных климатических сценариях		
			IS92ab(t)	IS92cd(t)	IS92ef(t)
Ахангаран	Q _{вег.}	33,8	96	97	94
	Q _{год.}	20,9	99	99	98
Чаткал	Q _{вег.}	179	97	98	92
	Q _{год.}	112	99	99	97
Пскем	Q _{вег.}	118	98	98	95
	Q _{год.}	73,5	99	99	98
Приток в Чарвакское вдхр.	Q _{вег.}	297	98	98	93
	Q _{год.}	185	100	99	97
Вахш	Q _{вег.}	944	97	94	98
	Q _{год.}	547	97	94	98

5.1 Использование климатических сценариев на основе моделей общей циркуляции атмосферы

Антропогенные изменения климата могут быть приняты в виде сценариев, полученных с помощью равновесных моделей общей циркуляции атмосферы при условии увеличения углекислого газа в земной атмосфере в два раза.

Модель GFDL создана в Геофизической лаборатории динамики жидкостей (США), модель GISS - в Годдарском институте космических исследований (США), модель UKMO - в Метеорологическом Агентстве Соединенного Королевства (Англия), модель CCCM - в Канадском Климатическом Центре. Результаты расчетов моделями приземной температуры воздуха, атмосферных осадков и уровня радиации, соответствующие современному уровню концентрации CO₂ в атмосфере, являются контрольными прогонами и показывают способность модели воспроизводить реальный климат. Данные расчетов по моделям на момент удвоения CO₂ относятся к состоянию равновесия и являются оценками изменения климата, которое происходит в результате удвоения концентрации CO₂ в атмосфере (это может произойти в период 2050-2075 гг.) [10].

На рисунке 25 показан ход модельных сценариев возможного изменения сезонного количества осадков в % от базовой нормы 1951-1980 годов по Узбекистану и прилегающей горной территории на время удвоения концентрации CO₂ в атмосфере.

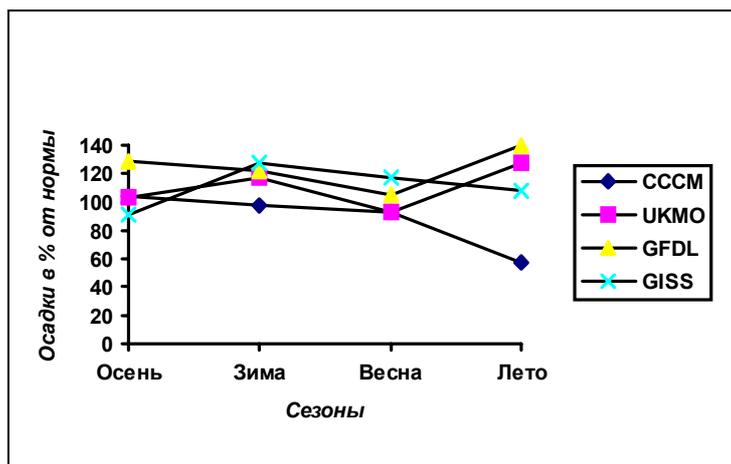


Рис.25 | Модельные сценарии возможных изменений сезонного количества осадков в % от базовой нормы 1951-1980 годов по Узбекистану и прилегающей горной территории на время удвоения CO₂ в атмосфере

В таблице 28 представлены результаты расчетов изменения водных ресурсов поверхностных вод при различных климатических сценариях.

Модель CCCM дает по температуре самые большие расхождения с реальным климатом при контрольных прогонах и одновременно представляет собой самый жесткий сценарий, характеризующий наибольшую аридизацию климата. По этой модели при удвоении концентрации CO₂ возможно существенное повышение среднегодовой температуры, а атмосферные осадки в предгорьях и горах составят 95-98%. До 40-50% уменьшится сток вегетационного периода на реках с малой водоносностью, и на 20-30% на крупных реках.

Также неблагоприятная ситуация может сложиться, если изменение климата будет развиваться по модели UKMO. В этом случае можно ожидать сокращения ресурсов поверхностных вод на 15-20%.

Согласно сценарию GFDL, среднегодовые осадки увеличатся на 24%, в этом случае можно ожидать увеличения водных ресурсов на 5-10%, примерно такое же увеличение стока произойдет при реализации сценария GISS.

