

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЧИРЧИК-АХАНГАРАНСКОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНА

1. Климатическое описание

Чирчик-Ахангаранский район расположен в северо-восточной части республики Узбекистан между рекой Сырдарьей и отрогами Западного Тянь-Шаня. На северо-западе по долине Келеса и хребтам Кааржантау и Угамскому проходит граница Узбекистана с Казахстаном, на востоке по Таласскому, Пскемскому и Чаткальскому хребтам - с Кыргызстаном. Кураминский хребет отделяет Чирчик-Ахангаранскую долину от Ферганской долины.

Рельеф Чирчик-Ахангаранского физико-географического района довольно сложный. Юго-западная часть его равнинная, северо-восточная и восточная - горная. С северо-востока на юго-запад, в сторону Сырдарьи, рельеф постепенно понижается. Горные хребты Чирчик-Ахангаранского района, являющиеся западными отрогами Тянь-Шанской горной системы, веерообразно расходятся к юго-западу. Они разделены речными долинами, широкими саями, узкими ущельями.

В целом климат района по классификации Алисова относится к континентальному субтропическому типу. Строго говоря, район расположен у северной границы субтропической и умеренной зон.

В формировании климата рассматриваемого района огромное значение имеют атмосферные процессы, характерные для Средней Азии в целом. Как известно, вся эта территория находится под влиянием западного переноса воздушных масс с присущими ему процессами цикло- и антициклогенеза. Значительную роль играют также циклоны, влажные западные воздушные массы и холодные северные воздушные массы, вызывающие понижение температуры воздуха и выпадение осадков.

Территория Чирчик-Ахангаранского района открыта для вторжения различных воздушных масс. Циклоны пересекая территорию Узбекистана, вызывают резкую смену погоды. С севера, северо-запада и запада на обширные равнины поступают атлантические и арктические воздушные массы. Интенсивные потепления зимой вызываются проникновением тропических воздушных масс в теплых секторах циклонов, которые сменяются резкими похолоданиями.

В горах общий характер циркуляции атмосферы, свойственный равнинам и предгорьям Средней Азии, остается тот же, но распределение климатических элементов в условиях пересеченного рельефа значительно изменяется. Так, горные хребты, расположенные на пути перемещения влажных воздушных масс, вызывают обострение фронтов и создают области значительного увлажнения на наветренных склонах и слабоувлажненные области на подветренных склонах. Распределение других климатических элементов зависит от разнообразия высот и от экспозиции склонов.

Большая роль в формировании климата принадлежит и местной циркуляции, которая складывается из целой системы горно-долинных ветров, фёнов и фёнообразных ветров. Немаловажным фактором являются также и инверсии температуры, благодаря которым в отдельных районах с высотой температура воздуха зимой и в ночное время повышается.

Лето в Чирчик-Ахангаранском районе, особенно на равнинной части, жаркое и продолжительное. *Средняя температура* воздуха в июле на равнинной части +27°C. Максимальная температура воздуха летом +44°C. Зима не очень суровая. Средняя температура января на равнине -1°C, а в горной части от -6°C до -8°C. Зимой часто

бывают оттепели. Однако с приходом холодных воздушных масс температура воздуха может понижаться до -30°C .

Радиационный режим. Благодаря географическому положению территория бассейна р. Сыр-Дарьи получает относительно много лучистой энергии солнца, особенно в летнее время.

Приход коротковолновой радиации в равнинной и предгорной частях бассейна за год колеблется в пределах $137\text{—}139 \text{ ккал/см}^2$. С высотой местности вследствие уменьшения плотности и запыленности воздуха суммарный приток солнечной радиации увеличивается.

Упругость водяного пара, содержащегося в воздухе, в годовом ходе, как и температура воздуха, достигает наименьших значений зимой, наибольших летом - в июле.

В январе средняя месячная упругость водяного пара в равнинной части района возрастает с юго-запада, где она составляет 3,5-4,0 мб. Средние месячные величины упругости водяного пара в предгорьях западных отрогов Тянь-Шаня составляют 5-6 мб. По мере увеличения высоты в горных районах упругость водяного пара уменьшается и на высотах около 2000 м составляет в среднем за январь 2,5 - 3 мб.

С апреля начинается интенсивное увеличение упругости водяного пара, которое длится вплоть до июля. Наибольших значений в западных отрогах Тянь-Шаня, отличающейся богатой растительностью. При дальнейшем продвижении вверх и вглубь горных отрогов отмечается уменьшение упругости водяного пара, вызванное падением температуры воздуха с высотой. На высотах, близких к 2000 м, упругость водяного пара в среднем за июль составляет 6-9 мб. С сентября средняя месячная упругость водяного пара начинает значительно уменьшаться.

Относительная влажность воздуха, характеризующая степень насыщения воздуха водяным паром, меняется в течение года в широких пределах. Наибольший интерес представляет распределение относительной влажности воздуха в 13 час., когда ее значения близки к минимальному и испарение происходит наиболее интенсивно, в ночное же время она обычно высока в течение всего года. В предгорных и горных частях района средняя относительная влажность в 13 час. изменяется от 70 до 50%. С марта начинается интенсивное понижение относительной влажности.

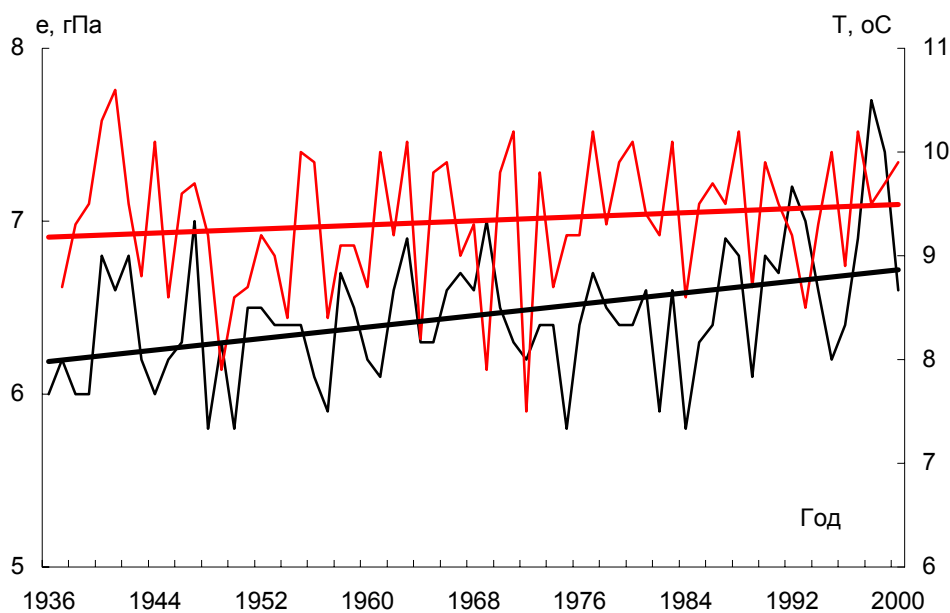


Рис. 1.

