

**DIALOGUE ON
WATER AND CLIMATE:
ARAL SEA BASIN CASE STUDY**

Project No. 12.130.021

**ДИАЛОГ О ВОДЕ И КЛИМАТЕ:
ИССЛЕДОВАНИЕ
БАСЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ**

Ташкент | 2002 г.

Глобальное изменение климата выражается не только в росте средней температуры, а прежде всего в росте числа и силы отдельных явлений: особо жарких дней, засух, наводнений, смерчей, резких оттепелей и заморозков, селей, ветровалов. Возрастающие колебания климатической системы - именно это будет наносить все больший и больший урон.

Воздействие глобального изменения климата будет влиять и на устойчивость перспективного развития бассейна Аральского моря. Основное направление этого воздействия предполагается в виде уменьшения объема располагаемых водных ресурсов региона, изменения водопотребления и роста отклонений от средних многолетних параметров климата.

Оценки влияния изменения климата в бассейне Аральского моря сильно различаются в зависимости от методов, подходов и т. д.; большинство из них направлено на определение сокращения доступных водных ресурсов.

В данной ситуации важно показать возможности сокращения требований, что может привести к снижению давления на водные ресурсы в бассейне. Поскольку сельское хозяйство - самый большой потребитель водных ресурсов (около 85 %), важно оценить требования на воду со стороны ирригации, принимая во внимание температурный режим, аридность климата, структуру посева, управление на уровне ферм и т.д., с целью определения возможности снижения требований на воду.

Эта оценка имеет два главных аспекта:

Тактический - на уровне ферм, рассматриваются вопросы водосбережения, изменения структуры посевов и т. д.

Стратегический - на уровне государств и областей. Аспект посвящен вопросам межгосударственной кооперации, определению рационального водопользования и распределения, включая регулирование корзины питания.

Тематические рамки и основные проблемы диалога:

1. Вода и обеспечение продовольственной безопасности
2. Потенциальные конфликты
3. Вода и окружающая среда
4. Качество воды, человеческое здоровье
5. Воздействие климатических изменений
6. Улучшение связей
7. Вода для социально-экономического развития
8. Экологическое бедствие

Основные направления действий:

- Демонстрация на уровне ферм возможностей сокращения потребления воды и увеличения ее продуктивности - на основе изучения результатов ряда региональных проектов.

- Демонстрация на государственном уровне возможностей сокращения общего требования на водные ресурсы и обеспечения устойчивого развития региона на основе взаимовыгодного сотрудничества в вопросах управления водными ресурсами и организации кооперации в производстве с/х продукции.

Для демонстрации использована модель ASBMM (Aral Sea Basin Management Model), созданную специалистами НИЦ МКБК и Resource Analysis (Нидерланды) при поддержке UNDP. Данная модель совмещает социально-экономическую и гидрологическую модели и может анализировать как социально-экономическую ситуацию, так и управление водными ресурсами.

В настоящем сборнике представлены результаты исследований, выполненных специалистами НИЦ МКБК в составе проекта «Dialogue on Water and Climate: Aral Sea Basin Case Study».

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РАСПОЛАГАЕМЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В БАССЕЙНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Н.А. Агальцева

Введение

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.

В 1992 году Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) предложено 6 сценариев эмиссии парниковых газов (IS92a, ..., IS92f). Сценарий IS92a предполагает, что население мира возрастет до 11,3 миллиардов к 2100 году, 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". 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 [2,14]. 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 (МОЦ). К достоинствам МОЦ можно отнести то, что, основываясь на законах сохранения, модели по возможности учитывают физику процессов, позволяющих воспроизводить и прогнозировать климат, к ограничениям в числе прочих относится горизонтальное разрешение моделей, не позволяющее вполне адекватно воспроизводить региональный климат. Большое осреднение по площади, характерное для глобальных моделей, уменьшает амплитуду колебаний региональных климатических характеристик.

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.

При разработке сценариев изменения климата на основе МОЦ необходимо иметь в виду различную его чувствительность. С этой целью широко используется параметр чувствительности климата, который определяется как изменение глобальной средней температуры воздуха у поверхности в состоянии равновесия, которое происходит в ответ на удвоение содержания CO_2 в атмосфере. Значения этого параметра находятся в диапазоне 1,5-4,5 °C [17].

Несмотря на значительные неопределенности, МОЦ 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 [3, 7, 8, 13-17].

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 подходов.

1. 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 [11] для условий высокой чувствительности климата к повышению концентрации парниковых газов в атмосфере для шести сценариев эмиссии МГЭИК (сценарии IS92c и IS92d, IS92a и IS92b, IS92e и IS92f).

2. Статистическая интерпретация результатов МОЦ в узлах регулярной сетки, с применением концепции «идеального прогноза» [9]. В данном варианте использованы выходные результаты МОЦ для условий средней чувствительности климата к повышению концентрации парниковых газов в атмосфере в соответствии со сценарием IS92a (сценарий невмешательства) с учетом смягчающего влияния сульфатных аэрозолей.

1. Эмпирико-статистический метод, основанный на зависимостях между глобальной температурой и региональными климатическими характеристиками

1.1. Методические основы

В Техническом руководстве МГЭИК [11] для оценки воздействий изменения климата в соответствии со сценариями эмиссии парниковых газов предлагается воспользоваться системой моделей MAGICC (Модель для оценки воздействий парниковых газов и изменения климата) [11], в рамках которой объединяется информация о региональной структуре изменения климата, полученная по МОЦ, с выходной продукцией ряда простых моделей, которые позволяют определить реакцию глобальной температуры на заданные предположения о будущих концентрациях парниковых газов. В MAGICC включены, согласно материалам МГЭИК, все существующие на сегодняшний день научные знания, включая сведения об обратных связях обогащения CO₂ и негативные последствия от сульфатных аэрозолей и уменьшения содержания стратосферного озона. В MAGICC масштабы выбросов преобразуются в показатели концентраций в атмосфере при помощи моделей поведения газов, рассчитывается суммарное радиационное воздействие, которое вводится в простую модель климата. Это позволяет получить глобальные оценки среднегодовой температуры. И хотя, как указывается в [11], одним из серьезных недостатков MAGICC является ее неспособность учесть специфические для того или иного региона процессы, с помощью этой модели получены наиболее правдоподобные, по мнению МГЭИК, оценки среднегодовой глобальной температуры воздуха для шести сценариев выбросов.

Исходной информацией для оценки климатических изменений по Узбекистану и прилегающей горной территории были: изменения глобальной температуры по MAGICC при высокой чувствительности климата, приведенные в [11] и данные инструментальных наблюдений за температурой воздуха и осадками по опорным станциям.

Изучение динамики климата Узбекистана [5, 6, 10, 12] 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 [6]. Коэффициенты корреляции изменяются в пределах от 0,56-0,58 в северных областях Узбекистана (Чимбай, Хива), до 0,35-0,40 в южных областях (Денау, Гузар), т.е. отмечается значимая на 1% уровне статистическая зависимость. По данным горных станций коэффициенты корреляции оказались несколько ниже, но также статистически значимы на 5% уровне.

На рис. 1 приведено сравнение наблюдаемых глобальных и региональных тенденций. Потепление 30-х годов и похолодание 60-х отчетливо прослеживаются во временном ряде изменений среднегодовой температуры воздуха по Узбекистану.

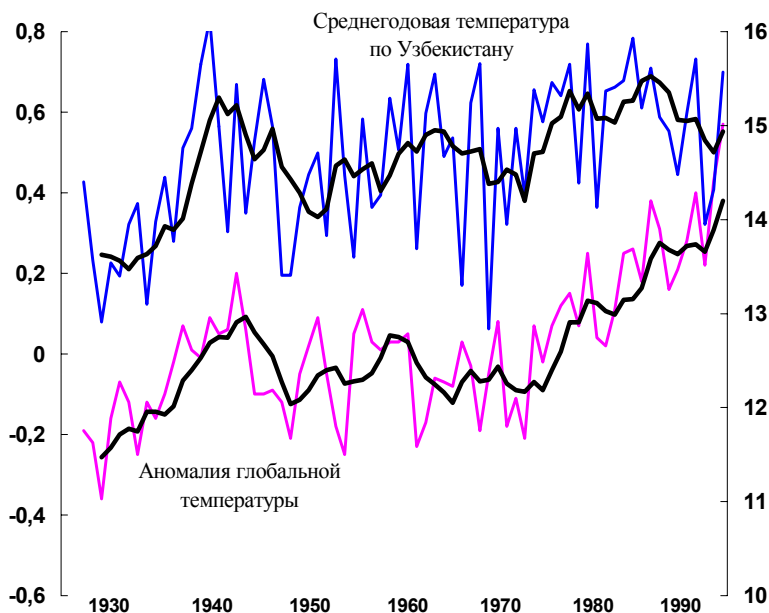


Рис. 1 | Изменения аномалии среднегодовой глобальной температуры воздуха и среднегодовой температуры воздуха по станциям Узбекистана

Исходя из сказанного, для оценки возможных изменений климата Узбекистана как отклика на происходящее глобальное потепление, можно использовать подход, основанный на установлении статистических зависимостей между наблюдаемыми климатическими характеристиками в местном и глобальном масштабах.

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 Средней Азии, позволили выявить ряд циклических колебаний во временных рядах температуры воздуха [4-6]. 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, связанному с магнитной полярностью солнечных пятен. Данная цикличность описывает соответственно 24, 19 и 12% дисперсии исходных рядов. Учет имеющихся природных цикличностей и тенденций позволит уменьшить неопределенность оценок изменения климата на будущее.

Таким образом, на основе проведенного анализа для оценки будущих изменений средних значений климатических характеристик Узбекистана и прилегающей горной территории использована следующая методика:

- установление статистических зависимостей между климатическими характеристиками в местном и глобальном масштабах
- использование в качестве прогнозов будущего глобального климата модельных оценок изменения глобальной температуры для различных сценариев выбросов МГЭИК.
- использование существующих в рядах климатических характеристик Узбекистана квази-периодичностей и тенденций для уменьшения неопределенности, уточнения сценариев и оценки возможного хода исследуемых величин.

1.2. Оценка изменений температуры воздуха

Рассчитанные по предложенной модели оценки временного хода возможных изменений температуры на отдельных станциях объединялись в группы в соответствии с величинами самих изменений. 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 физико-географические районы в соответствии с [1] (рис. 2).

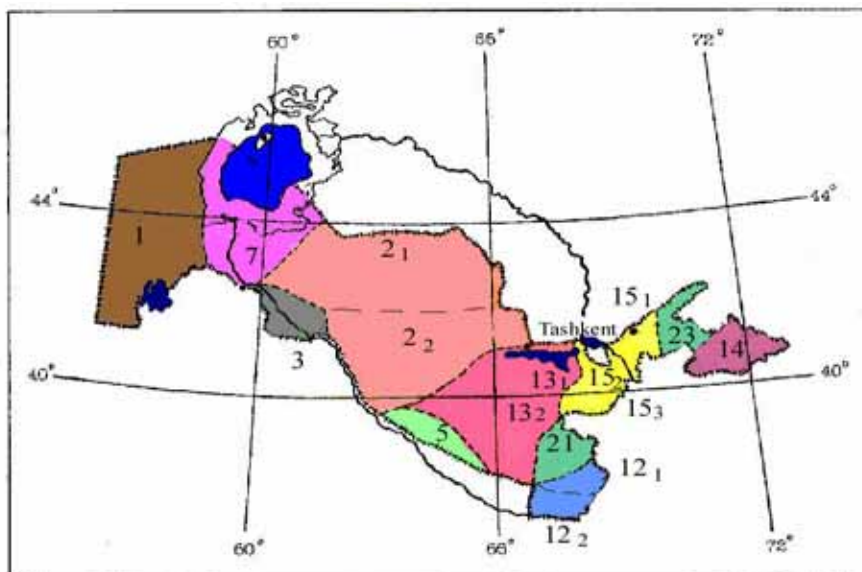


Рис. 2 | Расположение климатических районов

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. 3 .

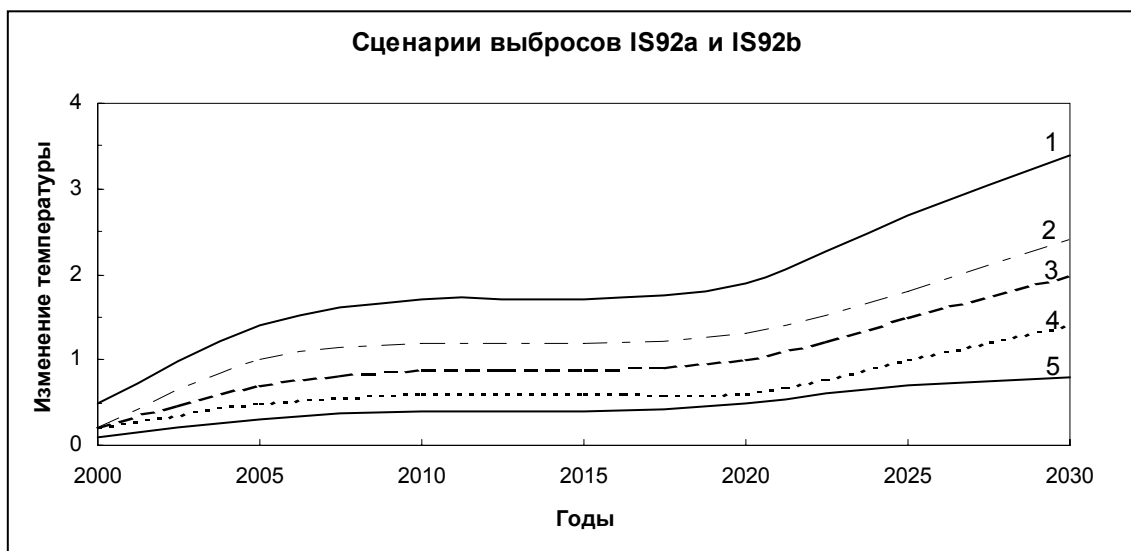


Рис. 3 | Оценки возможных изменений аномалий среднегодовой температуры воздуха для выделенных групп районов

1-климатические районы 1, 7; 2 - климатические районы 2, 3, 12, 13, 14 и 15;
 3- крупные котловины Тянь-Шаня и Памиро-Алая; 4 - климатические районы 5 и 23;
 5 - климатический район 21 и Памир

В табл. 1-5 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 максимальные выбросы). В дальнейшем объединенные сценарии будем называть cd, ab и ef.