Анализ полученных результатов показал, что в случае реализации климатических сценариев CCCM и UKMO, испарение с поверхности бассейна может увеличиться примерно на 20-22%, а в случае сценариев GFDL и GISS - на 10 -15% от нормы.

Во внутригодовом ходе стока рек примерно на месяц происходит сдвигка времени весеннего половодья. Так для рек снегово-дождевого типа питания пик половодья может происходить в апреле. Как следствие потепления возрастает доля вклада дождевого поступления. На рисунках 26 и 27 в качестве примера, представлены гидрографы стока рек Ахангаран и Кугарт, на которых четко прослеживается сдвигка пика гидрографа.

Следует принять во внимание, что представленные результаты модельных расчетов не являются прогностическими. Это оценочные расчеты изменения стока рек при различных климатических сценариях, которые в настоящее время продолжают разрабатываться климатологами в новых усовершенствованных вариантах.

Таблица 28 | Изменение ресурсов поверхностных вод рек бассейнов Центральной Азии при антропогенном изменении климата по модели общей циркуляции атмосферы

Река	Q	Q норма	Изменение ресурсов поверхностных вод, %			
			GFDL	GISS	UKMO	CCCM
Ахангаран	Q _{вег.}	33,8	+1	-4	+8	-41
	Q _{год.}	20,9	+12	+12	+20	-16
Чаткал	Q _{вег.}	179	+8	-3	-4	-27
	Q _{год.}	112	+11	+7	+3	-11
Пскем	Q _{вег.}	118	+18	+13	-3	-9
	Q _{год.}	73,5	+13	+12	+2	-4
Приток в Чарвакское ВДХР	Q _{вег.}	297	+11	+3	-2	-17
	Q _{год.}	185	+12	+9	+3	-7
Вахш	Q _{вег.}	944	+16	0	-11	-27
	Q _{год.}	547	+12	+1	-7	-12
Кугарт	Q _{вегю}	28,6	-7	-12	-29	-48
	Q _{год.}	18,4	+2	+4	-11	-27
Зеравшан	Q _{вег.}	257	+6	-4	-19	-30
	Q _{год.}	158	+10	+5	-3	-15

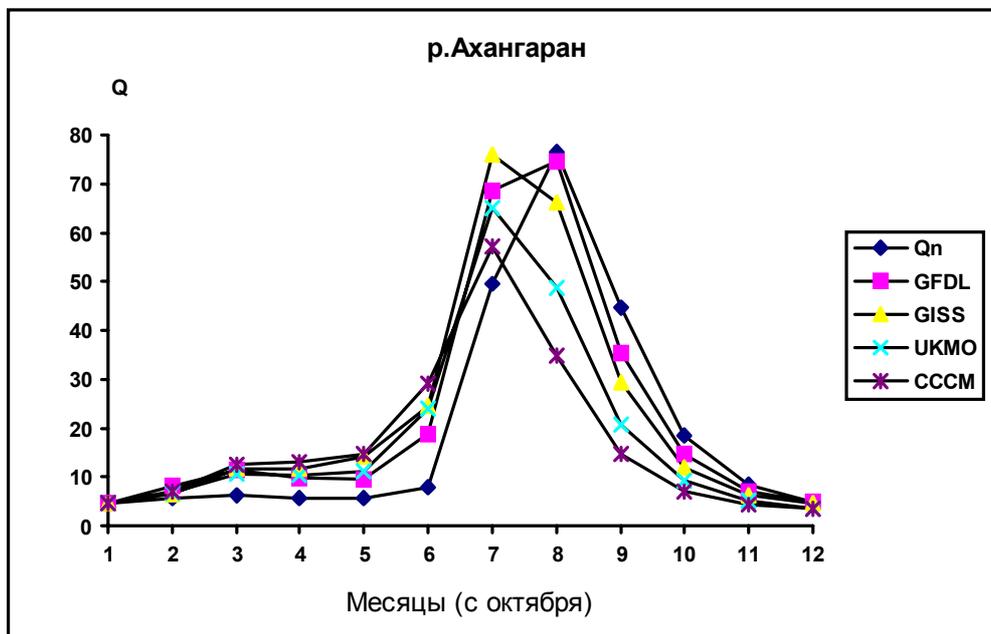


Рис.26 | Гидрографы стока реки Ахангаран при климатических сценариях на основе общей циркуляции атмосферы