Изменение среднегодовой температуры воздуха (—) и упругости водяного пара (—) на станции Пскем.

Количество осадков на территории района распределено неравномерно. По направлению к северо-востоку (ближе к горам) количество осадков увеличивается. Так, на юго-западе района в долине Сырдарьи, в год выпадает 250-300 мм осадков, в Ташкенте - 367 мм, в северо-восточной части Пскенской долины - до 800 мм.

Бассейн реки Ахангаран расположен на периферии Западного Тянь Шаня, благополучно ориентирован относительно влагонесущих вторжений с запада и юго-запада. Размер его бассейна близок к тому критическому, при котором мезоорографический эффект еще не проявляется и ведущим аргументом при расчете поля осадков остается высота местности. При расчете поля осадков в бассейнах рек Пскем и Чаткал необходимо учитывать обратный продольно-циркуляционный эффект, проявляющийся в убывании осадков при продвижении вглубь речных долин. Причем в бассейне реки р.Чаткал дополнительно влияет экранированность долины массивом Большого Чимгана, что приводит к усилению этого эффекта.

Две трети годовых осадков района приходится на зимние и весенние месяцы. Март - наиболее богатый осадками месяц: на него приходится свыше 20% их годового количества. Июль, август, сентябрь - наиболее засушливые месяцы, осадков в это время почти не бывает. В целом на территории Чирчик-Ахангаранского района осадков значительно меньше, чем испаряемость. На большей части района среднегодовое количество осадков составляет 400 мм, а при температурных условиях этих мест может испаряться 1000мм влаги, т.е. коэффициент увлажнения составляет 0,4.

Влажность воздуха имеет большое значение в условиях засушливых районов, к которым относится Чирчик-Ахангаранский. Содержание водяного пара в атмосфере по территории района сильно меняется в зависимости от физико-географических условий местности, времени года и состояния поверхности почвы и т.д.

На юго-восточных склонах Чаткальского хребта атмосферных осадков выпадает мало.

В среднегорной зоне бассейнов рек Чирчик и Ахангаран наибольшие месячные суммы осадков отмечаются в марте — апреле, иногда в мае. Минимум приходится преимущественно на август—сентябрь.

Вся территория Чирчик-Ахангаранского района, занимающего северо-восточную часть Узбекистана, отличаются большим разнообразием в распределении осадков и влажности воздуха, так как на режим увлажнения влияют высота над уровнем моря, форма рельефа, экспозиция склонов. Значительно увеличивается увлажнение на западных и юго-западных склонах, открытых для влажных воздушных масс, поскольку горные склоны способствуют упорядочиванию и усилению конвективных процессов. Горные долины и широкие котловины, имеющие открытый выход на запад, также богаты осадками. Примером могут служить долина р. Чирчика, в верхней части которой выпадает до 800-900 мм, и достаточно широкая и открытая на юго-запад долина р. Ангрена, в северной части которой, в бассейне р. Кызылча, по данным суммарных осадкомеров, выпадает 1300-1400 мм осадков. Анализ данных наблюдений показывает, что наибольший рост осадков происходит на западных и юго-западных склонах хребтов.

Так, вертикальные градиенты осадков на 100 м поднятия составляют в долине Чирчика, открытой на юго-запад, 65-85 мм, на юго-восточном склоне Чаткальского хребта 30-35 мм.

Жидкие осадки по равнинной части Чирчик-Ахангаранского района возможны круглый год. Но на высотах около 2000 м (например, Ангрен, плато) они отсутствуют совершенно в декабре-январе и очень редко (менее 0,5%) наблюдаются в ноябре и феврале.

Число дней с сильными осадками, например 10 мм и более, колеблется от 1-3 дней на равнинной части до 10-20 в предгорьях. На хорошо увлажненных западных склонах оно составляет в среднем за год 25-30 дней. Осадки более 20 мм за сутки наблюдаются очень редко.

Анализ данных наблюдений показал, что для предгорной зоны Чирчик-Ахангаранского района очень сильная засуха (дефицит осадков более 50%) весной наблюдается редко (1-3 раза за 100 лет), а засуха с дефицитом сезонных сумм осадков в 20-25% является достаточно регулярным явлением, наблюдаемым с вероятностью 30%. //.

Наибольший интерес, с точки зрения изменения климата представляет оценка индекса засушливости Д. А. Педя, т.к. в него входят значения температуры и осадков в нормированном виде, что позволяет объективно сравнивать тенденции различных станций и отдельных сезонов. Этот индекс иногда называют индексом Сазонова):

$$S = \frac{\Delta t_i}{\sigma_t} - \frac{\Delta P_i}{\sigma_p},$$

где Δt и σ_t - аномалия и среднеквадратическое отклонение средней месячной температуры, ΔP и σ_p - аномалия и среднеквадратическое отклонение месячных сумм осадков. Использование нормированных величин позволяет применять данный индекс для сравнения в различных ситуациях, поскольку он характеризует конкретную метеорологическую ситуацию по отношению к некоторому среднему уровню.

С помощью индекса S можно характеризовать условия как влагообеспеченности, так и теплообеспеченности, поскольку в отличие от гидротермического коэффициента, это знакопеременная величина: положительным значениям S соответствуют засушливые периоды, отрицательным - влажные. Этому может быть дана другая интерпретация, а именно: положительными значениям S соответствует повышенный термический режим какого-либо периода, отрицательным - возврат холодов.

Синхронность колебаний показателя засушливости отмечается и на станциях Чирчик-Ахангаранского района, расположенного в предгорной и горной зонах. Изменения сезонных значений индекса засушливости S для станции Ташкент представлены в сравнении с изменениями годовых значений (рис. 2). Прослеживаются более четкие тенденции к росту засушливости климата летом и осенью при сохранении высокой изменчивости во времени.

Экстремально засушливые годы практически всегда в рассматриваемом районе фиксируются синхронно.