За пределами Узбекистана, в южных горных районах Средней Азии (станции Горбунова, оз. Каракуль, Хорог) ожидаемое потепление не превосходит летом 0,5 °С, зимой 1 °С. В высокогорных обширных котловинах Тянь-Шаня и Памиро-Алтая (Нарын, Сары-Таш) летом T достигает 1 °С, зимой - 2 °С. В среднем за год величины потепления в данном районе не превышают 1 °С.

1.3. Оценка изменений 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.

Модельные оценки изменений региональных осадков на момент удвоения CO₂ находятся в пределах от -20% до +20% от контрольного значения. Для многих регионов нет даже согласия в знаке оценок модельных изменений. При включении в модели влияния аэрозолей, расчеты показывают меньшие увеличения глобальных осадков. Остается увеличение зимних осадков в высоких широтах, но в значительно меньшей степени. Ослабляется увеличение осадков в зоне Азиатского муссона, т.к. негативное влияние аэрозолей уменьшает температурные контрасты системы океан-суша и ослабляет муссонную циркуляцию.

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 изменения 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. 4.

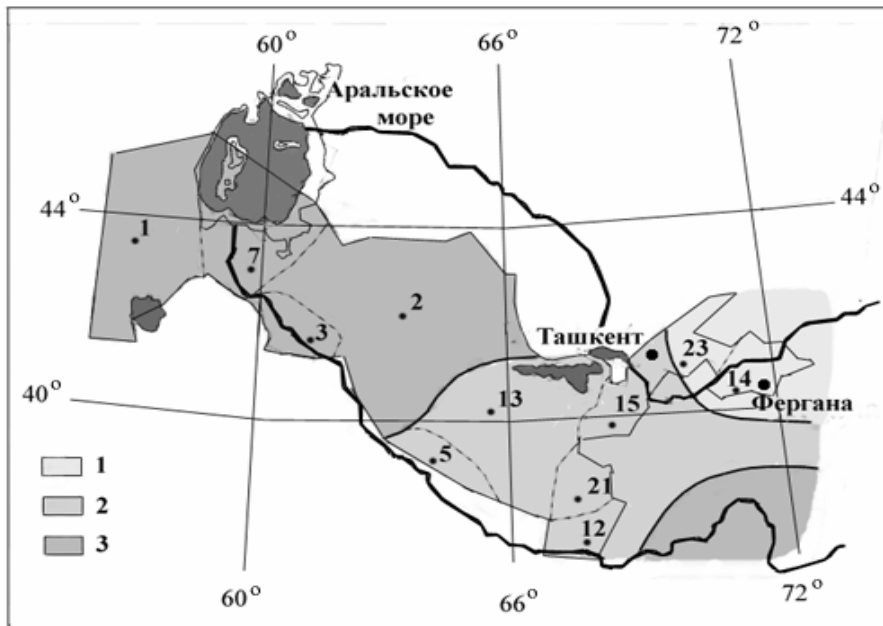


Рис. 4 | Изменение (%) годовых сумм осадков к 2030 году в Узбекистане и прилегающей горной территории по сравнению с 1961-1990 гг.

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 1 | Оценка изменений среднегодовой температуры воздуха по климатическим районам Узбекистана при реализации различных сценариев эмиссии парниковых газов (IS92a -IS92f)

Номер и название климатического района	Административная область	Климат базового периода	Региональный климатический сценарий II на 2015-2030 годы			Региональный климатический сценарий I на 2020-2050 годы		
			ab	cd	ef	ab	cd	ef
1. Устюрт	Каракалпакстан	9,0	1,5	1,0	2,0	2,5	2,0	2,3
7. Приаральский	Каракалпакстан	10,0	2,5	2,0	3,0	3,0	2,1	3,6
2. Кызылкум, Северный (2 ₁) Центральный (2 ₂)	Навоийская	11,8	1,0	1,0	1,5	1,7	1,4	2,5
		13,8	2,0	1,0	2,0	1,2	0,8	1,2
Низовья Амударьи	Хорезмская	12,3	2,0	1,5	2,5	1,7	1,2	1,9
5. Юговосточные Каракумы	Бухарская	13,8	1,0	1,0	1,5	1,7	1,3	1,8
12. Верхне-Амударьинский Южный (12 ₂) Северный (12 ₁)	Сурхандарьинская	17,4	1,0	1,0	1,5	0,6	0,5	0,8
		16,8	1,0	1,0	1,5	1,2	1,0	2,3
13. Зеравшано-Кашкадарьинский Зеравшанский (13 ₁) Кашкадарьинский (13 ₂)	Самаркандская	13,8	1,5	1,0	2,0	1,8	1,1	2,1
	Кашкадарьинская	15,7	1,5	1,0	2,0	2,1	1,2	2,5
14. Ферганский	Ферганская Наманганская Андижанская	13,3	1,5	1,0	2,0	2,8	2,2	2,9
15. Ташкентско-Голодностепский Ташкентский (15 ₁) Голодностепский (15 ₂) Джизакский(15 ₃)	Ташкентская	14,2	2,0	1,0	1,5	2,0	1,4	3,0
	Джизакская	14,4	1,0	1,0	1,5	1,2	1,0	1,8
		13,0	1,0	1,0	1,5	1,2	1,0	1,8
21. Южный Тянь-Шань 1000-2000м н. у. М. (21 ₁) 2100-3000м н. у. м. (21 ₂)	Сурхандарьинская	9,6	1,0	0,5	1,0	0,5	0,3	0,5
		5,2	1,0	0,5	1,0	0,5	0,3	0,5
23. Западный Тянь-Шань 1000-1500м н. у. М. (23 ₁) 1600-2100м н. у. м. (23 ₂)	Ташкентская	9,5	1,0	0,5	1,0	0,6	0,4	0,7
		2,8	1,0	0,5	1,0	0,9	0,6	1,1

Таблица 2 | Оценка изменений средней за зиму (декабрь-февраль) температуры воздуха по климатическим районам Узбекистана при реализации различных сценариев эмиссии парниковых газов (IS92a -IS92f)

Номер и название климатического района	Административная область	Климат базового периода	Региональный климатический сценарий II на 2015-2030 годы			Региональный климатический сценарий I на 2020-2050 годы		
			ab	cd	ef	ab	cd	ef
1. Устюрт	Каракалпакстан	-6,3	1,5	1,0	2,0	2,0	1,6	2,6
7. Приаральский	Каракалпакстан	-4,3	2,0	1,5	2,5	2,8	2,2	3,6
2. Кызылкум, Северный (2 ₁) Центральный (2 ₂)	Навоийская	-4,0	3,0	1,5	2,5	2,5	2,0	3,2
		-0,7	2,5	2,0	2,5	2,7	2,1	3,5
3. Низовья Амударьи	Хорезмская	-1,5	2,0	1,5	2,5	2,5	2,0	3,2
5. Юговосточные Каракумы	Бухарская	2,8	2,0	1,5	2,5	1,9	1,5	2,4
12. Верхне-Амударьинский Южный (12 ₂) Северный (12 ₁)	Сурхандарьинская	5,6	1,0	1,0	1,5	0,9	0,7	1,2
		4,7	1,0	1,0	1,5	1,5	1,2	1,9
13. Зеравшано-Кашкадарьинский Зеравшанский (13 ₁) Кашкадарьинский (13 ₂)	Самаркандская	1,4	2,0	1,5	2,0	1,0	0,8	1,3
	Кашкадарьинская	3,7	2,0	1,5	2,5	1,2	1,0	1,6
14. Ферганский	Ферганская Наманганская Андижанская	0,3	3,0	2,5	3,5	1,5	1,2	1,9
15. Ташкентско-Голодностепский Ташкентский (15 ₁) Голодностепский (15 ₂) Джизакский(15 ₃)	Ташкентская	1,8	2,5	2,0	3,0	1,7	1,4	2,2
		1,5	3,0	2,0	3,5	1,5	1,2	2,9
	Джизакская	0,4	2,0	1,5	2,5	1,2	1,0	1,6
21. Южный Тянь-Шань 1000-2000м н. у. м. (21 ₁) 2100-3000м н. у. м. (21 ₂)	Сурхандарьинская	-1,0	1,0	0,5	1,0	0,9	0,7	1,2
		-4,5	1,0	0,5	1,0	0,3	0,2	0,4
23. Западный Тянь-Шань 1000-1500м н. у. м. (23 ₁) 1600-2100м н. у. м. (23 ₂)	Ташкентская	-2,2	1,5	0,5	2,0	0,6	0,5	0,8
		-10,8	1,5	0,5	2,0	0,9	0,7	1,2

Таблица 3 | Оценка изменений средней за весну (март-май) температуры воздуха по климатическим районам Узбекистана при реализации различных сценариев эмиссии парниковых газов (IS92a -IS92f)

Номер и название климатического района	Административная область	Климат базового периода	Региональный климатический сценарий II на 2015-2030 годы			Региональный климатический сценарий I на 2030-2050 годы		
			ab	cd	ef	ab	cd	Ef
1. Устюрт	Каракалпакстан	9,8	1,0	1,0	1,5	1,0	0,8	1,3
7. Приаральский	Каракалпакстан	10,5	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,9
2. Кызылкум, Северный (2 ₁)	Навоийская	12,0	0,0	0,0	0,0	1,3	1,0	1,7
Центральный (2 ₂)		14,6	1,0	0,5	1,0	0,6	0,5	0,8
3. Низовья Амударьи	Хорезмская	14,0	0,5	0,5	1,0	0,2	0,1	0,1
5. Юговосточные Каракумы	Бухарская	16,5	1,0	0,5	1,0	0,2	0,1	0,1
12. Верхне-Амударьинский Северный (12 ₁)	Сурхандарьинская	18,0	0,5	0,0	0,5	0,5	0,5	0,6
Южный (12 ₂)		18,2	0,5	0,0	0,5	0,4	0,3	0,4
13. Зеравшано-Кашкадарьинский Зеравшанский (13 ₁)	Самаркандская	14,2	0,0	0,0	1,0	1,0	0,8	1,0
Кашкадарьинский (13 ₂)	Кашкадарьинская	16,4	1,0	0,5	2,0	1,4	1,1	1,8
14. Ферганский	Ферганская Наманганская Андижанская	14,9	0,5	0,5	1,0	0,8	0,6	0,8
15. Ташкентско-Голодностепский Ташкентский (15 ₁)	Ташкентская	14,5	1,0	0,5	1,5	0,4	0,3	0,4
Голодностепский (15 ₂)		15,6	0,5	0,0	0,5	0,3	0,22	0,2
Джизакский(15 ₃)		Джизакская	13,6	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3
21. Южный Тянь-Шань 1000-2000м н. у. м. (21 ₁)	Сурхандарьинская	8,0	0,5	0,0	0,5	0,6	0,5	0,6
2100-3000м н. у. м. (21 ₂)		4,0	0,5	0,0	0,5	0,2	0,3	0,4
23. Западный Тянь-Шань 1000-1500м н. у. м. (23 ₁)	Ташкентская	9,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,5
1600-2100м н. у. м. (23 ₂)		3,3	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,5

Таблица 4 | Оценка изменений средней за лето (июнь-август) температуры воздуха по климатическим районам Узбекистана при реализации различных сценариев эмиссии парниковых газов (IS92a -IS92f)

Номер и название климатического района	Административная область	Климат базового периода	Региональный климатический сценарий II на 2015-2030 годы			Региональный климатический сценарий I на 2030-2050 годы		
			ab	cd	ef	ab	cd	Ef
1. Устюрт	Каракалпакстан	25,0	2,0	1,5	2,5	1,8	1,0	1,5
7. Приаральский	Каракалпакстан	25,6	2,5	2,0	3,0	1,6	1,2	2,1
2. Кызылкум, Северный (2 ₁) Центральный (2 ₂)	Навоийская	27,6	2,0	1,5	2,5	0,9	0,7	1,2
		28,5	2,0	1,5	2,0	1,0	0,8	1,3
3. Низовья Амударьи	Хорезмская	26,8	1,5	1,0	2,0	0,7	0,6	0,9
5. Юговосточные Каракумы	Бухарская	27,9	0,5	0,5	0,5	0,3	0,2	0,4
12. Верхне-Амударьинский Северный (12 ₁) Южный (12 ₂)	Сурхандарьинская	28,5	2,0	1,5	2,5	0,2	0,1	0,3
		29,0	2,0	1,5	2,5	0,0	0,0	0,0
13. Зеравшано-Кашкадарьинский Зеравшанский (13 ₁) Кашкадарьинский (13 ₂)	Самаркандская	26,4	2,0	2,0	2,5	1,0	0,8	1,3
	Кашкадарьинская	28,3	1,5	1,0	2,0	0,8	0,6	1,0
14. Ферганский	Ферганская Наманганская Андижанская	26,2	1,0	0,5	1,3	1,0	0,8	1,3
15. Ташкентско-Голодностепский Ташкентский (15 ₁) Голодностепский (15 ₂) Джизакский(15 ₃)	Ташкентская	26,0	2,0	1,5	2,5	0,8	0,6	1,0
		26,7	1,0	1,0	1,5	0,7	0,6	0,9
	Джизакская	25,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2
21. Южный Тянь-Шань 1000-2000м н. у. м. (21 ₁) 2100-3000м н. у. м. (21 ₂)	Сурхандарьинская	22,0	1,0	0,5	1,0	0,2	0,1	0,3
		16,0	1,0	0,5	1,0	0,2	0,1	0,3
23. Западный Тянь-Шань 1000-1500м н. у. м. (23 ₁) 1600-2100м н. у. м. (23 ₂)	Ташкентская	20,8	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,4
		15,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	0,5