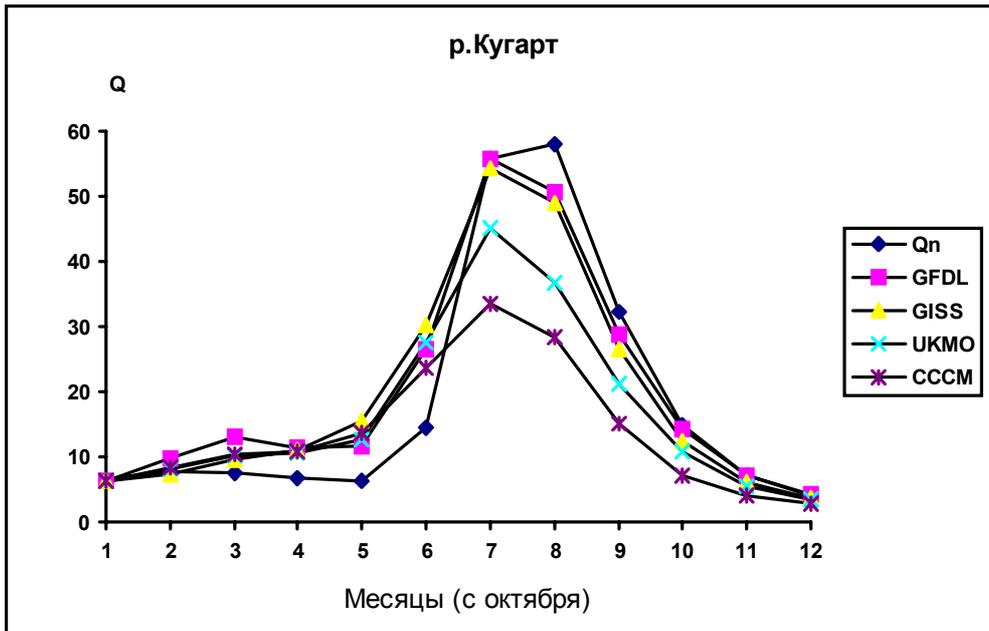


Рис.27| Гидрографы стока реки Кугарт при климатических сценариях на основе общей циркуляции атмосферы

Так как в данной работе поставлена задача построить региональные климатические сценарии на ближайшую перспективу, то для этой цели используем выходные результаты моделей в переходном состоянии (модели ECHAM4 и HadCM2, описанные во втором разделе).

В таблице 29 приведены изменения вегетационного стока, рассчитанные при реализации сценариев переходного состояния и региональном сценарии.

Расчеты, выполненные по математической модели формирования стока горных рек, при реализации этих сценариев изменения климата позволяют предположить, что в рассмотренном диапазоне изменения климатических параметров на ближайшие 20-30 лет не следует ожидать существенного изменения водных ресурсов. Однако при потеплении климата произойдет снижение средних за вегетационный период расходов воды. Возможные изменения стока этого периода будут лежать в пределах естественной изменчивости: от +3 до -2...7%.

Таблица 29 | Нормы и возможные изменения вегетационного стока рек Центрально-Азиатского региона к 2025 году при различных климатических сценариях

Река	Q	Q _{норма}	Q в % от нормы для различных климатических сценариях		
			ESCM4	HadCM2	IS92ab(t)
Чаткал	Q _{вег.}	212	92	97	88
Пскем	Q _{вег.}	126	99	103	105
Приток в Чарвакское вдхр.	Q _{вег.}	338	94	99	94
Вахш приток в Нурекское вдхр.	Q _{вег.}	984	93	95	93
Зеравшан	Q _{вег.}	258	99	97	93
Каракульджа	Q _{вег.}	39,1	97	97	99
Яссы	Q _{вег.}	39,8	96	96	99
Куршаб	Q _{вег.}	26,7	96	98	99
Тар	Q _{вег.}	76,9	96	99	101
Приток в Андижанское вдхр. (сум.4-х)	Q _{вег.}	182,5	96	98	100
Приток в Токтогульское вдхр.	Q _{вег.}	595	590	586	581