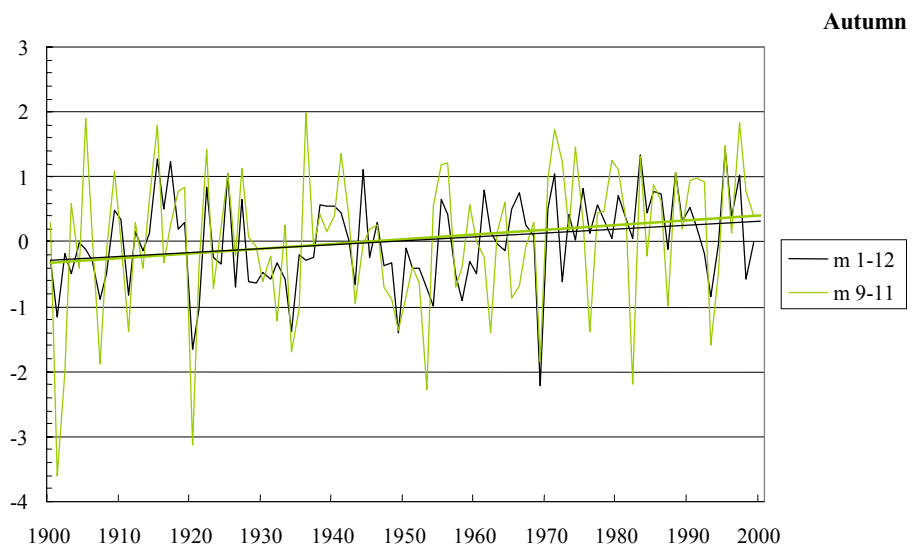
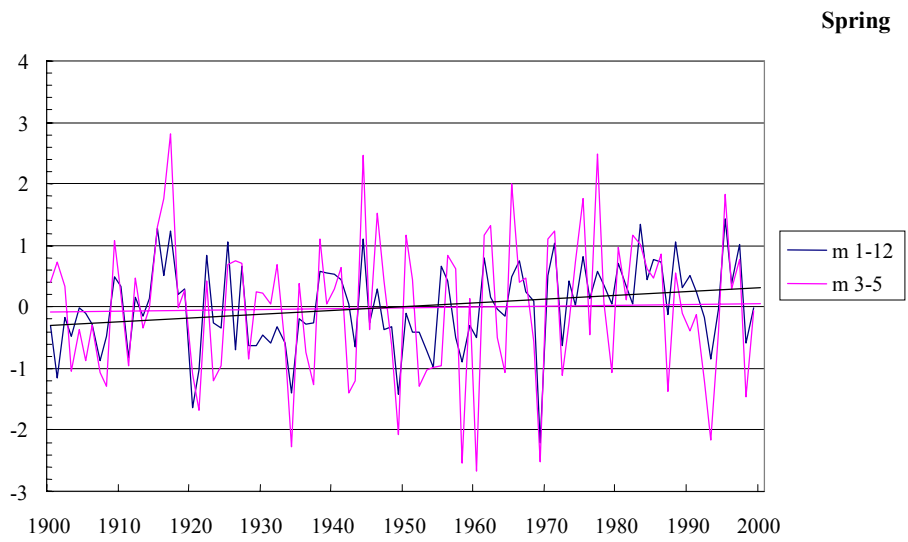
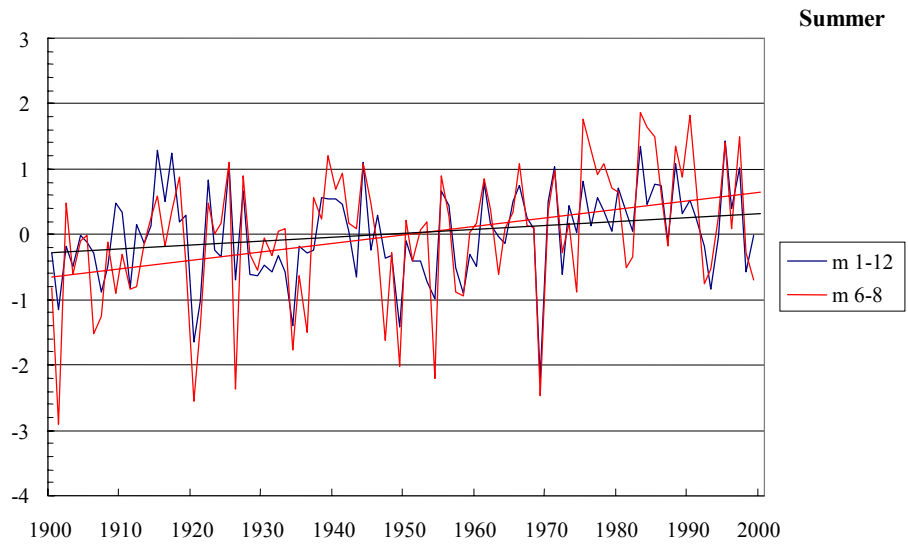


Рис. 2. Изменения сезонных значений индекса засушливости S для станции Ташкент

Испарение с суши. В горных районах величина испарения с высотой убывает. Так, в долинах рек Чаткал, Пскем в зоне высот 1200—2000 м за год испарение составляет 180 мм. Максимальное среднее месячное испарение составляет 55—65 мм и отмечается в мае. В условиях плато на такой же высоте величина испарения выше, чем в долинах. Например, на Ахангаранском плато испарение достигает 240 мм в год, а в отдельные летние месяцы— 70 мм.

Ветер. В горной области режим ветра складывается главным образом под влиянием общей циркуляции атмосферы во взаимодействии с воздушными течениями внутри горной страны, где преобладающими оказываются местные ветры. Типичными для местной циркуляции являются горно-долинные ветры, согласующиеся с направлением долины; ветры склонов, представляющие собой термическую циркуляцию между склоном и равниной, или дном долины. Широкое распространение имеют фены и фёнообразные ветры.

В крупных горных долинах рек Чаткал и Ахангаран, направленных с северо-востока на юго-запад, в течение всего года преобладают ветры северо-восточного направления. Повторяемость их зимой составляет 55—65%. Средние скорости ветра колеблются от 3 до 6 м/сек.

Снежный покров. В зоне предгорий появление снежного покрова приходится преимущественно на двадцатые числа ноября. По мере увеличения высоты в горах появление снежного покрова происходит в более ранние сроки. На высоте 2000 м и более (Ангрен, плато) появление снежного покрова наблюдается в середине октября. Сроки появления снежного покрова колеблются из года в год довольно значительно.

Образование устойчивого снежного покрова происходит обычно в декабре, причем в северной части района, расположенной на высоте около 1000 м, оно отмечается в двадцатых числах декабря. По мере увеличения высоты начало устойчивого снежного покрова сдвигается на более ранние даты декабря или на конец ноября. На высотах более 2000 м устойчивый снежный покров образуется местами уже в конце октября.

Анализ рядов наблюдений за снежным покровом показывает, что тенденция его сокращения наметилась в последние 10-15 лет. При этом отмечается синхронность изменений числа дней со снежным покровом и его максимальной высоты.

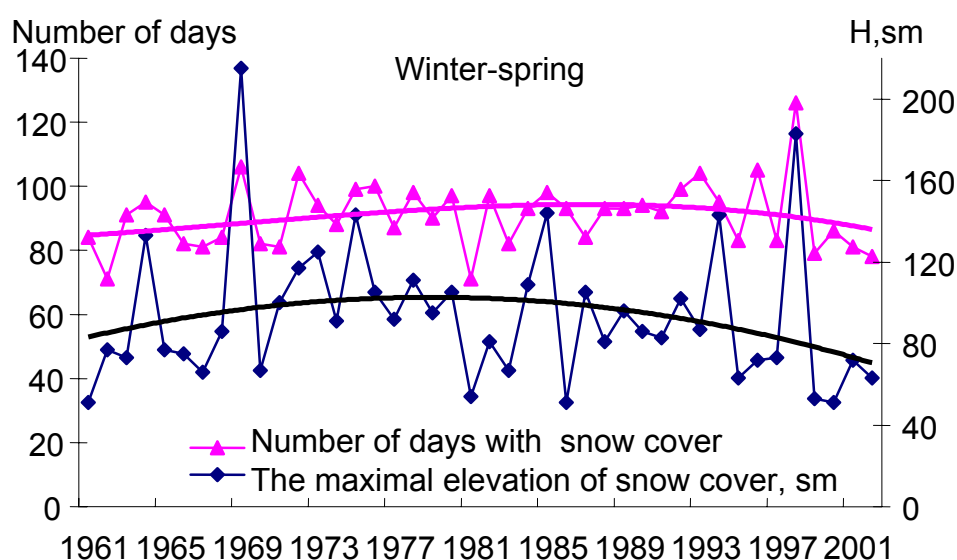


Рис. 3. Изменение числа дней и максимальной высоты снежного покрова на станции Пскем.