Таблица 5 | Оценка изменений средней за осень (сентябрь-ноябрь) температуры воздуха по климатическим районам Узбекистана при реализации различных сценариев эмиссии парниковых газов (IS92a -IS92f)

Номер и название климатического района	Административная область	Климат базового периода	Региональный климатический сценарий II на 2015-2030 годы			Региональный климатический сценарий I на 2030-2050 годы		
			ab	cd	ef	ab	cd	Ef
1. Устюрт	Каракалпакстан	9,0	1,5	1,0	2,0	1,5	1,2	2,0
7. Приаральский	Каракалпакстан	10,7	1,0	0,5	1,5	1,3	1,0	3,9
2. Кызылкум, Северный (2 ₁) Центральный (2 ₂)	Навоийская	11,0	1,0	0,5	1,0	0,5	0,4	0,6
		13,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,8	1,3
3. Низовья Амударьи	Хорезмская	17,8	1,5	1,0	1,5	1,2	1,0	1,6
5. Юговосточные Каракумы	Бухарская	14,7	1,0	0,5	1,0	1,4	1,1	1,8
12. Верхне-Амударьинский Северный (12 ₁) Южный (12 ₂)	Сурхандарьинская	16,1	0,5	0,5	1,0	0,6	0,5	0,8
		16,8	0,5	0,5	1,0	0,8	0,6	1,0
13. Зеравшано-Кашкадарьинский Зеравшанский (13 ₁) Кашкадарьинский (13 ₂)	Самаркандская	13,3	1,5	1,0	1,5	0,9	0,7	1,7
	Кашкадарьинская	15,2	1,0	1,5	1,5	2,2	1,7	2,8
14. Ферганский	Ферганская Наманганская Андижанская	12,8	1,5	1,0	2,0	2,0	1,6	2,6
15. Ташкентско-Голодностепский Ташкентский (15 ₁) Голодностепский (15 ₂) Джизакский(15 ₃)	Ташкентская	13,6	2,0	0,5	2,0	1,9	1,5	2,5
		13,7	1,0	1,0	1,0	1,1	0,9	1,4
	Джизакская	12,8	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7
21. Южный Тянь-Шань 1000-2000м н. у. м. (21 ₁) 2100-3000м н. у. м. (21 ₂)	Сурхандарьинская	10,0	1,0	1,0	1,0	1,1	0,9	1,4
		6,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,5	0,8
23. Западный Тянь-Шань 1000-1500м н. у. м. (23 ₁) 1600-2100м н. у. м. (23 ₂)	Ташкентская	10,0	1,0	1,0	1,5	0,8	0,6	1,0
		3,7	1,0	1,0	1,5	1,1	0,9	1,4

Таблица 6 | Нормы и возможные изменения к 2030 году температуры воздуха (°C) зимой и летом по станциям горной территории для различных сценариев выбросов

Станции	Климатические сценарии							
	Зима				Лето			
	Норма	IS92ab	IS92cd	IS92ef	Норма	IS92ab	IS92cd	IS92ef
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
Устье р.Тос	-2.9	1.4	1.1	1.5	18.1	0.1	0.0	0.3
Чаткал	-12.0	2.3	1.8	2.6	16.1	0.7	0.5	0.8
Нарын	-13.3	2.0	1.2	2.4	16.5	0.7	0.4	0.8
Сары-Таш	-15.1	1.1	0.7	1.3	8.9	0.3	0.1	0.4
Тянь-Шань	-20.2	0.5	0.4	0.6	3.6	0.8	0.5	1.0
Хайдаркан	-4.0	2.2	1.6	2.4	18.0	0.0	0.0	0.1
Худжант	1.1	2.0	1.5	2.2	27.1	0.6	0.5	0.6
Горбунова	-16.1	1.1	0.8	1.2	2.5	0.6	0.3	0.7
Хорог	-4.8	1.3	0.8	1.5	21.5	0.1	0.0	0.2
Каракуль	-15.5	1.0	0.7	1.2	7.3	0.4	0.2	0.4

Таблица 7 | Нормы и возможные изменения к 2030 году температуры воздуха (°C) в переходные сезоны по станциям горной территории для различных сценариев выбросов

Станции	Климатические сценарии							
	Весна				Осень			
	Норма	IS92ab	IS92cd	IS92ef	Норма	IS92ab	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
Устье р.Т	8.2	-0.2	-0.1	-0.2	8.3	0.9	0.6	1.1
Чаткал	2.9	0.2	0.0	0.4	4.2	1.1	0.5	1.4
Нарын	5.7	0.7	0.3	0.9	5.1	0.8	0.6	1.2
Сары-Таш	-2.3	0.5	0.2	0.7	-1.4	1.0	0.3	1.1
Тянь-Шань	-6.8	0.0	-0.1	0.0	-6.9	0.8	0.5	1.0
Хайдаркан	6.6	0.0	-0.1	0.0	7.7	1.6	1.0	1.7
Худжант	15.4	-0.5	-0.4	-0.6	14.0	0.8	0.4	1.0
Горбунова	-7.9	-0.1	-0.1	-0.1	-6.0	0.5	0.3	.6
Хорог	8.9	0.3	0.1	0.3	10.6	0.3	0.1	.5
Каракуль	-3.9	0.3	0.2	0.4	-2.3	0.9	0.5	1.0

Таблица 8 | 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
Устье р.Т	7.9	0.7	0.5	0.8
Чаткал	2.7	1.3	0.9	1.5
Нарын	3.5	1.6	1.0	1.8
Сары-Таш	-2.4	1.3	0.8	1.5
Тянь-Шань	-7.6	0.3	0.1	0.3
Хайдаркан	7.1	1.1	0.7	1.3
Худжانت	14.4	1.5	1.1	1.7
Горбунова	-6.9	0.8	0.6	0.9
Хорог	9.0	0.8	0.5	0.9
Каракуль	-3.6	0.8	0.5	0.9

Таблица 9 | 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
Андижан	252	114	116	117
Гузар	323	121	117	125
Пскем	823	109	107	111
Устье р. Тос	715	119	112	123
Чаткал	437	105	103	108
Нарын	295	115	111	117
Хайдаркан	517	121	118	126
Сары-Таш	360	107	105	109
Хорог	268	119	114	124
Дехауз	305	105	104	106
Искандеркуль	283	108	104	110
Горбунова	1927	124	120	128

Оценка изменений климатических условий по территории Средней Азии с учетом существующих модельных оценок, регионального аналогового сценария и эмпирико-статистического метода указывает что мы должны ожидать некоторого увеличения (от 0 до 20%) годовых сумм осадков и повышения температуры во все сезоны года по территории Средней Азии, включая зону формирования стока, при реализации различных сценариев эмиссии парниковых газов к 2030 году [10].

2. Построение региональных сценариев изменения климата на основе выходящих результатов глобальных климатических моделей

2.1. Методические основы

По заключению Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), выходные результаты глобальных моделей общей циркуляции атмосферы и океана представляют собой наиболее подходящую основу для построения региональных сценариев изменения климата которые, в свою очередь, служат базисом для различных региональных оценок уязвимости к возможным изменениям климата. Однако информация, получаемая из МОЦ, как правило, имеет невысокое пространственное разрешение, в лучшем случае порядка 3°, что соответствует примерно 330 км на экваторе. Такое

низкое пространственное разрешение является основным лимитирующим фактором для широкого использования результатов МОЦ при оценивании воздействия изменения климата. В этой связи возникает проблема интерпретации выходных результатов глобальных моделей в различных региональных масштабах.

Одним из простейших путей пространственной детализации выходных результатов МОЦ является интерполяция МОЦ-сценариев изменения климата на более частую пространственную сетку с последующим наложением на климатическую информацию высокого разрешения, получаемую по инструментальным наблюдениям. Другой подход к построению региональных сценариев изменения климата - это гидродинамические модели с высоким разрешением для замкнутых областей, называемые региональными климатическими моделями. Следующим подходом к построению региональных климатических сценариев являются методы статистической интерпретации выходных результатов МОЦ. 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. Очень часто 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 МОЦ, предполагают сохранение статистических зависимостей крупномасштабного и мезомасштабного климата в будущем.

В настоящей работе для построения региональных климатических сценариев по территории Узбекистана использован метод статистической интерпретации, основанный на концепции «идеального прогноза» описанный в [9] с применением пошаговой множественной линейной регрессии.

2.2. Анализ имеющихся контрольных прогонов глобальных климатических моделей

Критерием выбора оптимальной модели может служить численная оценка способности модели воспроизводить климат базового периода. Для этой цели обычно сопоставляют результаты расчетов по различным моделям с реальным климатом в узлах общей широтно-долготной сетки или интерполируют выходные результаты МОЦ в координаты опорных станций [3]. Анализ результатов таких сравнений показывает, что одни модели в отдельные сезоны лучше воспроизводят поле температуры, другие - поле осадков, т.е. способность модели адекватно описывать реальный климат зависит от сезона года и локализации региона.

Нами были рассмотрены контрольные прогоны ряда моделей для состояния равновесия (воспроизведение реального климата в условиях современного уровня концентрации CO_2) [8]. Выходные результаты моделей общей циркуляции атмосферы и океана (данные Национального центра атмосферных исследований США (NCAR)).

Банк данных содержит результаты расчетов моделями полей приземной температуры воздуха (T , °C), атмосферных осадков (R , мм/сутки) в узлах регулярной сетки на поверхности Земного шара за каждый из 12 месяцев года при современном уровне концентрации CO_2 в атмосфере ($1 \times \text{CO}_2$) и удвоенном ($2 \times \text{CO}_2$). Рассмотрены выходные результаты следующих моделей: CCCM - модель Канадского Климатического Центра, пространственное разрешение - $2,22^\circ$ по широте и $3,75^\circ$ по долготе, чувствительность к удвоению CO_2 - $3,5^\circ\text{C}$; UKMO - модель Метеорологического бюро Соединенного Королевства, пространственное разрешение - $2,5^\circ$ по широте и $3,75^\circ$ по долготе, чувствительность к удвоению CO_2 - $3,5^\circ\text{C}$; GFDL - модель Лаборатории геофизической гидродинамики США, пространственное разрешение - $2,22^\circ$ по широте и $3,75^\circ$ по долготе, чувствительность к удвоению CO_2 - $4,0^\circ\text{C}$; GISS - модель Института Годдарда по космическим исследованиям США, пространственное разрешение - $7,83^\circ$ по широте и $10,00^\circ$ по долготе, чувствительность к удвоению CO_2 - $4,2^\circ\text{C}$.

Сравнение полученных результатов показывает, что более реально моделируется температурный режим равнинной территории. Начиная с предгорий и в условиях сложного горного рельефа, в модельных данных отмечаются более значительные отклонения от реальных данных, обусловленные влиянием рельефа и подстилающей поверхности.

Ввиду вышеизложенного, для анализа возможностей моделей описать реальный климат были отобраны станции, находящиеся на равнинной территории республики,

вычислены отклонения контрольных прогонов по каждой модели от климатических данных базового периода ($1\times\text{CO}_2$) и проинтерполированы в координаты станций. Анализ полученных результатов показывает, что и в этом случае смоделированная температура отличается от реальной. В основном все модели занижают среднемесячные температуры (за исключением лета).

Наибольшие отклонения от реального климата характерны для модели CCCM и GFDL, особенно в зимние месяцы года.

Более реальны результаты моделей UKMO и GISS. В табл. 10 приведены осредненные по сезонам и за год величины отклонений смоделированной температуры от реальной по территории Узбекистана, без привлечения горных станций.

Таблица 10 | Средние отклонения контрольных модельных значений приземной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) от базовых климатических норм по равнинной территории Узбекистана

Модель	Сезон				В среднем за год
	Зима	Весна	Лето	Осень	
CCCM	-9,9	-6,6	0,5	-4,3	-5,1
UKMO	-3,5	-2,1	1,1	0,4	-1,0
GFDL	-9,5	-1,1	1,1	-2,0	-2,9
GISS	0,3	-2,8	-1,5	-0,9	-1,2

Анализ результатов модельных расчетов по осадкам проводился также с учетом особенностей рельефа территории. Для этой цели было проведено осреднение по станциям равнинной, предгорной и горной территории климатических данных об осадках и данных модельных расчетов.

Рассчитанные контрольные модельные значения осадков на момент $1\times\text{CO}_2$ сравнивались с климатическими данными базового периода в узлах сетки и данными наблюдений станций. Анализ полученных результатов показывает, что климатические данные, проинтерполированные из узлов сетки в координаты станций, и данные наблюдений на самих станциях в среднем для равнины согласуются хорошо, а для предгорий и горной территории такие различия возрастают. Вариации вычисленных контрольных модельных значений осадков относительно климатических данных, также значительны. Очень важно отметить, что по станциям горной территории межмодельная изменчивость при контрольных прогонах для весенних месяцев года соизмерима с точностью осредненных климатических данных.

Смоделированные большинством моделей осадки превышают реальные климатические данные. В табл. 11 приведены модельные значения осадков и климатические данные по сезонам и за год. Максимальные осадки дает модель GISS. Зимой осадки завышены в среднем на 1,0 мм/сутки, весной и осенью примерно на 0,5 мм/сутки, что является вполне объяснимым, поскольку данная модель имеет очень редкую сетку. Более реально осадки на равнинной территории описывают модели GFDL и UKMO. По равнинной территории получено хорошее согласование модельных и климатических данных только при осреднении по сезонам и за год.