5.2. Оценка чувствительности речных водосборов к естественным и антропогенным изменениям климатических параметров

Реки региона по-разному реагируют на потепление, что объясняется прежде всего различиями их питания. Сток рек снегового типа питания быстрее уменьшается с повышением температуры. Реки с существенным вкладом ледникового стока в этом плане более «инертны», т.к. повышение температуры интенсифицирует таяние высокогорных снегов и ледников, создавая некоторые компенсационные условия для формирования стока. Вместе с тем, в связи с продолжающейся деградацией оледенения, которая с ростом температуры воздуха будет прогрессировать, на перспективу здесь также будет происходить уменьшение стока, возможно даже более активное.

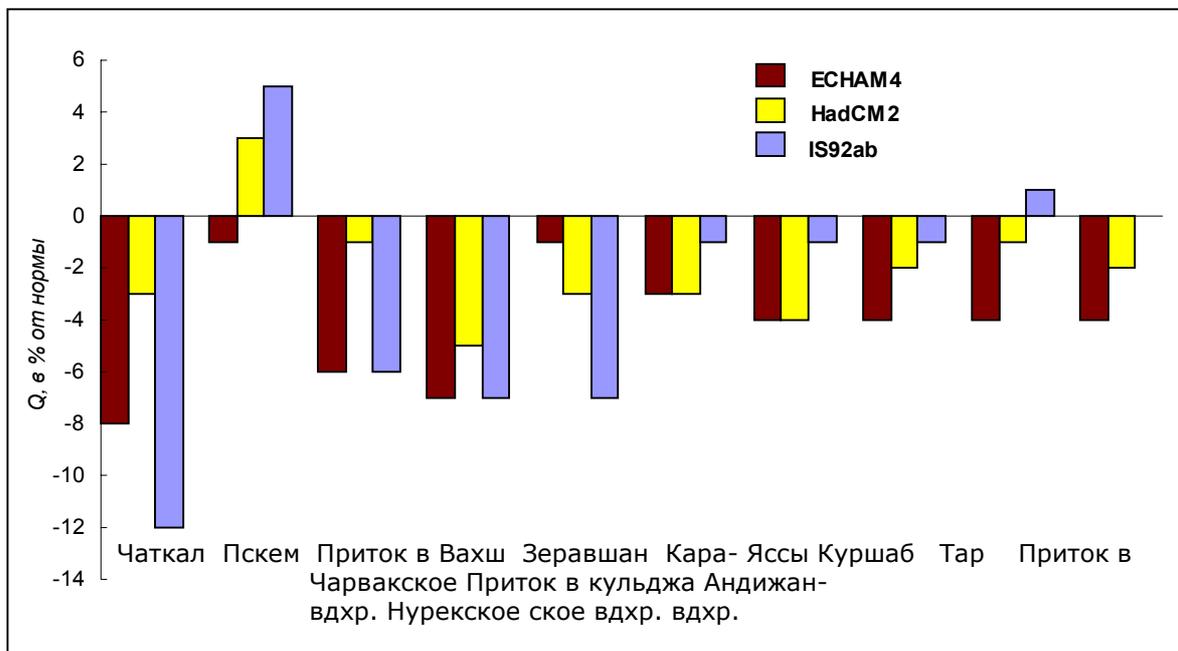


Рис. 28 | Оценка чувствительности речных водосборов при различных климатических сценариях

На рис. 28 представлено изменение стока некоторых рек-индикаторов с различным типом питания при реализации климатических сценариев «переходного состояния» и регионального сценария.

В качестве интегральной характеристики стока на рис. 29 представлено изменение вегетационного притока в Чарвакское (бассейн Сырдарьи) и Нурекское (бассейн Амударьи) водохранилища.