Сток

Основным источником питания рек рассматриваемого района являются талые воды сезонного снежного покрова. меньший удельный вес составляют воды ледников, а также дождевые воды. Река Пскем образуется слиянием рек Майдантал и Ойгаинг, площадь ее водосбора 2840 км². Река Чаткал имеет площадь водосбора 8870 км² и также как и река Пскем составляет приток в Чарвакское водохранилище.

2. Климатические сценарии

Методические основы

Наблюдаемое изменение климата (глобальное потепление) напрямую связывается с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере. Скорость и величины глобального потепления и его отклик в отдельных регионах зависят от величин глобальных выбросов парниковых газов в атмосферу Земли в будущем.

Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) предложен ряд сценариев эмиссии парниковых газов (IS92a,...,IS92f). Сценарий IS92a предполагает рост концентрации CO₂ на 1% в год, что соответствует возрастанию населения мира возрастет до 11,3 миллиардов к 2100 году, экономический росту в 2,3-2,9% в год без мер по ограничению выбросов в атмосферу парниковых газов. Это так называемый сценарий "невмешательства". 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.

В соответствии с описанными выше сценариями имеется столько же вариантов увеличения глобальной температуры воздуха, причем каждый вариант имеет свои пределы неопределенности. Наиболее надежным инструментом для моделирования физических процессов, определяющих климатические изменения, считаются трехмерные численные модели общей циркуляции. Качество воспроизведения климатическими моделями изменений температуры воздуха в масштабах полушарий и континентов выше, чем для отдельных регионов. Кроме того, качество оценок изменения регионального климата зависит от расположения региона, его физико-географических условий и используемых моделей. Большое осреднение по площади, характерное для глобальных моделей, уменьшает амплитуду колебаний региональных климатических характеристик.

Несмотря на значительные неопределенности, модели успешно применяются для описания глобального климата в целом и климата отдельных регионов. Результаты, получаемые по глобальным моделям общей циркуляции атмосферы и океана, представляют собой наиболее подходящую основу для построения региональных сценариев изменения климата и региональных оценок уязвимости. При использовании результатов глобальных моделей для оценки региональных климатических изменений необходимо учитывать присущие отдельным регионам географические особенности, связанные с рельефом местности, водными объектами, характером подстилающей поверхности и др. Для этой цели используются методики «downscaling», с помощью которых даваемые моделями климатические характеристики преобразовываются к необходимым для дальнейшего использования метеорологическим параметрам с нужным пространственным и временным разрешением.

В данном отчете приведены результаты по построению региональных климатических сценариев с применением двух методических подходов. *Первый* -

использование зависимостей между глобальной температурой и региональными климатическими характеристиками. Этот эмпирико-статистический метод описан в работах / 6,10,12 /. В данном варианте оценки изменений глобальных климатических характеристик взяты из Технического руководства МГЭИК для условий высокой чувствительности климата к повышению концентрации парниковых газов в атмосфере для сценариев эмиссии МГЭИК, объединенных попарно (сценарии IS92c и IS92d, IS92a и IS92b, IS92e и IS92f). **Второй** - статистическая интерпретация результатов моделей в узлах регулярной сетки, с применением концепции «идеального прогноза». В данном варианте использованы выходные результаты моделей для условий средней чувствительности климата к повышению концентрации парниковых газов в атмосфере в соответствии с различными сценариями.

Сценарии, основанные на зависимостях между глобальной температурой и региональными климатическими характеристиками

Изучение динамики климата Узбекистана показало, что изменение термического режима республики имеет ход аналогичный глобальным изменениям. Установлена значимая статистическая зависимость между значениями среднегодовой температуры воздуха по станциям и районам Узбекистана и прилегающей горной территории с глобальной температурой.

Как известно, любое влияние деятельности человека на климат накладывается на фоновый "шум" естественной климатической изменчивости, связанной как с внутренними флуктуациями, так и с воздействием внешних факторов, таких, как изменение солнечной активности, орбитальных параметров Земли, вулканических извержений и др.

Исследования, проведенные по диагнозу и анализу существующих изменений климата Узбекистана, позволили выявить ряд циклических колебаний во временных рядах температуры воздуха. В изменениях среднегодовой температуры воздуха, средней температуры воздуха за холодное и теплое полугодия на фоне существующей тенденции к потеплению обнаружена квази-22-летняя цикличность, т.е. цикличность близкая к так называемому хейловскому циклу геомагнитной активности. Данная цикличность описывает более 20% дисперсии исходных рядов. Учет имеющихся природных цикличностей и тенденций позволит уменьшить неопределенность оценок изменения климата на будущее.

Сценарии изменений температуры воздуха

Рассчитанные по вышеописанному методу оценки временного хода возможных изменений температуры на отдельных станциях объединялись в группы в соответствии с величинами самих изменений.