Таблица 11 | Осредненные по территории смоделированные значения осадков (мм/сутки) и реальные климатические данные базового периода (климат моделей – данные из узлов сетки) и данные наблюдений со станций (климат станций))

Модель	Сезон				В среднем за год
	Зима	Весна	Лето	Осень	
Равнина					
CCCM	0,62	0,83	0,21	0,26	0,48
UKMO	0,73	0,41	0,00	0,31	0,36
GFDL	0,34	0,52	0,00	0,24	0,27
GISS	1,41	1,08	0,31	0,75	0,88
Климат моделей	0,53	0,50	0,20	0,23	0,39
Климат станций	0,40	0,55	0,09	0,22	0,32
Предгорье					
CCCM	1,12	2,13	0,41	0,48	1,04
UKMO	1,72	1,51	0,34	0,93	1,12
GFDL	0,41	1,12	0,64	0,43	0,65
GISS	2,50	1,71	0,62	1,14	1,49
Климат моделей	0,83	1,18	0,46	0,40	0,71
Климат станций	1,33	1,46	0,08	0,53	0,85
Горы					
CCCM	1,24	2,41	0,89	0,54	1,27
UKMO	2,08	2,46	0,87	1,62	1,51
GFDL	0,54	1,62	1,43	0,78	1,09
GISS	2,27	1,73	1,12	1,14	1,56
Климат моделей	0,86	1,31	0,50	0,52	0,80
Климат станций	1,46	2,40	0,82	1,00	1,42

В табл. 10 представлены также вычисленные по моделям сезонные значения осадков по предгорным и горным станциям и климатические данные за базовый период. Следует отметить, что для предгорной и горной территории характерны большие расхождения даже между сезонными значениями климатических данных узлов сетки и данных со станций.

При описании климатических полей осадков с помощью узлов сетки возникают значительные расхождения, которые увеличиваются в условиях горного рельефа.

Более близки к реальному климату результаты, полученные по моделям UKMO и GFDL по равнинной территории. Расхождения между моделями уменьшаются при рассмотрении годовых значений (см. табл. 9). Для горной территории расхождения между модельными результатами и реальными данными меньше, что позволяет использовать все модели для оценки возможных изменений осадков по горной территории.

В целом после анализа контрольных просчетов по различным моделям общей циркуляции для рассматриваемого региона можно заключить:

- модельные оценки изменений температуры воздуха занижены;
- модельные оценки осадков несколько завышены;
- степень неопределенности модельных оценок температуры меньше на равнине и значительно возрастает по предгорной и горной территории;
- неопределенность модельных оценок осадков очень велика в районах с большой естественной изменчивостью осадков, т.е. по равнинной территории, особенно в теплое время года.

Последний вывод вполне согласуется со статистической структурой полей осадков в бассейне Аральского моря. Коэффициенты вариации осадков максимальны по равнинной части бассейна, характеризующейся большим дефицитом увлажнения в теплое время года, и уменьшаются в более увлажненной области формирования стока рек, т.е. по горной территории. Таким образом, неопределенность модельных сценариев изменений осадков очень велика в районах с большой естественной изменчивостью осадков, особенно в засушливый период года.

С использованием выходных результатов вышеописанных моделей построен ряд региональных климатических сценариев на время удвоения концентрации CO₂ в атмо-

сфере для Узбекистана и прилегающей горной территории, подробно описанных в [8]. Диапазон возможных изменений среднегодовых температур по моделям UKMO, GFDL и GISS составляет от 4,4 до 6,0 °C по равнинной территории республики, от 3,4 до 5,2°C по горной территории. Полученные значения предполагаемых изменений температуры воздуха, возможно, дополнительно завышены из-за неучтенного моделями смягчающего влияния сульфатных аэрозолей. По моделям UKMO и GFDL годовое количество осадков по равнинной территории ожидается в пределах 90-116% от базовой нормы. По предгорной и горной территориям по моделям UKMO, GFDL и GISS ожидается увеличение годовых осадков от 104 до 121% .

Разработанные сценарии изменений температуры воздуха были использованы в качестве экстремальных вариантов при проведении оценки уязвимости природной среды и секторов экономики в рамках разработки первого Национального сообщения Республики Узбекистан Рамочной Конвенции ООН об изменении климата [12].

Проведенный анализ показал, что невозможно выбрать единственную модель общей циркуляции, наилучшим образом описывающую климат по Узбекистану и прилегающей горной территории. При этом необходимо для получения более надежных оценок возможных изменений регионального климата использовать методики статистической интерпретации результатов МОЦ.

2.3. Выбор оптимальных выходных результатов моделей для построения региональных климатических сценариев по территории Узбекистана и прилегающей горной территории

В данной работе поставлена задача построить региональные климатические сценарии на ближайшую перспективу (к 2025 году). Описанные в подразделе 2.2 данные являются выходными результатами моделей в состоянии равновесия, которые позволяют получить оценки изменений температуры и осадков только на гипотетический момент удвоения концентрации CO₂ в атмосфере (2xCO₂). Таким образом, использовать эти данные для построения сценария на ближайшую перспективу мы не можем. Для этой цели нужны выходные результаты моделей в переходном состоянии. Это более современные и развитые модели общей циркуляции атмосферы и океана, с помощью которых возможно получить оценки изменений климатических характеристик в соответствии с задаваемым сценарием эмиссии (предполагающих определенное ежегодное увеличение концентраций парниковых газов).

Учитывая, что нашей целью является построение сценариев на ближайшую перспективу, мы остановимся на среднем сценарии эмиссии (IS92a), так называемом сценарии невмешательства, и средней чувствительности моделей к повышению концентрации парниковых газов в атмосфере.

Анализ различных литературных источников, а также документов МГЭИК [14, 15, 17] показывает возможность привлечения современных выходных результатов МОЦ для рассматриваемой территории. Мы воспользовались результатами МОЦ имеющихся в системе MAGICC/SCENGEN [17]. База данных SCENGEN включает выходные результаты ряда МОЦ и позволяет получить изменения основных климатических характеристик в узлах сетки 5x5° на период до 2100 года в соответствии с различными сценариями эмиссии с использованием результатов так называемой «простой климатической модели» (см. раздел 1.1) - Модели для оценки воздействий парниковых газов и изменения климата (MAGICC). MAGICC широко используются МГЭИК, а система MAGICC/SCENGEN постоянно обновляется с целью учета все более современных научных знаний и распространяется в рамках Программы поддержки Национальных Сообщений Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Поэтому выходные результаты различных МОЦ, собранных в базе данных SCENGEN, являются наиболее подходящей основой для построения региональных сценариев изменения климата.

Необходимо провести анализ выходных результатов климатических моделей, имеющихся в базе данных SCENGEN, и выбрать из них наиболее подходящие для построения региональных климатических сценариев.

Поскольку для территории Центральной Азии с использованием SCENGEN возможно получить выходные результаты моделей разрешением 5x5°, мы рассмотрели отдельные районы размером 5° по широте и 5° по долготы.

Для сравнения выходных результатов моделей с наблюдаемыми климатическими тенденциями нами были выбраны из базы данных аномалии температуры воздуха и осадков для центральных точек двух районов (координатами 40-45°с.ш., 60-65° в.д. и 35-40°с.ш., 65-70° в.д.) к 2000 году (самый ранний возможный сценарий, характеризующий период 1986-2015 годы) и рассчитаны фактические отклонения от базовой нормы за период 1991-2000 годы, осредненные в масштабе сетки 5x5°, которые являются наблюдаемыми климатическими тенденциями.

Следует отметить хорошее согласование модельных оценок с фактическими аномалиями за год в целом (рис. 5).

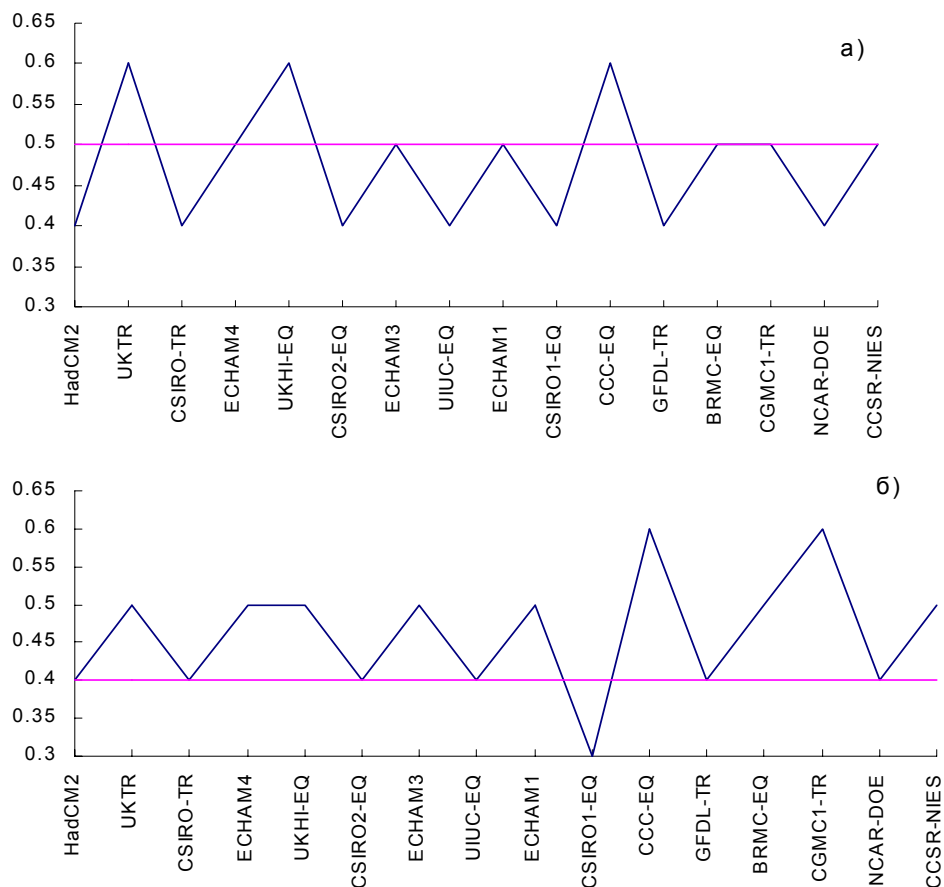


Рис. 5 | Сравнение отклонений от базовой нормы по различным сценариям с фактическими аномалиями среднегодовой температуры воздуха (°C) за период 1991-2000 годы

а - район с координатами 40-45°с.ш., 60-65° в.д.,
 б - район с координатами 35-40°с.ш., 65-70° в.д.,
 прямая линия – наблюдаемые фактические значения

Такого же согласования сценариев осадков с наблюдаемыми климатическими тенденциями не отмечено, вследствие высокой пространственной и временной изменчивости осадков в рассматриваемом регионе. На рис. 6 представлен диапазон возможных колебаний годовых сумм осадков в процентах от нормы 1961-1990 годов по различным моделям при одних и тех же условиях для построения сценария.

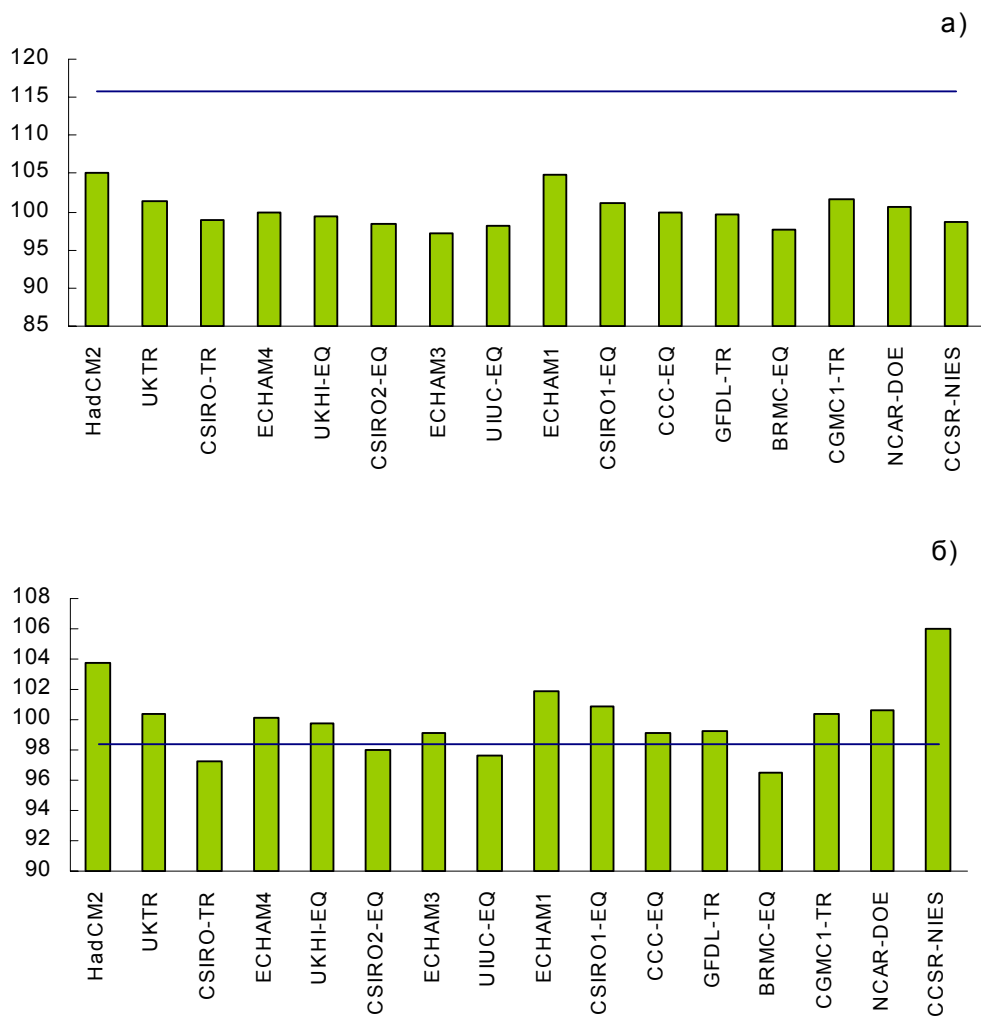


Рис. 6 | Сравнение годовых сумм осадков в % от базовой нормы по различным сценариям с фактическими аномалиями среднегодовой температуры воздуха за период 1991-2000 годы

а - район с координатами 40-45°с.ш., 60-65° в.д.,
 б - район с координатами 35-40°с.ш., 65-70° в.д.,
 прямая линия – наблюдаемые фактические значения

Анализ полученных сценариев на самый ранний период для двух районов Узбекистана и их сравнения с наблюдаемыми климатическими тенденциями показывает, что отдать предпочтение какой-либо модели очень трудно, однако можно сделать определенный вывод: практически все модели хорошо описывают наблюдаемые аномалии температуры воздуха, для осадков рассчитанные величины оказались в большинстве случаев ниже наблюдаемых.