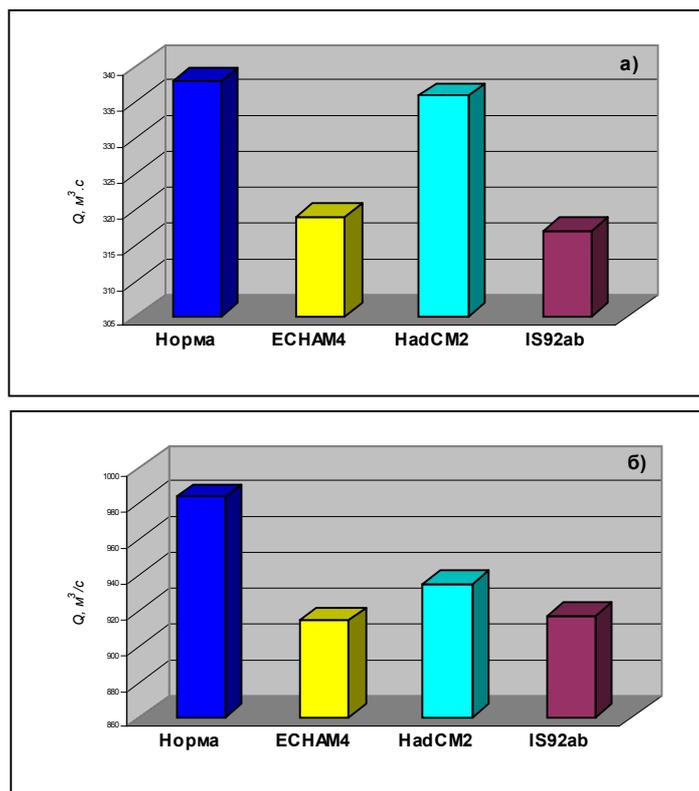


Рис. 29 | Изменение притоков воды в Чарвакское (а) и Нурекское (б) водохранилища при различных климатических сценариях

В табл. 30 приведена интегральная оценка стока рек Амударьи и Сырдарьи на основе численных экспериментов с бассейнами-индикаторами при реализации климатических сценариев «переходного состояния» и региональном сценарии. Результаты расчетов показывают, что существенного сокращения стока рек Амударьи и Сырдарьи не произойдет. Можно ожидать возрастания межгодовых колебаний величин стока.

Можно предположить, что рассматриваемый период до 2025 года будет прерываться маловодными годами, как это было и в последнее десятилетие. Аналогом такой ситуации в отдельные годы может являться сложная гидрометеорологическая ситуация 2000 года. Маловодье этого года было вызвано дефицитом осадков в период формирования стока и высокими температурами воздуха. С целью верификации моделей по данным об осадках и температуре воздуха были рассчитаны гидрографы стока рек Чаткал и Пскем за 2000 год.

На рис. 30 представлены фактические и спрогнозированные по модели гидрографы в сравнении со средними многолетними величинами.

По данным наблюдений сети Главгидромета РУз средняя годовая температура воздуха по территории Республики Узбекистан в 2000 году была выше климатической нормы. Этот год, как и 1941 год, были самыми теплыми за весь период наблюдений. Анализ изменений годовых сумм осадков по территории республики показывает, что 2000 год был экстремально засушливым.

Подобные ситуации могут привести к экстремально маловодным годам, когда вероятно существенное уменьшение стока.

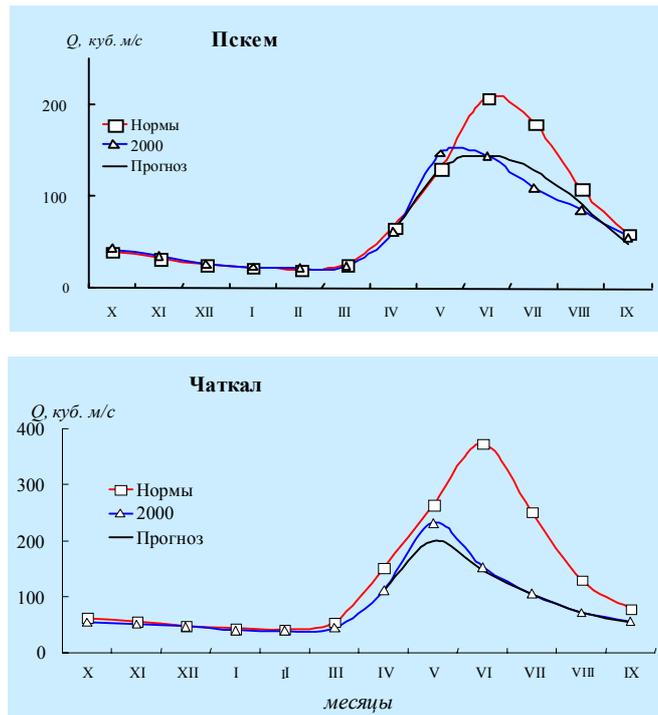


Рис. 30 | Фактические и спрогнозированные по модели гидрографы в сравнении со средними многолетними величинами