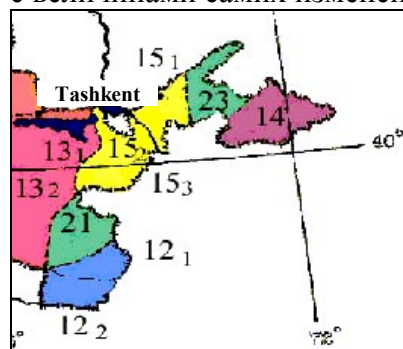


Рис.4. Расположение

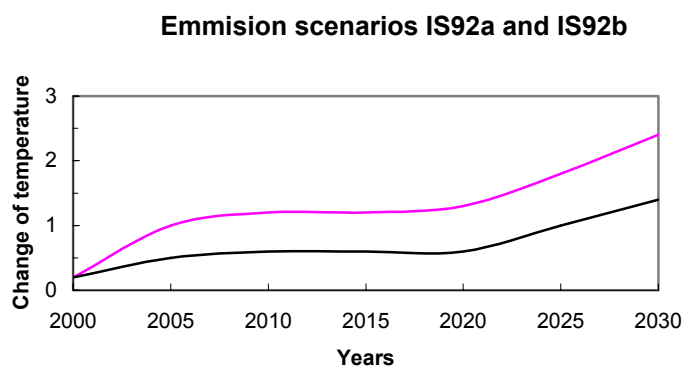
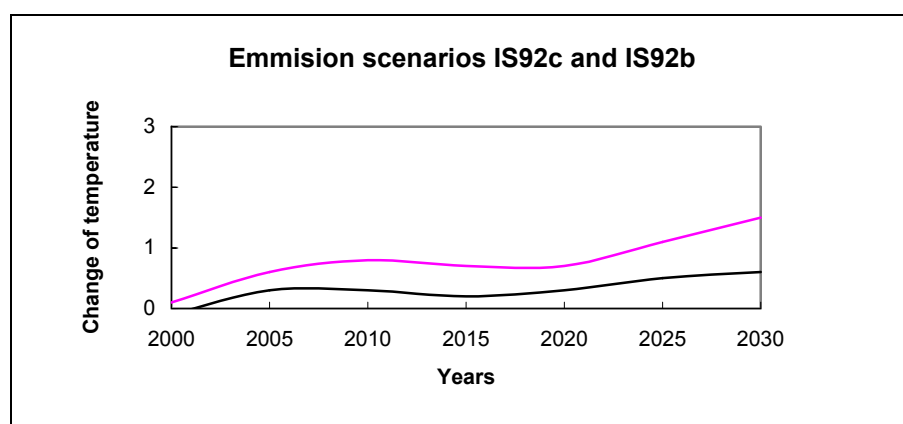
Путем осреднения для каждого сезона были получены наборы значений, характеризующие модельный прогноз изменений температуры с 2000 по 2030 год в предположении высокой чувствительности климата. Каждый набор характеризует климатические районы в соответствии с Рис. 4.

Чирчик-Ахангаранский район включает климатические районы 15₁ и 23. Далее в таблицах оценки изменений выполнены дифференцированно для различных высотных зон 23 климатического района,

климатических районов которым присвоена нумерация 23₁ и 23₂ .

После процедуры пространственно-временного осреднения были построены региональные климатические сценарии Узбекистана. Двадцатилетняя цикличность при осреднении температуры значительно сглаживается. Временной ход среднегодовых температур в соответствии со сценариями эмиссии IS92a и IS92b для различных районов Узбекистана представлен на рис. 5 .

В Табл.1-2. помещены оценки возможных изменений среднегодовой температуры воздуха и средних температур по сезонам, полученные в предположении реализации вышеуказанных сценариев выбросов парниковых газов объединенных попарно: IS92c и IS92d (характеризует минимальные выбросы), IS92a и IS92b (характеризует средние выбросы), IS92e и IS92f (характеризует макимальные выбросы). В дальнейшем объединенные сценарии будем называть cd, ab и ef.



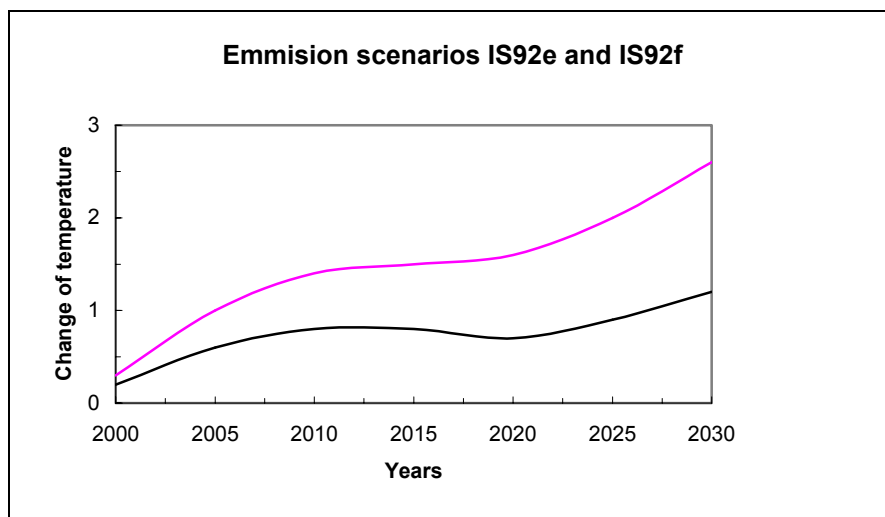


Рис. 5. Диапазон возможных изменений аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов 15₁ и 23.

В рассматриваемом районе наибольшее потепление ожидается в предгорной зоне для всех сценариев. По мере повышения высоты места отклик на глобальное потепление в районе ослабевает. Диапазон повышения показан на рис. 4, а численно в табл.1-4.

Сценарии изменения осадков

Потепление атмосферы ведет к повышению ее влагосодержания и к увеличению переноса водяного пара в высокие широты. Все модели в результате повышения концентрации CO₂ дают увеличение средних глобальных осадков. По модельным оценкам осадки возрастают в высоких широтах зимой, в большинстве случаев увеличение осадков захватывает и средние широты. Однако некоторые модели для отдельных регионов дают даже некоторое уменьшение количества осадков.

В качестве сценария возможных изменений осадков в Средней Азии в данной работе используется экспертная оценка, основанная на многочисленных модельных оценках, существующих региональных климатических тенденциях в режиме выпадения осадков и вышеописанном эмпирико-статическом методе, учитывающем отклик изменений регионального климата на происходящее глобальное потепление.

С целью составления сценария изменений режима выпадения осадков по Узбекистану и прилегающей горной территории выделены линейные тренды во временных рядах годовых сумм осадков по опорным станциям и рассчитаны оценки его возможных изменений с учетом отклика на глобальное потепление в случае реализации различных сценариев эмиссии парниковых газов. Анализ полученных результатов показал, что линейные тенденции, проэкстраполированные к 2030 году, согласуются с расчетными значениями осадков для сценариев выбросов IS92c и IS92d (cd) в предположении низкой чувствительности климата. Поэтому полученные с помощью этих двух подходов значения приняты в качестве минимальных оценочных значений к 2030 году. При реализации остальных сценариев выбросов ожидается дополнительное увеличение осадков, что согласуется с глобальными модельными оценками. Полученные таким образом оценки возможных изменений режима

выпадения годовых сумм осадков исследуемого региона для различных сценариев эмиссии парниковых газов приведены на рис. 6.