Необходимо подчеркнуть, строгий статистический анализ модельных данных об осадках не сделан. При этом существует высокая пространственная и временная изменчивость осадков, поэтому статистическая значимость модельных оценок осадков значительно ниже, чем для температуры [14].

Опираясь на данные различных документов МГЭИК [14-17] и проведенный анализ, нами были выбраны следующие критерии для выбора оптимальных выходных результатов МОЦ.

1. Необходимо использовать самые последние, доступные на настоящий момент, выходные результаты МОЦ.

2. Необходимо использовать данные, полученные по наиболее развитым МОЦ в состоянии равновесия, имеющие примерно одинаковое разрешение по горизонтали и число уровней в атмосфере и океане.

3. Необходимо учитывать смягчающее влияние стратосферных сульфатных аэрозолей, так как согласно [11] регион Средней Азии находится в области его максимального влияния.

Рассмотрим сценарии изменения климата в узлах сетки $5 \times 5^\circ$ выбранные из базы данных SCENGEN на 2020 год по пяти моделям, отвечающих вышеперечисленным критериям, по точкам, которые попадают на территорию Узбекистана и прилегающую горную территорию, для осадков (рис. 7-9) и температуры воздуха (рис. 10-12).

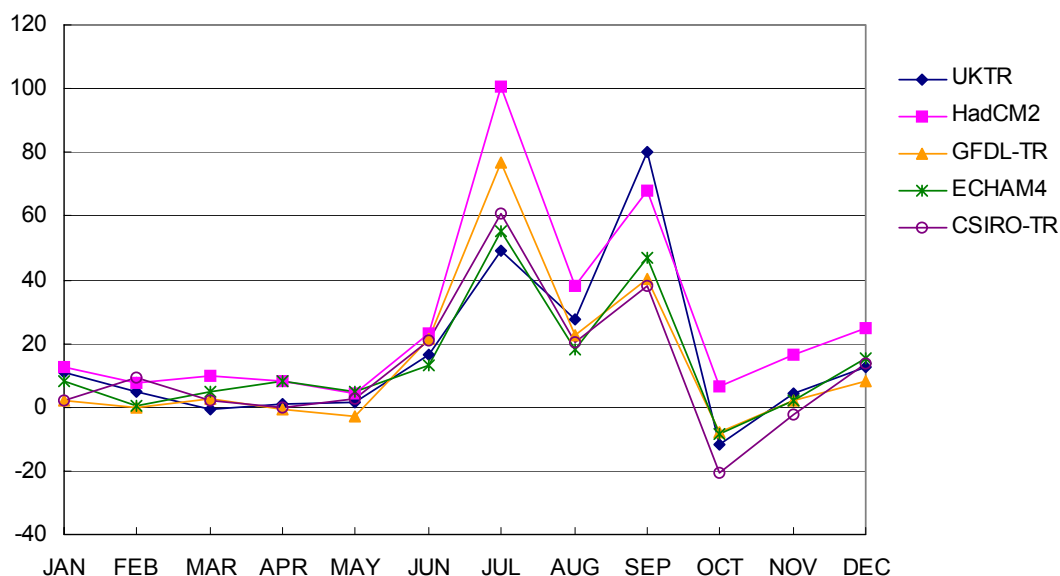


Рис. 7 | Ожидаемые по различным моделям изменения месячных сумм осадков (отклонения в % от базовой нормы 1961-1990 годов) к 2020 году для района с координатами 40-45°с.ш., 60-65° в.д. (равнина)

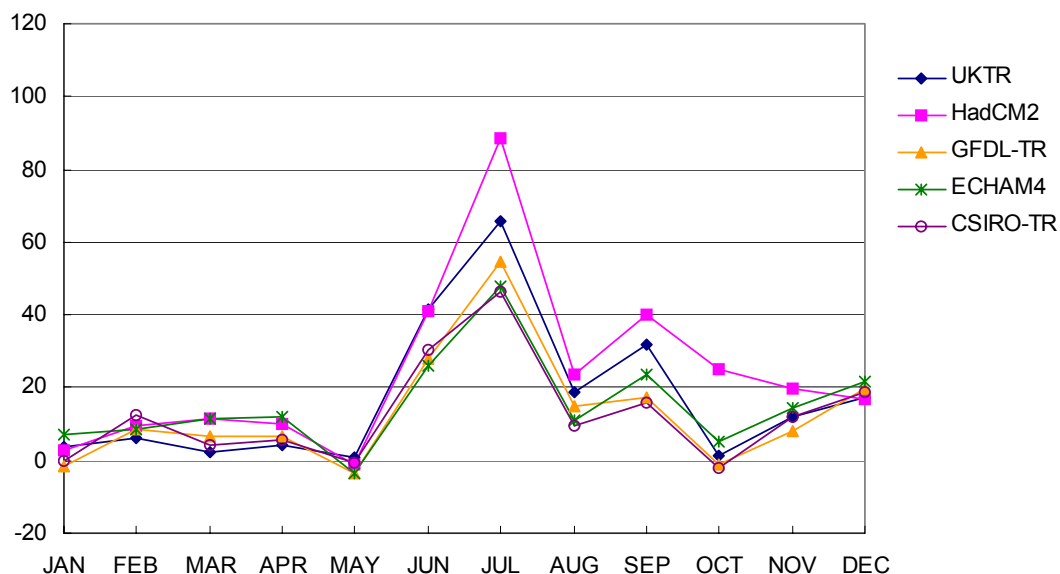


Рис. 8 | Ожидаемые по различным моделям изменения месячных сумм осадков (отклонения в % от базовой нормы 1961-1990 годов) к 2020 году для района с координатами 35-40°с.ш., 65-70° в.д. (предгорье)

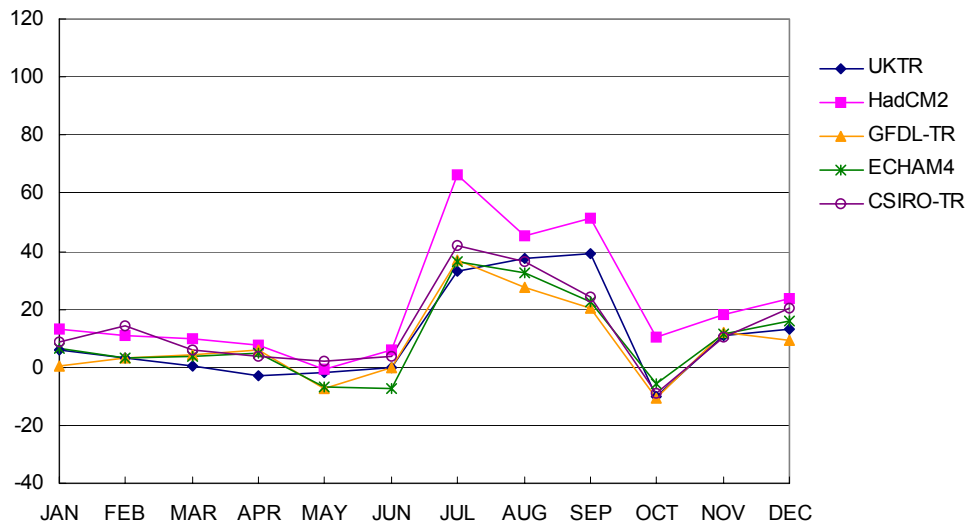


Рис. 9 | Ожидаемые по различным моделям изменения месячных сумм осадков (отклонения в % от базовой нормы 1961-1990 годов) к 2020 году для - района с координатами 40-45°с.ш., 70-75° в.д. (горы)

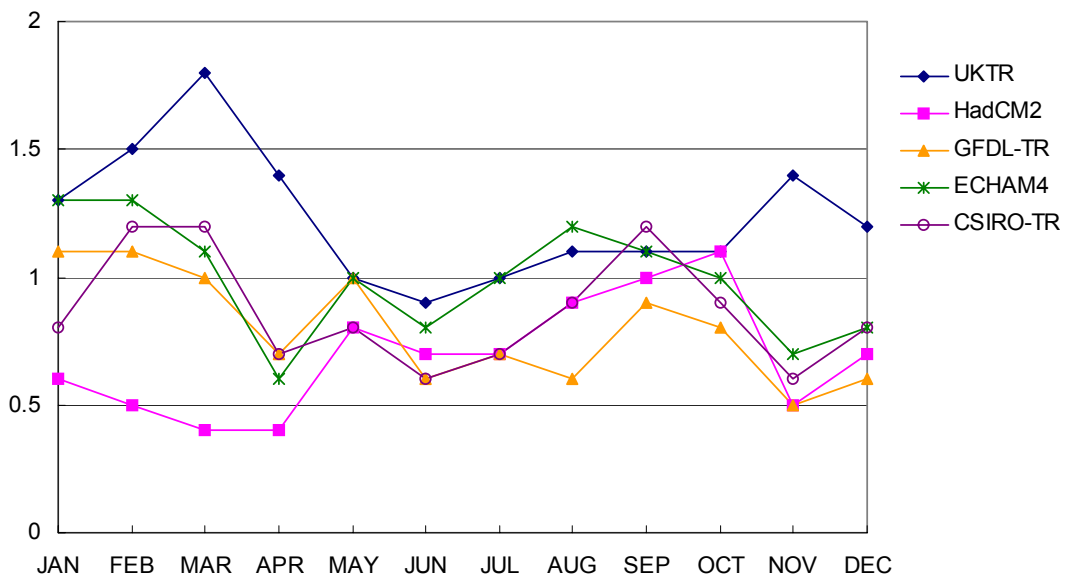


Рис. 10 | Ожидаемые по различным моделям изменения среднемесячных температур (отклонения в °C от базовой нормы 1961-1990 годов) к 2020 году для - района с координатами 40-45°с.ш., 60-65° в.д. (равнина)

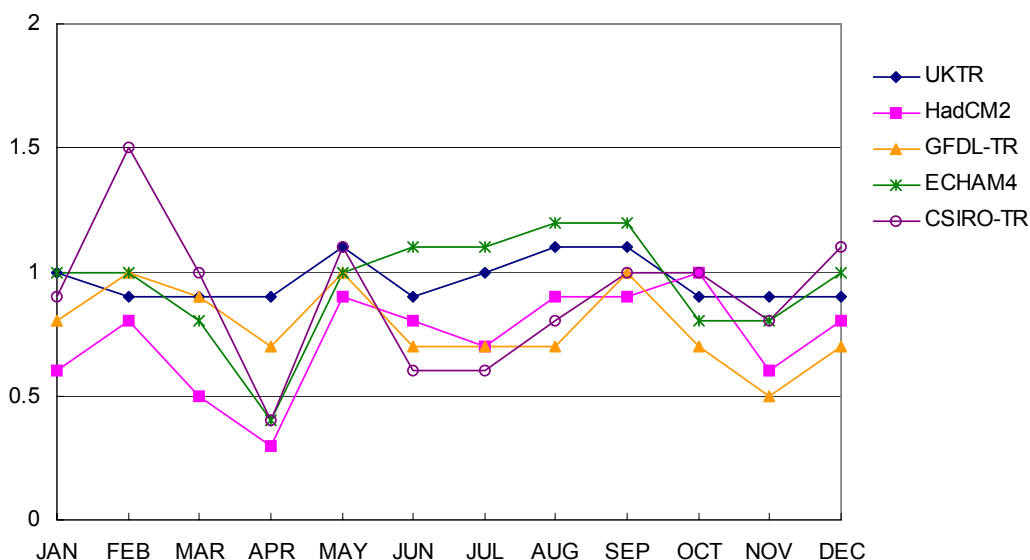


Рис. 11 | Ожидаемые по различным моделям изменения среднемесячных температур (отклонения в °С от базовой нормы 1961-1990 годов) к 2020 году для - района с координатами 35-40°с.ш., 65-70° в.д. (предгорье)

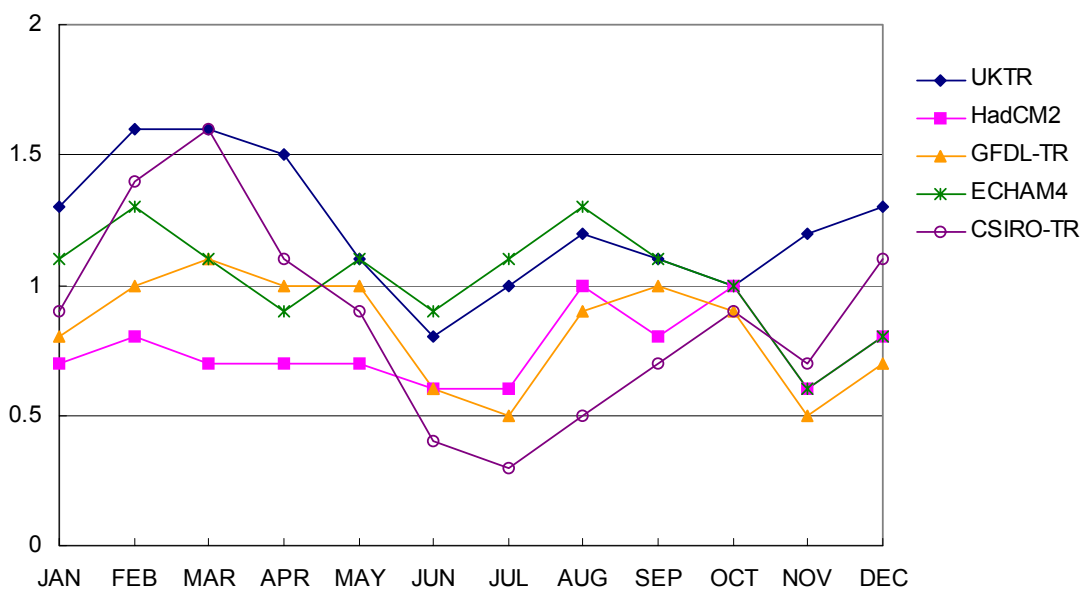


Рис. 12. Ожидаемые по различным моделям изменения среднемесячных температур (отклонения в °С от базовой нормы 1961-1990 годов) к 2020 году для - района с координатами 40-45°с.ш., 70-75° в.д.(горы)

Анализ построенных графиков показывает, что все выбранные МОЦ дают в общем согласованные результаты. Учитывая существующую неопределенность МОЦ 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 °С, 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°С, глобальные осадки должны увеличиться на 5.01% по отношению к нормам 1961-1990 годов. В данном варианте расчетов также учтено смягчающее влияние сульфатных аэрозолей.