Таблица 30 | Ожидаемое изменение водных ресурсов основных рек бассейна Аральского моря при реализации различных климатических сценариях (в % от базовой нормы)

Река	Базовая норма (км ³ /год)	Климатические сценарии		
		ЕСНАМ4	HadCM2	IS92ab
Сырдарья	37,9	-2	-1	-2
Амударья	78,5	-3	-3	-4

5.3 Ледниковые запасы и климатические изменения

В настоящее время широко дискутируется вопрос о причинах сокращения оледенения, является ли доминирующим фактором парниковый эффект или климатическая цикличность?

По мнению В.М.Котлякова за последние 420 тысяч лет было четыре климатических цикла. Холодные периоды были длиннее, чем теплые. По различным причинам температура на Земле то резко падала, то поднималась, разница при этом составляла 10 °С. Даже за последнее тысячелетие колебания температуры составляли 1,5-1,0 °С. Теплыми были VII, XVI, XX века, а холодными XIII-XV и XVII-XIX. То есть нынешнее потепление по его мнению не выходит за рамки естественных колебаний, хотя содержание парниковых газов в атмосфере выросло [15].

Ледниковые запасы, сосредоточенные в горных районах Средней Азии, являются важнейшим источником и многолетним резервом чистой пресной воды. Однако запасы льда не являются стабильными. В настоящее время исследователи-гляциологи отмечают повсеместное отступление ледников: мелкие ледники исчезают, а крупные дробятся. Сокращение площади оледенения приводит к уменьшению объемов талых вод с ледника и уменьшению ледникового стока.

Наблюдения в различных ледниковых районах показали, что сток с ледников убывает медленнее, чем сокращается их площадь. При деградации ледника увеличивается фактическая площадь его деятельной поверхности за счет увеличения расчлененности.

Разные исследователи отмечают несоответствие между увеличивающимся объемом талых вод с отступающего ледника и сократившейся при этом площадью оледенения. Рассматривая изменение ледниковых бассейнов под воздействием климатических факторов гляциологи отмечают, что «межгодовые изменения стока, связанные собственно с деградацией ледников, затушевываются повышенным таянием в маловодные годы: площадь ледников становится меньше, а объем стока с них больше».

Различна реакция оледенения на повышение температуры воздуха. Расчеты гляциологов, выполненные для случаев изменения летней температуры воздуха на 0,5 °C и 1 °C и годовых сумм осадков на плюс-минус 20% показали, что изменение температуры на 1 °C приводит к изменению высоты фирновой границы примерно на 120-140 м. Тот же эффект имеет уменьшение осадков на 20%.

Более сложно влияние изменения этих характеристик на площадь оледенения бассейна. Очевидно, она зависит и от вида распределения атмосферных осадков по высоте и от структуры рельефа. И тот и другой факторы сильно меняются от бассейна к бассейну, что сказывается на различной реакции оледенения на повышение летней температуры воздуха и изменение годовых сумм осадков. Например, повышение температуры на 0,5 °C приводит к уменьшению площади оледенения в бассейнах Сох и Исфара на 8%, а в бассейнах Магиандарьи, Кашкадарьи и Ойгаинга примерно на 30%. Рост температуры на 1°C сокращает площадь оледенения вдвое. Рост температуры на 1 °C сокращает площадь оледенения в этих бассейнах вдвое. Уместно напомнить, что влияние многолетних изменений температуры на такие величины выявить по данным метеорологических наблюдений довольно трудно.