Таблица 1

Оценка изменений средне сезонной среднегодовой температуры воздуха по климатическим районам (сценарии эмиссии ab-умеренный, cd-слабый, cd-жесткий)

Декабрь-февраль				
Номер и название климатического района	Климат базового Периода	Региональный климатический сценарий к-2030 году		
		ab	cd	ef
15. Ташкентский (15 ₁)	1,8	2,5	2,0	3,0
23. Западный Тянь-Шань 1000-1500м н. У. м. (23 ₁)	-2,2	1,5	0,5	2,0
1600-2100м н. у. м. (23 ₂)	-10,8	1,5	0,5	2,0
Март-май				
15. Ташкентский (15 ₁)	14,5	1,0	0,5	1,5
23. Западный Тянь-Шань 1000-1500м н. у. м. (23 ₁)	9,0	0,0	0,0	0,0
1600-2100м н. у. м. (23 ₂)	3,3	0,0	0,0	0,0
Июнь-август				
15. Ташкентский (15 ₁)	26,0	2,0	1,5	2,5
23. Западный Тянь-Шань 1000-1500м н. у. м. (23 ₁)	20,8	0,0	0,0	0,0
1600-2100м н. у. м. (23 ₂)	15,0	0,0	0,0	0,0
Сентябрь-ноябрь				
15. Ташкентский (15 ₁)	13,6	2,0	0,5	2,0
2100-3000м н. у. м. (21 ₂)	6,0	1,0	1,0	1,0
23. Западный Тянь-Шань 1000-1500м н. у. м. (23 ₁)	10,0	1,0	1,0	1,5
1600-2100м н. у. м. (23 ₂)	3,7	1,0	1,0	1,5
Год				
15. Ташкентский (15 ₁)	14,2	2,0	1,0	1,5
23. Западный Тянь-Шань 1000-1500м н. У. м. (23 ₁)	9,5	1,0	0,5	1,0
1600-2100м н. у. м. (23 ₂)	2,8	1,0	0,5	1,0

Таблица 2

Возможные изменения к 2030 году сезонной температуры воздуха (°C) по станциям

Станции	Климатические сценарии							
	Зима				Лето			
	Норма	ab	cd	Ef	Норма	ab	cd	ef
Пскем	-2.3	1.3	1.1	1.4	20.8	0.1	0.1	0.1
Чарвакское в-ще	-0.2	1.0	1.0	1.0	23.2	0.1	0.0	0.2
Чаткал	-12.0	2.3	1.8	2.6	16.1	0.7	0.5	0.8

Станции	Весна				Осень			
	Норма	IS92ab	IS92cd	IS92ef	Норма	IS92a	IS92cd	IS92ef
Пскем	9.1	0.0	0.0	0.1	10.0	0.8	0.5	1.0
Чарвакское в-ще	11.5	0.4	-0.3	-0.5	12.1	1.0	0.7	1.3
Чаткал	2.9	0.2	0.0	0.4	4.2	1.1	0.5	1.4



Рис. 6. Изменение (%) годовых сумм осадков к 2030 году в Узбекистане и прилегающей горной территории по сравнению с 1961-1990 годами.

Для сценариев выбросов cd:
1 - 100-105%; **2** - 105-110%; **3** - 110-115%;
 Для сценариев выбросов ab:
1 - 105-110%; **2** - 110-115%; **3** - 115-120%;
 Для сценариев выбросов ef:
1 - 110-115%; **2** - 115-120%; **3** - 120-125%.

В настоящей работе проведено уточнение климатических сценариев для станций, находящихся в зоне формирования и в зоне использования стока. В таблицах 6-9 приводятся возможные изменения основных климатических характеристик (температуры воздуха и осадков) по станциям в годовом и сезонном временных масштабах.

Таблица 3

Возможные изменения среднегодовой температуры воздуха к 2030 году по станциям горной территории для различных сценариев выбросов

Станция	Норма	Климатические сценарии		
		IS92ab	IS92cd	IS92ef
Пскем	9.4	1.2	0.9	1.5

Чарвакское в-ще	11.6	0.9	0.6	1.1
Чаткал	2.7	1.3	0.9	1.5

Таблица 4

Возможные изменения к 2030 году годовых сумм осадков
(в % от нормы) по станциям горной территории для различных сценариев выбросов

Станции	Норма, мм	Климатические сценарии		
		IS92ab	IS92cd	IS92ef
Пскем	823	109	107	111
Чаткал	437	105	103	108

Оценка изменений климатических условий по территории Чирчик-Ахангаранского района с учетом существующих модельных оценок и эмпирико-статистического метода указывает что мы должны ожидать некоторого увеличения (от 0 до 15%) годовых сумм осадков и повышения температуры во все сезоны года.

Построение региональных сценариев изменения климата на основе выходных результатов глобальных климатических моделей

Проведенный ранее анализ показал, что невозможно выбрать единственную модель общей циркуляции, наилучшим образом описывающую климат по Узбекистану и прилегающей горной территории.

Учитывая существующую неопределенность моделей и необходимость при построении региональных сценариев климата отразить возможный в будущем весь диапазон изменений, нами в качестве основы выбраны две модели:

1) HadCM2 (UK, Hadley Centre); 2) ECHAM4 (Germany, Max Planck Institute).

Климатическая модель ECHAM4 создана на основе модели Европейского Центра Среднесрочных Прогнозов Погоды (ECMWF) и параметризации, разработанной в Гамбурге, позволяющей использовать эту модель для воспроизведения и прогнозирования климата. Это модель переходного состояния. Модель включает 19 уровней в атмосфере и 11 в океане. В соответствии с данными модели глобальное потепление к 2071-2100 годам ожидается на 3°C, и глобальные осадки должны увеличиться на 1.97% по отношению к нормам 1961-1990 годов. Кроме того, в данном варианте расчетов учтено смягчающее влияние сульфатных аэрозолей.

Климатическая модель HadCM2 является версией модели Метеорологического Центра Великобритании (UK Meteorological Office (UKMO)). Это модель переходного состояния. Модель включает 19 уровней в атмосфере и 20 в океане. В соответствии с данной моделью повышение глобальной температуры к 2071-2100 годам составит 3.1°C, глобальные осадки должны увеличиться на 5.01% по отношению к нормам 1961-1990 годов. В данном варианте расчетов также учтено смягчающее влияние сульфатных аэрозолей.

В настоящей работе для построения региональных климатических сценариев по территории Станции Чирчик-Ахангаранского района использован метод статистической интерпретации, основанный на концепции «идеального прогноза» с применением пошаговой множественной линейной регрессии. В качестве предикторов в методе статистической интерпретации на концепции “идеального прогноза” используются архивы аномалий климатических параметров месячного разрешения в узлах сетки. Предиктантами являются фактические данные климатических параметров по станциям Чирчик-Ахангаранского района и прилегающей горной территории.

Таблица 5

Список опорных станций их номера в соответствии с полным списком климатических базовых норм

Станции Чирчик-Ахангаранского района	
36.Ташкент	42.Пскем
37.Туябугуз	43.Дукант
38.Кокарал	44.Ойгаинг
39.Каунчи	9. Чаткал (Киргизия)
40.Дальверзин	
41.Сырдарья	

Большинство методов статистической интерпретации разрабатываются для специфических приложений, то есть с целью использования конечных результатов для оценок влияния климата на сельское или лесное хозяйство, водные ресурсы и т.д. Эти методы применимы только для конкретного географического региона и не могут быть легко использованы для других физико-географических условий. Региональные климатические сценарии, полученные на основе статистической интерпретации моделей, предполагают сохранение статистических зависимостей крупномасштабного и мезомасштабного климата в будущем.