2.4. Построение сценариев изменения климата по территории Узбекистана с использованием метода статистической интерпретации концепции «идеального прогноза»

В настоящей работе использован метод статистической интерпретации выходных результатов МОЦ, основанный на концепции “идеального прогноза”. Основная идея “идеального прогноза” состоит в том, что статистические связи ищутся на диагностических данных, а применяются к выходным результатам МОЦ. При этом качество интерпретации улучшается с усовершенствованием модели.

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 Узбекистана и прилегающей горной территории.

Методика статистической интерпретации включает:

- создание архива в узлах заданной сетки по данным наблюдений (осредненных по большой территории аномалий, которые считаются идеальными прогнозами выбранных МОЦ), для температуры используется формула (1), для осадков – формула (2)

$$\Delta T_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_i - T_{cp}) \quad (1)$$

$$R_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{100R_i}{R_{cp}} \right) \quad (2);$$

- построение уравнений связей между осредненными аномалиями и данными по станциям;

- использование построенных уравнений для расчета сценарных значений элемента по станциям, используя в качестве предикторов выходные результаты моделей в узлах сетки.

Такие уравнения были построены для всех имеющихся в архиве станций (табл. 12). Для построения уравнений множественной линейной регрессии был применен метод просеивания предикторов. Для значения исследуемой климатической характеристики по каждой станции вектором-предиктором является поле выходных значений модели в узлах регулярной сетки.

Таблица 12 | Список опорных станций

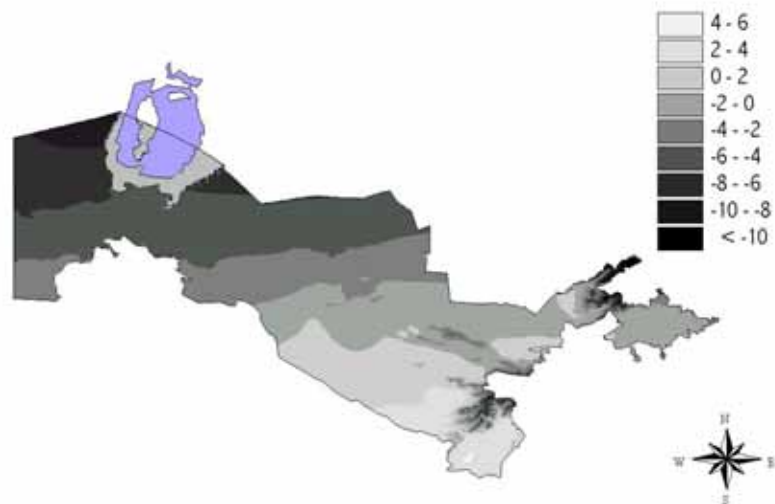
Узбекистан			Киргизия и Таджикистан	
1. Жаслык	18. Бухара	35. Янгиер	1. Каракуджур	
2. Каракалпакия	19. Каракуль	36. Ташкент	2. Красный Октябрь	10. Куляб
3. Чимбай	20. Аякагитма	37. Туябугуз	3. Нарын	11. Курган-Тюбе
4. Кунград	21. Карши	38. Кокарал	4. Сарыташ	12. Худжант
5. Нукус	22. Гузар	39. Каунчи	5. Талас	13. Горбунова
6. Муйнак	23. Дехканабад	40. Дальверзин	6. Бишкек	14. Хорог
7. Ургенч	24. Шахрисябз	41. Сырдарья	7. Хайдаркан	
8. Хива	25. Шурчи	42. Пскем	8. Чолпон-Ата	
9. Акбайтал	26. Шерабад	43. Дукант	9. Чаткал	
10. Тамды	27. Байсун	44. Ойгаинг		
11. Бузаубай	28. Денау	45. Коканд		
12. Машикудук	29. Термез	46. Фергана		
13. Джангельды	30. Минчукур	47. Федченко		
14. Самарканд	31. Джизак	48. Андижан		
15. Каттакурган	32. Галляарал	49. Наманган		
16. Навои	33. Богарное	50. Пап		
17. Нурата	34. Санзар			

Данная методика позволила получить детализированные по территории сценарии и учесть региональные особенности.

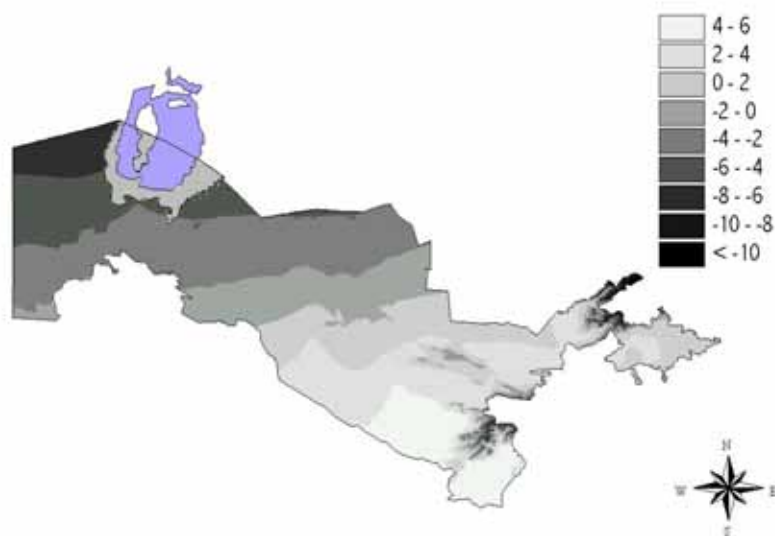
Ниже в качестве иллюстрации расчетов по методике (рис. 13) представлено распределение по территории Узбекистана современных базовых январских норм среднемесячной температуры воздуха и их изменение к 2050 году в соответствии со сценарием IS92a и учетом влияния сульфатных аэрозолей (статистическая интерпретация выходных результатов модели ECHAM4). На рис. 13 прослеживается смещение соответствующих градаций температуры на север и возникновение новой градации (4-6 °C) в южных районах Республики Узбекистан в случае реализации выбранного сценария.

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 2020 год, т.е. диапазон осреднения охватывает период 2006-2035 годы. Методика статистической интерпретации позволила рассчитать ожидаемые по сценарию изменения для 50 станций Узбекистана (табл. 13-16) и ряда станций прилегающей горной территории (табл. 17-20).



(a)



(б)

Рис. 13 | Современная базовая норма среднемесячной температуры воздуха в январе (а) и ее ожидаемое значение к 2050 году (б) в соответствии со сценарием эмиссии IS92a и учетом влияния сульфатных аэрозолей (статистическая интерпретация результатов модели ECHAM4)

Таблица 13 | Изменения среднемесячных температур воздуха по модели ЕСНАМ4 к 2020 году (отклонения от базовой нормы, 50 станций Узбекистана)

№ станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.6	1.5	0.9	0.4	0.9	0.4	0.8	1.2	1.0	0.6	0.4	0.4
2	1.5	1.5	0.6	0.4	1.0	0.4	0.8	0.9	1.0	0.7	0.4	0.4
3	1.5	1.4	0.8	0.5	0.9	0.4	0.6	0.8	1.0	0.9	0.4	0.4
4	1.4	1.5	0.7	0.3	0.7	0.4	0.5	1.0	0.9	0.7	0.4	0.4
5	1.4	1.4	0.7	0.4	0.7	0.4	0.9	0.9	1.2	1.0	0.4	0.4
6	1.4	1.3	1.1	0.3	1.0	0.4	0.5	0.8	1.1	1.1	0.4	0.6
7	1.5	1.7	0.6	0.5	0.9	0.4	0.9	1.1	1.0	0.9	0.4	0.4
8	1.5	1.5	0.6	0.6	0.9	0.5	0.8	1.1	1.2	0.8	0.4	0.5
9	1.6	2.0	0.9	0.6	1.1	0.6	0.6	1.5	1.3	0.9	0.4	0.7
10	1.4	1.9	0.6	0.5	1.0	0.7	1.1	1.2	1.1	0.9	0.4	0.8
11	1.7	1.9	0.6	0.5	1.1	0.7	1.2	1.3	1.2	1.0	0.4	0.5
12	1.6	2.0	0.6	0.4	1.3	0.9	1.1	1.3	1.6	0.9	0.4	0.7
13	1.6	2.0	0.6	0.6	1.1	0.9	1.4	1.5	1.5	1.0	0.4	0.7
14	1.6	1.7	0.6	0.4	0.8	0.5	0.7	1.0	1.2	1.0	0.4	0.8
15	1.5	1.8	0.6	0.4	1.0	0.7	0.9	1.1	0.9	1.0	0.4	0.8
16	1.8	1.6	0.6	0.5	0.9	0.7	1.1	1.0	1.0	0.9	0.4	0.7
17	1.7	1.9	0.8	0.4	1.1	1.1	0.9	1.1	1.2	0.9	0.4	0.9
18	1.6	1.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.8	0.9	0.7	0.8	0.4	0.8
19	1.5	1.7	0.6	0.5	1.0	0.7	1.4	1.6	1.2	0.7	0.4	0.8
20	1.6	1.9	0.6	0.5	1.5	1.0	1.1	1.3	1.5	1.1	0.4	0.9
21	1.5	1.5	0.5	0.2	1.0	0.6	1.2	1.6	1.5	1.0	0.6	0.8
22	1.3	1.4	0.7	0.2	1.2	0.9	0.8	1.0	1.3	1.1	0.6	0.9
23	1.4	1.4	0.5	0.4	0.9	1.0	0.9	1.2	1.4	0.9	0.6	1.0
24	1.4	1.5	0.6	0.3	0.9	1.0	1.0	1.3	1.3	0.9	0.5	0.8
25	1.2	1.4	0.8	0.4	0.8	0.8	0.7	1.0	0.6	0.8	0.4	0.9
26	1.1	1.2	0.6	0.3	1.0	1.0	0.8	1.0	1.2	0.7	0.6	0.9
27	1.4	1.4	0.8	0.3	1.0	0.9	1.4	1.1	1.4	1.0	0.6	1.0
28	1.1	1.4	0.5	0.3	0.8	0.9	0.8	1.0	0.8	0.5	0.4	0.8
29	1.1	1.3	0.6	0.3	0.8	0.9	1.0	1.5	1.5	0.5	0.6	0.8
30	0.9	1.3	0.8	0.4	1.3	1.3	1.7	1.7	1.8	1.2	0.5	0.8
31	1.6	1.9	0.6	0.6	1.1	0.6	1.2	1.0	1.1	1.1	0.5	0.9
32	1.7	1.9	0.6	0.5	1.1	0.5	1.0	1.1	1.2	0.9	0.5	0.8
33	1.7	1.8	0.6	0.5	0.7	0.9	0.8	1.1	1.1	0.7	0.3	0.6
34	1.6	1.9	0.7	0.6	1.0	0.9	0.9	1.2	1.2	1.1	0.5	0.9
35	1.5	1.9	0.7	0.5	0.7	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3	0.4	0.6
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
45	1.4	1.8	0.6	0.6	0.8	0.7	1.0	1.1	0.7	0.7	0.3	0.9
46	1.4	1.6	0.6	0.5	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.3	0.8
47	1.6	1.8	0.6	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.9	0.7	0.3	0.7
48	1.5	1.6	0.7	0.5	1.1	0.8	0.8	1.0	0.8	0.9	0.3	0.5
49	1.5	1.8	0.7	0.6	0.8	0.8	0.6	1.0	0.9	0.9	0.5	0.5
50	1.5	1.6	0.7	0.6	0.8	0.6	0.7	0.9	1.0	0.9	0.5	0.8

Таблица 14 | Изменения среднемесячных температур воздуха по модели HadCM2 к 2020 году (отклонения от базовой нормы, 50 станций Узбекистана)

№ станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.7	0.6	0.2	0.2	0.6	0.4	0.4	0.9	0.9	0.8	0.3	0.4
2	0.6	0.4	0.2	0.2	0.7	0.4	0.4	0.7	0.9	0.8	0.3	0.4
3	0.7	0.6	0.2	0.2	0.7	0.4	0.4	0.6	0.8	1.0	0.3	0.4
4	0.6	0.7	0.2	0.2	0.5	0.4	0.4	0.7	0.8	0.8	0.3	0.4
5	0.6	0.6	0.2	0.2	0.5	0.4	0.5	0.6	1.0	1.1	0.3	0.4
6	0.6	0.5	0.3	0.2	0.7	0.4	0.4	0.6	0.8	1.2	0.3	0.4
7	0.8	0.8	0.2	0.3	0.6	0.4	0.6	0.9	0.9	1.1	0.3	0.4
8	0.8	0.8	0.2	0.4	0.8	0.4	0.5	0.9	1.0	1.0	0.3	0.4
9	0.8	0.8	0.2	0.4	0.8	0.5	0.4	1.1	1.0	1.1	0.3	0.5
10	0.7	0.8	0.2	0.3	0.7	0.6	0.7	0.9	1.0	1.0	0.3	0.6
11	0.9	0.8	0.2	0.4	0.9	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	0.3	0.4
12	0.9	0.8	0.2	0.2	1.0	0.7	0.6	0.9	1.3	1.0	0.3	0.6
13	0.9	0.8	0.2	0.4	0.9	0.7	0.9	1.1	1.3	1.1	0.3	0.6
14	0.9	0.8	0.2	0.3	0.6	0.4	0.4	0.8	0.9	1.1	0.3	0.6
15	0.9	0.8	0.2	0.3	0.8	0.5	0.6	0.8	0.6	1.1	0.3	0.6
16	0.9	0.8	0.2	0.3	0.7	0.6	0.6	0.8	0.8	1.1	0.3	0.6
17	0.9	0.8	0.3	0.3	0.9	0.8	0.5	0.8	0.9	1.0	0.3	0.8
18	0.9	0.8	0.2	0.4	0.6	0.4	0.5	0.6	0.6	0.9	0.3	0.7
19	0.9	0.8	0.2	0.4	0.8	0.6	1.0	1.2	0.9	0.8	0.3	0.7
20	0.9	0.8	0.2	0.4	1.2	0.7	0.7	1.0	1.2	1.3	0.3	0.7
21	0.9	1.1	0.3	0.2	0.9	0.5	0.7	1.2	1.2	1.1	0.4	0.7
22	0.8	1.0	0.3	0.2	1.1	0.7	0.5	0.7	1.0	1.3	0.3	0.7
23	0.9	1.1	0.3	0.3	0.8	0.7	0.5	0.9	1.0	1.0	0.3	0.8
24	0.9	1.1	0.3	0.2	0.8	0.7	0.5	0.9	1.0	1.0	0.3	0.7
25	0.8	1.1	0.5	0.3	0.7	0.5	0.4	0.8	0.5	0.9	0.3	0.7
26	0.7	1.0	0.3	0.2	1.0	0.7	0.6	0.8	0.9	0.9	0.4	0.7
27	0.9	1.1	0.4	0.2	0.9	0.6	0.9	0.8	1.2	1.3	0.5	0.8
28	0.7	1.1	0.3	0.2	0.7	0.6	0.5	0.7	0.6	0.7	0.3	0.6
29	0.7	1.1	0.3	0.2	0.7	0.7	0.7	1.2	1.2	0.8	0.4	0.6
30	0.6	1.1	0.5	0.3	1.1	0.9	1.0	1.3	1.3	1.4	0.4	0.7
31	1.0	1.2	0.4	0.5	0.9	0.5	0.9	0.9	0.9	1.2	0.3	0.8
32	1.1	1.2	0.4	0.4	0.7	0.3	0.7	0.9	1.0	1.0	0.3	0.7
33	1.1	1.2	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.9	0.9	0.8	0.3	0.6
34	1.0	1.2	0.4	0.4	0.8	0.7	0.5	0.9	0.9	1.2	0.3	0.8
35	1.0	1.2	0.4	0.4	0.5	0.8	0.7	1.0	1.1	1.4	0.3	0.6
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
45	0.9	1.1	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.9	0.6	0.7	0.3	0.8
46	0.9	0.9	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.3	0.7
47	1.0	1.1	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3	0.5	0.8	0.8	0.3	0.7
48	1.0	0.9	0.4	0.4	0.8	0.5	0.5	0.7	0.6	1.1	0.3	0.5
49	1.0	1.1	0.4	0.5	0.6	0.5	0.3	0.7	0.7	0.9	0.4	0.5
50	0.9	0.9	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.7	0.7	1.0	0.4	0.7

**Таблица 15 | Изменение осадков по модели ЕСНАМ4 к 2020 году
(отношение к базовой норме в %, 50 станций Узбекистана)**

№ станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	116	128	92	99	100	125	162	117	128	95	85	108
2	108	109	92	103	105	111	131	144	125	119	96	107
3	93	104	98	87	101	126	116	105	133	92	80	97
4	105	112	99	88	101	128	137	93	186	96	87	114
5	97	111	109	92	101	118	136	100	147	91	83	98
6	97	119	89	84	99	115	135	61	116	90	88	106
7	115	124	112	101	106	151	184	100	122	80	104	116
8	114	122	121	100	111	176	158	92	123	83	108	107
9	114	106	115	95	93	125	113	174	112	89	93	114
10	108	99	120	108	105	159	152	100	103	98	111	127
11	106	111	119	102	93	87	128	100	127	80	95	107
12	112	106	115	112	106	130	95	100	106	93	100	124
13	115	109	113	105	101	149	144	100	107	95	101	129
14	102	123	114	112	95	153	141	100	117	94	121	117
15	107	124	121	118	102	151	108	100	121	97	119	127
16	104	111	111	122	104	204	128	100	100	97	109	128
17	105	111	122	116	103	130	137	100	143	95	117	129
18	108	113	115	117	109	100	120	100	100	91	105	132
19	103	111	112	118	105	140	100	100	100	97	103	133
20	109	112	118	113	95	221	103	130	100	102	102	118
21	109	120	120	126	104	102	100	100	91	91	126	120
22	106	114	116	114	93	144	100	100	112	90	129	118
23	104	121	115	113	104	109	100	100	100	96	130	117
24	106	117	120	115	100	147	128	100	110	94	125	118
25	101	113	112	115	115	100	100	100	100	100	121	130
26	104	118	115	109	102	100	100	100	100	99	134	125
27	105	115	117	115	105	177	103	93	104	100	131	117
28	103	116	115	120	108	223	100	100	100	97	120	124
29	102	109	107	106	102	100	100	100	100	100	129	129
30	106	113	110	108	107	131	105	100	97	89	124	117
31	105	115	117	106	93	122	156	129	117	95	130	124
32	102	109	122	108	92	147	141	123	126	94	134	116
33	94	100	109	108	85	87	106	120	91	98	113	100
34	101	115	121	110	93	135	166	102	137	99	125	116
35	103	114	112	106	96	96	130	114	99	92	128	112
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
45	118	123	117	107	84	115	141	109	110	86	134	132
46	113	110	108	102	87	100	136	121	98	95	147	131
47	111	114	114	106	91	109	127	168	94	93	146	127
48	112	115	117	106	94	110	158	166	104	95	149	131
49	115	123	115	107	92	120	135	134	158	93	143	135
50	114	121	111	107	86	108	136	115	146	87	141	131

Таблица 16 | Изменение осадков по модели HadCM2 к 2020 году (отношение к базовой норме, %), станции Узбекистана

№ станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	118	96	103	102	131	185	148	124	94	89	104	118
2	116	95	108	105	110	154	152	125	117	99	103	116
3	111	105	88	103	130	164	123	138	96	91	106	111
4	118	107	91	102	136	167	128	185	102	96	116	118
5	118	117	93	99	126	171	120	153	98	95	106	118
6	118	94	86	104	121	143	102	124	89	96	105	118
7	118	119	101	105	136	220	100	140	92	122	125	118
8	118	121	101	113	136	217	136	143	97	125	118	118
9	112	118	96	91	136	135	152	127	103	105	121	112
10	102	121	108	107	136	188	100	122	114	124	130	102
11	118	121	100	92	92	165	100	151	97	107	115	118
12	108	117	108	111	134	122	100	142	107	108	124	108
13	118	120	102	100	136	188	100	127	114	109	132	118
14	118	118	111	98	136	189	100	143	112	128	117	118
15	118	121	116	103	136	137	100	141	116	126	126	118
16	112	112	118	104	136	220	100	100	115	116	124	112
17	115	121	112	103	136	195	100	177	113	123	128	115
18	118	116	113	114	100	145	100	100	106	111	127	118
19	115	114	113	105	136	100	100	100	111	110	131	115
20	116	121	109	95	136	119	152	100	115	110	116	116
21	121	120	121	105	98	100	100	100	104	131	118	121
22	115	118	111	95	138	100	100	134	103	131	117	115
23	121	115	110	106	114	100	100	100	111	131	116	121
24	120	123	112	103	155	171	100	130	107	131	118	120
25	113	111	116	109	100	100	100	100	120	126	122	113
26	120	113	108	109	100	100	100	100	120	131	116	120
27	116	117	113	107	155	121	83	119	115	131	113	116
28	117	114	120	109	155	100	100	100	118	126	118	117
29	110	107	105	106	100	100	100	100	125	131	121	110
30	114	113	107	109	144	167	100	112	105	130	117	114
31	121	121	107	100	116	183	129	153	115	130	129	121
32	116	121	107	100	116	183	141	143	115	130	120	116
33	99	113	107	92	89	133	126	89	106	110	94	99
34	116	121	108	96	116	183	129	149	119	130	120	116
35	119	116	107	99	112	179	120	123	109	130	117	119
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
45	122	119	112	91	116	153	121	138	109	130	136	122
46	112	111	107	94	116	167	139	123	119	130	134	112
47	118	119	110	100	116	148	160	115	118	130	131	118
48	122	121	110	103	116	183	160	130	121	130	135	122
49	122	121	110	97	116	155	160	167	117	130	136	122
50	122	117	110	94	116	166	125	167	110	130	136	122

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 17 | Изменения среднемесячных температур воздуха по модели ЕСНАМ4 к 2020 году (отклонения от базовой нормы, станции Таджикистана и Киргизии)

№ станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.9	1.0	0.9	0.6	0.9	0.7	1.0	0.8	1.1	1.1	0.8	0.8
2	0.7	0.7	0.6	0.5	0.7	0.6	0.8	0.9	0.6	0.8	0.7	1.0
3	1.5	1.8	0.9	0.6	1.1	1.1	0.9	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9
4	0.8	0.9	0.9	1.0	0.7	1.1	1.0	1.1	1.2	1.2	0.9	0.8
5	1.2	1.8	1.0	0.6	1.3	1.0	0.9	1.2	0.7	1.0	0.9	1.0
6	1.5	1.4	1.0	0.6	1.4	1.3	1.0	1.0	1.3	0.9	0.9	1.2
7	1.1	1.2	1.0	0.6	0.9	1.3	1.3	1.3	1.3	1.1	0.7	1.0
8	0.9	0.7	0.6	0.5	0.9	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.5	0.7
9	0.9	1.3	1.7	1.4	0.9	1.0	1.4	1.5	1.2	0.9	0.9	0.9
10	1.0	1.2	0.8	0.4	1.1	1.2	0.7	0.9	1.1	0.8	0.7	1.0
11	1.2	1.0	0.8	0.4	1.1	0.9	0.6	0.8	0.6	0.6	0.7	0.8
12	1.3	1.5	0.9	0.6	1.3	0.9	0.8	0.8	1.0	0.7	0.7	1.1
13	0.8	0.8	0.6	0.5	0.9	1.1	1.1	1.3	1.4	1.0	0.8	0.6
14	1.4	1.5	1.2	0.6	1.2	1.1	1.2	1.0	1.0	0.9	0.8	1.4

Таблица 18 | Изменения среднемесячных температур воздуха по модели HadCM2 к 2020 году (отклонения от базовой нормы, станции Таджикистана и Киргизии)

№ станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.5	0.7	0.6	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	1.0	0.7	0.7
2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.4	0.9	0.5	0.8
3	1.0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.5	1.1	0.4	1.0
4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.4	0.7	0.6	0.8	0.8	1.1	0.9	0.6
5	0.7	1.0	0.6	0.4	0.9	0.7	0.5	0.8	0.6	1.1	0.8	1.0
6	0.8	0.7	0.5	0.5	1.0	0.9	0.6	0.8	1.0	0.9	0.8	1.2
7	0.7	0.9	0.7	0.5	0.6	0.9	0.7	1.0	0.9	1.2	0.6	0.9
8	0.6	0.4	0.4	0.4	0.6	0.5	0.3	0.5	0.4	0.7	0.5	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
10	0.6	1.0	0.5	0.3	0.9	0.8	0.4	0.7	0.7	0.9	0.5	0.8
11	0.7	0.8	0.5	0.3	0.9	0.6	0.4	0.6	0.5	0.8	0.5	0.6
12	0.7	0.9	0.5	0.5	0.9	0.6	0.4	0.6	0.8	0.8	0.6	1.0
13	0.5	0.6	0.4	0.3	0.5	0.7	0.6	0.9	0.8	0.9	0.7	0.5
14	0.7	0.9	0.8	0.5	0.8	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.9

Таблица 19 | Изменение осадков по модели ECHAM4 к 2020 году (отношение к базовой норме в %, станции Таджикистана и Киргизии)

№ станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	110	105	109	105	100	103	106	107	111	99	104	105
2	106	95	102	103	103	104	105	103	102	100	102	101
3	110	109	108	105	99	96	117	110	118	107	109	107
4	107	106	104	102	98	105	112	110	103	102	108	121
5	107	97	101	106	93	97	121	123	119	97	106	111
6	104	98	104	103	94	93	118	110	119	97	102	103
7	105	102	109	103	95	94	127	126	118	96	111	116
8	106	101	100	104	102	102	101	107	108	103	103	128
9	105	105	105	101	95	89	131	124	121	94	108	115
10	105	108	109	109	94	110	125	100	132	103	111	116
11	106	110	112	108	94	142	100	100	100	103	113	118
12	107	104	110	100	99	83	135	123	124	95	109	117
13	105	103	104	105	99	110	121	109	106	96	108	116
14	109	109	114	103	92	122	157	100	112	101	119	119

Таблица 20 | Изменение осадков по модели HadCM2 к 2020 году (отношение к базовой норме в %, станции Таджикистана и Киргизии)

№ станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	109	110	105	99	105	112	110	116	104	106	112	109
2	105	108	105	102	107	111	108	108	104	103	110	105
3	112	111	107	100	101	132	115	128	118	112	114	112
4	107	106	105	98	111	125	115	108	112	112	118	107
5	107	104	107	99	108	169	136	141	108	110	121	107
6	104	108	105	99	100	155	115	134	108	105	113	104
7	107	112	106	100	108	159	136	136	110	115	120	107
8	106	103	103	100	103	105	111	119	116	110	133	106
9	114	113	106	100	96	149	134	146	111	114	126	114
10	109	109	107	98	130	166	100	154	120	114	110	109
11	110	110	107	99	155	100	100	100	124	115	108	110
12	108	112	104	100	102	163	136	154	113	114	121	108
13	107	107	107	100	118	137	111	119	111	111	116	107
14	111	116	106	100	140	196	100	142	130	123	115	111

Подчеркнем еще раз, что в данной работе была поставлена задача построить региональные климатические сценарии на ближайшую перспективу (к 2025 году). Описанные в подразделе 2.2 данные моделей в состоянии равновесия, которые позволяют получить оценки изменений температуры и осадков только на гипотетический момент удвоения концентрации CO₂ в атмосфере (2xCO₂), использовать для построения сценария на ближайшую перспективу мы не можем. Для этой цели нужны выходные результаты моделей в переходном состоянии. Это более современные и развитые модели общей циркуляции атмосферы и океана, с помощью которых возможно получить оценки изменений климатических характеристик в соответствии с задаваемым сценарием эмиссии (предполагающих определенное ежегодное увеличение концентраций парниковых газов).