Если рассматривать эволюцию оледенения за последние 50 лет и сравнить данные о морфометрии ледников Каталога СССР, изданного в 1965-1982 годах, с данными наземных наблюдений и АКФС ледниковых районов, то на общем фоне сокращения у ряда ледников выявлены признаки стационарности и некоторого наступания (увеличение линейных размеров, «оживление» «мертвых» языков). Для основной массы ледников характерны признаки сокращения: исчезновение ледников площадью до 1 км², сокращение площадей абляции, распад крупных ледников на отдельные притоки, увеличение площади морен и естественной загрязненности ледников и т.д.

Реакция ледника на изменение климатических параметров (осадки, температура воздуха) носит инерционный характер, причем запаздывание зависит от площади, колеблясь от 0 до 10 лет.

Нужно отметить следующие особенности ледникового стока:

Во-первых, его доля зависит от снежности предшествующей зимы и условий абляции летом, что приводит к увеличению расходов многолетних запасов ледников в мало-снежные годы, позволяющему компенсировать недостаток снеговой и дождевой воды.

Во вторых, сток с ледников имеет ярко выраженный годовой ход, достигая максимума в июле-августе, когда остальные источники воды (сезонный снег и дождь) на большей части территории Средней Азии практически иссякают.

Когда в зоне формирования стока расположены большие ледниковые площади, и когда ледниковое питание превышает 5-10% общего притока воды за год, не учет стока с ледников приводит к значимым погрешностям модельных расчетов летнего стока горных рек. Для расчета ледникового стока в модельный комплекс включена модель формирования ледникового стока, которая рассчитывает суммарный сток с ледников от таяния снега, льда и фирна.

Для описания и расчета процесса суммарного таяния ледников и ледникового стока все множество ледников, находящихся в некотором речном бассейне, рассматривается как единая гляциальная область. В зависимости от размеров бассейна, в пределах гляциальной области выделяется несколько районов - подмножеств, объединяющих произвольное количество однородных единичных ледников. В качестве методической основы для расчета многолетних рядов показателей гидрологического режима ледников приняты математические и физико-статистические модели процессов аккумуляции и таяния снега и льда, характеризующие годовой цикл режима оледенения.

Совершенно очевидно, что оледенение речных бассейнов зависит, с одной стороны от характеристик рельефа, а с другой - от климатических условий. Известно, что ин-

тегральным климатическим показателем для высокогорных районов служит высота фирновой линии. Точность оценок изменения оледенения, в свою очередь, определяется правдоподобностью климатических сценариев.

Оценочные расчеты реакции оледенения на климатические изменения были выполнены для Гиссаро-Алая по методике приведенной в работе [15]. Поскольку во всех сценариях предполагается повышение температуры воздуха, были взяты все сочетания следующих изменений температуры воздуха и осадков: на 0, 1, 2, 3 °С; осадков на – 50%, 0%, 50%, 100%. Результаты расчетов показали, что самым удачным с точки зрения оледенения и ледникового стока является вариант, когда температура останется неизменной, а количество осадков удвоится. В этом случае высота фирновой границы понизится на полкилометра, что приведет к резкому увеличению площади ледников и ледникового стока. Самый неблагоприятный вариант, естественно, когда количество осадков уменьшится вдвое, а температура повысится на 3 °С: фирновая линия повысится на 700 м, площадь оледенения сократится на 86%, а ледниковый сток – на 96%.

Полученные результаты показали, что изменение климатических условий при повышении температуры на 1-2 °С приведет к уменьшению водности рек с преобладанием снегового типа питания, а в отдаленной перспективе резко сократится сток рек снегово-ледникового типа питания.

Повышение температуры воздуха на 1-2 °С усилит процесс деградации оледенения. За период 1957-1980 годов ледники бассейнов рек Аральского моря потеряли 115,5 км³ льда (примерно 104 км³ воды), что составляет почти 20% запасов льда на 1957год. К 2000 году потери составили еще 14% от запасов 1957 года. К 2020-25 году ледники потеряют еще не менее 10% первоначального объема.

Расчеты ледникового стока, выполненные в соответствии со сценариями «переходного состояния» (ICHAM, HADSM) показали, что при реализации этих сценариев к 2025 году может произойти небольшое сокращение ледникового стока (3-5%), при сокращении площади оледенения компенсационное таяние будет происходить за счет увеличения слоя таяния.