Данная методика позволила получить детализированные по территории сценарии и учесть региональные особенности. Среднемесячные температуры воздуха по выбранным моделям (HadCM2 ECHAM4) представлены в аномалиях, а месячные суммы осадков в процентах от нормы 1961-1990 годов.

Построение сценариев на ближайшую перспективу выполнено в соответствии со средним сценарием эмиссии (IS92a) и средней чувствительности моделей к повышению концентрации парниковых газов в атмосфере. Рассчитанные величины представляют собой 30 летние средние значения на 2030 год, т.е. диапазон осреднения охватывает период 2011-2040 годы. Методика статистической интерпретации позволила рассчитать ожидаемые по сценарию изменения для отдельных станций Узбекистана и Киргизии (табл. 5).

Таблица 6

Изменения среднемесячных температур воздуха по модели ECHAM4 к 2030 году (отклонения от базовой нормы)

Номер станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	1.6	1.7	0.6	0.5	1.0	0.7	0.7	1.1	0.9	0.8	0.6	0.7
37	1.7	2.0	0.6	0.5	0.8	0.5	0.6	0.9	0.6	0.7	0.3	0.7
38	1.7	2.0	0.6	0.5	1.1	0.5	0.7	1.0	0.8	0.8	0.5	0.7
39	1.7	1.9	0.6	0.5	0.9	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.5	0.9
40	1.7	2.0	0.6	0.5	1.0	0.6	0.6	1.0	0.6	0.5	0.5	0.9
41	1.7	2.0	0.6	0.5	1.0	0.5	0.6	0.8	0.8	0.6	0.4	0.8
42	1.2	1.4	0.7	0.6	0.9	0.9	1.4	1.4	1.4	1.2	0.4	0.7
43	1.1	1.3	0.8	0.6	0.9	1.2	1.3	1.3	1.7	1.4	0.9	0.6
44	0.9	1.3	0.8	0.9	1.4	1.0	1.5	1.4	1.6	0.8	0.4	0.7
9	0.6	0.8	1.0	1.1	0.5	0.7	0.9	1.1	0.9	0.9	0.9	1.0

Таблица 7

Изменения среднемесячных температур воздуха по модели HadCM2 к 2030 году
(отклонения от базовой нормы)

Номер станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	1.0	1.1	0.4	0.4	0.6	0.5	0.3	0.8	0.7	0.9	0.3	0.6
37	1.0	1.2	0.4	0.4	0.5	0.3	0.3	0.6	0.4	0.9	0.3	0.6
38	1.1	1.2	0.4	0.4	0.8	0.3	0.6	0.9	0.7	0.8	0.3	0.6
39	1.0	1.2	0.4	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.3	0.8
40	1.1	1.2	0.4	0.4	0.8	0.4	0.4	0.7	0.4	0.7	0.3	0.8
41	1.1	1.2	0.4	0.4	0.7	0.4	0.3	0.6	0.6	0.7	0.3	0.7
42	0.8	0.9	0.4	0.4	0.6	0.6	0.8	1.0	1.1	1.2	0.3	0.7
43	0.7	1.1	0.4	0.5	0.6	0.8	0.7	1.0	1.2	1.5	0.7	0.6
44	0.6	0.9	0.5	0.7	1.0	0.5	0.9	1.1	1.2	0.7	0.3	0.6
9	0.6	0.8	1.0	1.1	0.5	0.7	0.9	1.1	0.9	0.9	0.9	1.0

Для летних месяцев на станциях, где осадки практически не наблюдаются не было возможности построить уравнения связи, поэтому ожидаемые по сценариям значения оставлены без изменений, т.е. они соответствуют базовой норме 1961-1990 годов (100%)

Таблица 8

Изменение осадков по модели ECHAM4 к 2020 году
(отношение к базовой норме в %)

Номер станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	103	106	123	105	92	142	196	192	121	90	117	114
37	103	112	117	106	90	190	166	100	107	91	128	126
38	102	112	115	106	85	94	128	100	111	91	127	130
39	104	110	118	105	93	128	178	100	130	90	121	122
40	102	111	115	106	91	76	153	118	114	94	126	122
41	103	114	121	109	95	88	144	100	102	91	122	125
42	105	107	116	104	93	101	138	134	117	90	109	114
43	103	109	114	107	92	120	138	160	119	90	120	122
44	103	108	117	104	92	99	143	140	108	91	122	117
9	105	105	105	101	95	89	131	124	121	94	108	115

Таблица 9

Изменение осадков по модели HadCM2 к 2020 году (отношение к базовой норме, %)

Номер станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	115	121	107	97	116	183	160	149	107	123	122	115

37	118	121	108	97	116	183	100	134	109	130	131	118
38	119	120	107	92	106	183	100	137	109	130	134	119
39	117	121	106	101	116	183	100	156	108	128	126	117
40	116	121	108	97	88	183	140	145	114	130	127	116
41	120	121	109	104	104	183	100	126	108	129	129	120
42	115	121	108	99	116	158	145	146	102	114	121	115
43	117	121	110	97	116	168	160	149	105	127	129	117
44	117	121	108	97	115	171	150	130	105	130	125	117
9	114	113	106	100	96	149	134	146	111	114	126	114

Построенные в рамках реализации методики уравнения регрессии позволяют дать только предварительную оценку изменений влажности в условиях климатического сценария. Для практических целей в качестве сценария относительной влажности воздуха на ближайшую перспективу возможно использовать величины, осредненные за последнее десятилетие, как аналога будущего потепления. Порядок станций соответствует списку, приведенному в таблице 5.

Таблица 10

Средние значения относительной влажности (%) за период 1991-2000 годы
(как аналоговый сценарий влажности)

Номер станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	73	68	63	59	58	48	44	44	49	59	69	72
37	81	76	68	60	56	45	44	45	48	57	71	80
38	87	84	76	69	65	56	58	63	65	69	79	86
39	85	80	71	63	59	49	47	50	54	63	76	85
40	80	76	73	65	60	50	51	57	61	69	77	80
41	88	83	76	70	65	58	59	62	64	72	82	88
42	69	68	67	60	62	54	47	39	41	53	65	70
43	57	61	68	62	61	49	43	39	42	50	56	56
44	72	72	75	72	65	61	57	49	49	59	69	71

3. Оценка изменения водных ресурсов Чирчик-Ахангаранского бассейна при возможных изменениях климата

В современных условиях дефицита водных ресурсов в республике 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 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 Пскем, Чаткал, Ахангаран, приток в Чарвакское водохранилище.

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.

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 разрабатываются 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 (IS92a,.....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.11 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 11

Нормы и возможные изменения стока рек Чирчик-Ахангаранского гидрологического района 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

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 12 и показывают тенденцию сохранения стока на существующем уровне и даже некоторое его уменьшение.

Таблица 12

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

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 и океана. В данном случае, для построения региональных климатических сценариев на ближайшую перспективу, то для этой цели используем выходные результаты моделей в переходном состоянии (Модели ECHAM4 и HadCM2).

В таблице 13 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 13

Нормы и возможные изменения вегетационного стока рек Чирчик-Ахангаранского района к 2025 году при различных климатических сценариях

Река	Q	Q _{норма}	Q в % от нормы для различных климатических сценариях		
			ECHAM4	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

На рис. 7 представлено изменение притока в Чарвакское водохранилище при реализации климатических сценариев «переходного состояния» и регионального сценария.

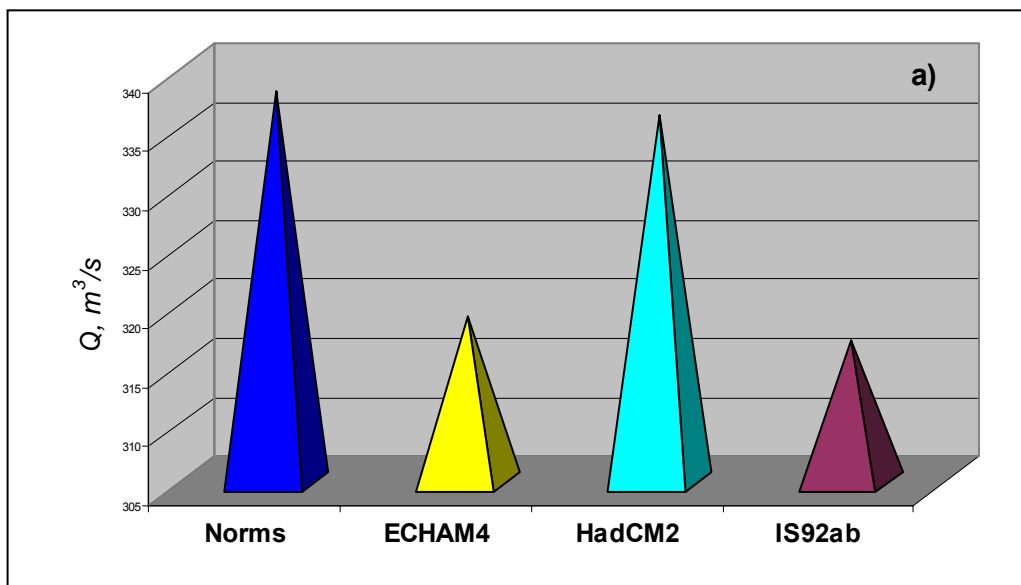


Рис.7. Изменение притоков воды в Чарвакское водохранилище при различных климатических сценариях

Результаты расчетов показывают, что существенного сокращения стока рек Чирчик-Ахангаранского района не произойдет. Можно ожидать возрастания межгодовых колебаний величин стока.

Ледниковые запасы и климатические изменения

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.

Последняя оценка современного состояния оледенения была выполнена гляциологами НИГМИ для отдельного горного бассейна на территории Узбекистана – верховьев реки Пскем и его левой составляющей реки Ойгаинг. Информационной основой для этого послужил цифровой космический снимок высокого пространственного разрешения ASTER за 2001 г. Площадь оледенения бассейна реки Ойгаинг составила по расчетам гляциологов – 38.8 км². По результатам обработки космических снимков

1980 года площадь суммарного оледенения соответствующего района составила – 46.7 км². За последние 20 лет оледенение этого района сократилось суммарно на 16.8%. По оценкам, к 2020 году ледники потеряют еще не менее 17% первоначального объема, т.е. к 2020 году убыль массы составит 1/3 от объема 1960-х годов.

Расчеты ледникового стока, выполненные в соответствии со сценариями (ЕСНАМ, HadCM2) показали, что в соответствии с предполагаемыми сценарными изменениями ожидается незначительная убыль ледникового стока.

Результаты расчетов на основе сценариев «переходного периода» показывают, что на ближайшую перспективу не произойдет значительных изменений стока рек региона, хотя некоторого их уменьшения в связи с глобальным ростом температуры (2-6%) следует ожидать. В связи с процессом аридизации климата ожидается уменьшение вклада талого снегового поступления (5-10%), изменение положения сезонной снеговой границы, сдвиг начала таяния сезонного снежного покрова на 1-4 недели. Вклад дождевого поступления может увеличиться на 7-10%, что также негативно скажется на формировании снеготопливных запасов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агальцева Н.А., Боровикова Л.Н. Оценка уязвимости стока рек бассейна Аральского моря от возможных воздействий изменения климата. //Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Бюллетень №3, Ташкент, САНИГМИ, 1999. – С. 36-45.
2. Агальцева Н.А., Боровикова Л.Н. Комплексный подход к оценке уязвимости водных ресурсов в условиях изменения климата / Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по РКИК/ООН. Бюллетень N 5. – Ташкент: САНИГМИ, 2002.
3. Второй доклад МГЭИК об оценках изменения климата, 1995 г., Женева, 69 с
4. Глазырин Г.Е., Щетинников А.С. Состояние оледенения Гиссаро-Алая в последние десятилетия и возможная его динамика в связи с будущими изменениями климата, - МГИ, вып.90, 2001, с.126-129..
5. Техническое руководство МГЭИК по оценке воздействий изменений климата и адаптации / Под ред. Т.П. Картер, М.Л. Парри, Х. Харасава, С.Нишиока.- Женева: ВМО, 1995.-65 с.
6. Первое Национальное Сообщение Республики Узбекистан Рамочной Конвенции ООН об изменении климата / Подготовлено в рамках проекта "Узбекистан - изучение страны по изменению климата". - 1999. - 123 с.
7. Спекторман Т.Ю., Никулина С.П. Сценарии возможных изменений климата Узбекистана и прилегающей горной территории на основе выходных результатов моделей общей циркуляции // Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по РКИК/ООН. Бюллетень № 1. – Ташкент: САНИГМИ, 1999.
8. Спекторман Т.Ю. Методика построения сценария изменения климата по территории Узбекистана с использованием концепции “идеального прогноза”.// Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по РКИК/ООН. Бюллетень № 5. – Ташкент: САНИГМИ, 2002.
9. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан, Ташкент 2000. – 251 с.
10. Чуб В.Е., Никулина С.П., Спекторман Т.Ю., Субботина О.И., Чанышева С.Г. Разработка региональных климатических сценариев // Бюллетень №1.

Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. – Ташкент, 1999.

11. Agaltseva N.A., Pak A.V. Evaluation and forecasting of the water availability on the rivers of Central Asia with the account of possible climate change, Espoo, Finland. 1998. Proceedings of the Second International Conference, volume 2. P. 940-946.
12. Climate Change 1995, The Science of Climate Change. Contribution of Working Group 1 to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Edited by J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callinder, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell. - Cambridge: University Press, 1995. - 572 pp.
13. Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies, Version 2.0, October 1998
14. The Regional Impacts of Climate Change. An Assessment of Vulnerability / Edited by R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss.- Cambridge: University Press, 1998. - 517 pp.
15. Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENGEN. Version 2.4, Workbook, Climatic Research Unit, Norwich, UK, May 2000. - 52 pp.