Учитывая, что нашей целью является построение сценариев на ближайшую перспективу, мы остановимся на среднем сценарии эмиссии (IS92a), так называемом сце-

нарий невмешательства, и средней чувствительности моделей к повышению концентрации парниковых газов в атмосфере.

Анализ различных литературных источников, а также документов МГЭИК [14, 15, 17] показывает возможность привлечения современных выходных результатов МОЦ для рассматриваемой территории. Мы воспользовались результатами МОЦ имеющихся в системе MAGICC/SCENGEN [17]. MAGICC широко используются МГЭИК, а система MAGICC/SCENGEN постоянно обновляется с целью учета все более современных научных знаний и распространяется в рамках Программы поддержки национальных сообществ Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Поэтому выходные результаты различных МОЦ, собранных в базе данных SCENGEN, являются наиболее подходящей основой для построения региональных сценариев изменения климата.

Учитывая существующую неопределенность МОЦ и необходимость при построении региональных сценариев климата отразить возможный в будущем весь диапазон изменений, нами в качестве основы выбраны две модели - HadCM2 (UK, Hadley Centre) и ECHAM4 (Germany, Max Planck Institute).

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» (интерпретация результатов МОЦ в узлах сетки), с помощью которых даваемые моделями климатические характеристики преобразовываются к необходимым для дальнейшего использования метеорологическим параметрам с нужным пространственным и временным разрешением.

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 2020 год, т.е. диапазон осреднения охватывает период 2006-2035 годы. Методика статистической интерпретации на концепции «идеального прогноза» позволила рассчитать ожидаемые по сценарию изменения для 50 станций Узбекистана и ряда станций прилегающей горной территории, которые мы рекомендуем использовать для необходимых оценочных расчетов.

3. Анализ наблюдаемых трендов стока и циклических колебаний

Анализ наблюдений за притоками в Чарвакское и Андижанское водохранилища показывает отсутствие линейных трендов, что соответствует выводам об отсутствии значимых изменений в рядах наблюдений за осадками [4]. В работах [1-3, 5 и др.] было показано, что годовые суммы осадков имеют значительные колебания во времени, можно выделить ряд очень сухих и очень влажных периодов. Например, наиболее сухое было десятилетие в 1941-1950 годы, наиболее влажные десятилетия - 1951-1960 и 1981-1990 годы. Многолетние колебания осадков в значительной мере связаны с изменениями общей циркуляции атмосферы, а крупные аномалии годовых сумм осадков наблюдаются синхронно по большой территории.

Анализ изменения средних значений и дисперсий месячных сумм осадков в различные 30-летние интервалы показал, что в Узбекистане в связи с изменением климата отмечается некоторое увеличение изменчивости осадков, однако сделать однозначный вывод о тенденциях изменения средних значений месячных и годовых сумм осадков в связи с изменением климата невозможно [4].

В работе [5] для отдельных сезонов года рассмотрен стандартизованный индекс осадков (*SPI*). Расчет индекса производился по среднемесячным данным метеорологических станций, характеризующих различные территории республики.

$$SPI = [(p - \bar{p}) / \bar{p}] \times 100\%$$
, где p - наблюдаемое количество осадков, \bar{p} - их среднее значение. Широкое применение этот показатель получил благодаря простоте его вычисления и доступности исходных данных для этой цели.

Расчеты показали, что существенных тенденций изменений стандартизованного индекса осадков, вычисленного для отдельных сезонов года по территории Узбекистана, не отмечается.

На рис. 14 приводятся ряды стандартизованного индекса весенних осадков (март-май), вычисленного для станций предгорной зоны (Ташкент, Фергана), низовьев Амударьи (Ургенч) и зоны пустынь (Тамды).

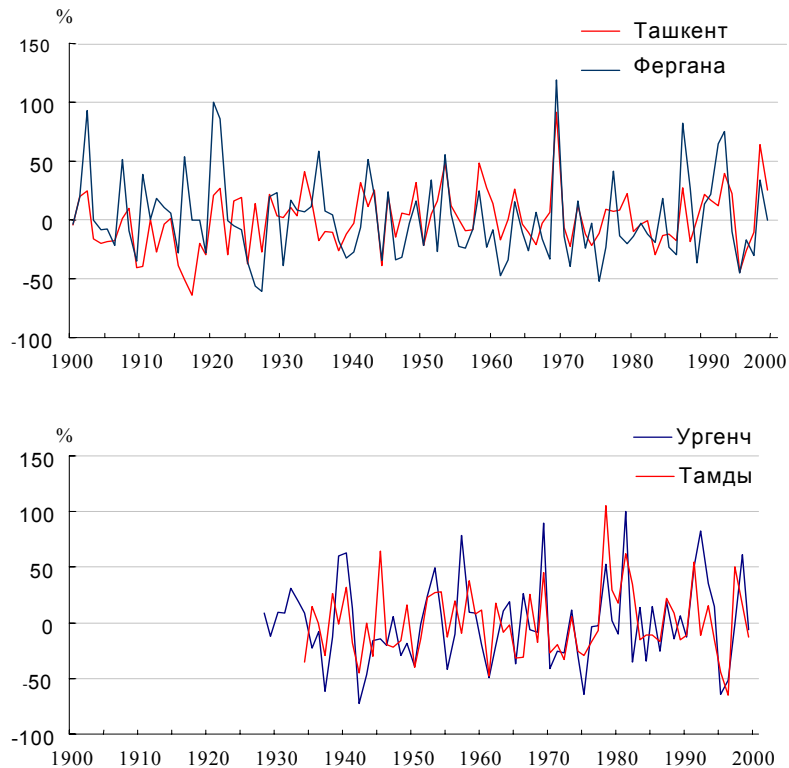


Рис. 14 | Изменение стандартизованного индекса осадков по отдельным станциям Узбекистана (весенние месяцы)

На рис. 15 представлены изменения среднегодовых притоков в Чарвакское и Андиджанское водохранилища (календарный год), где отмечается высокая синхронность колебаний стока и отсутствие значимых долговременных тенденций изменения, поскольку основной вклад в формирование притоков в данные водохранилища вносят осадки.

Если рассмотреть изменение во времени стока рек, где доля ледникового питания больше, то можно отметить устойчивую тенденцию к увеличению стока, что вполне согласуется с выводом о возрастании вклада ледниковой составляющей в условиях наблюдаемого потепления климата региона.

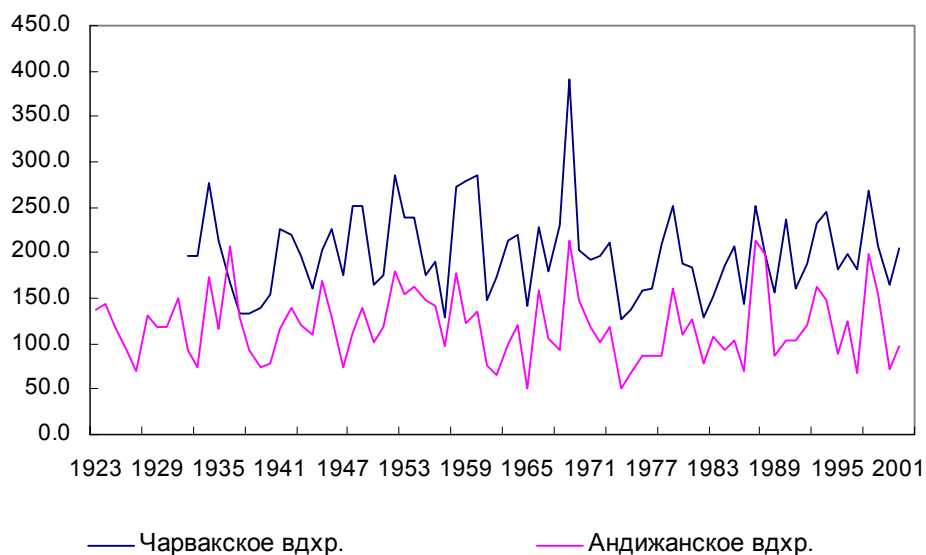


Рис. 15 | Изменение среднегодовых притоков в Чарвакское и Андижанское водохранилища (календарный год)

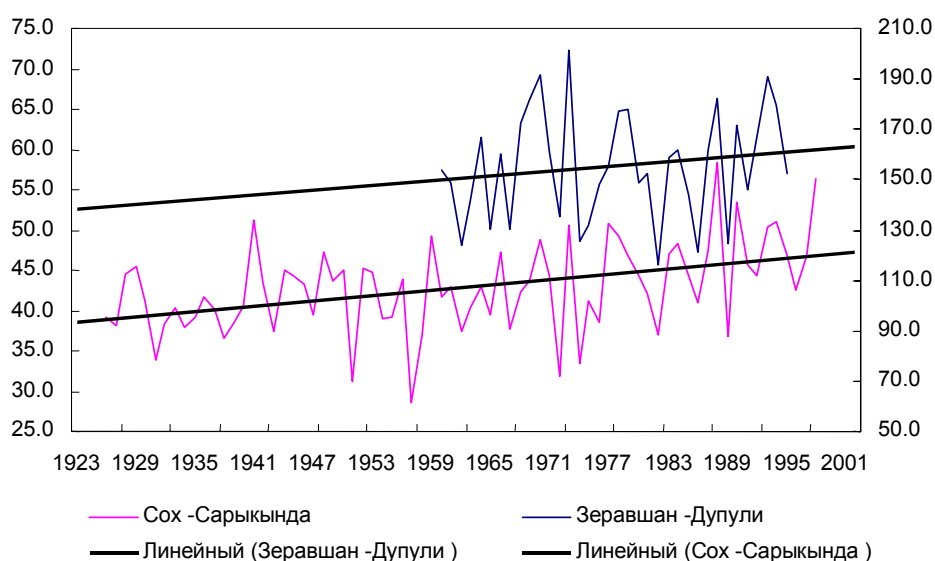


Рис. 16 | Изменение среднегодового стока в створах Сох-Сарыкында и Зеравшан-Дупули (календарный год)

Аналогичный вывод можно сделать и при рассмотрении притока в Нурекское водохранилище (рис.17), где данные наблюдений также фиксируют некоторое возрастание стока в связи с повышением температур воздуха в последние десятилетия, что можно считать следствием антропогенного изменения климата в регионе.

Приток в Нурекское водохранилище
(апрель-сентябрь)

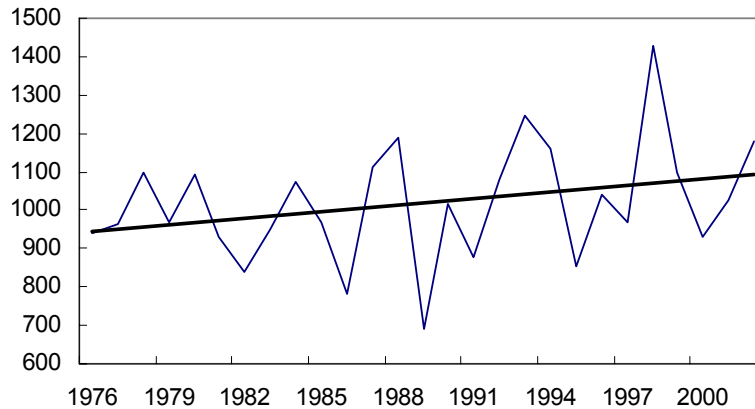


Рис.17 | Изменение притока в Нурекское водохранилище за теплый период года

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

Исследования, проведенные по диагнозу и анализу существующих изменений климата Средней Азии, 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, связанному с магнитной полярностью солнечных пятен. Данная цикличность описывает соответственно 24, 19 и 12% дисперсии исходных рядов (см. раздел 1.1).

Изменения режима осадков связаны с изменением региональной циркуляции. В работе [3] изучались многолетние колебания годовых сумм атмосферных осадков, осредненных по равнинной и горной территории и на отдельных метеорологических станциях, а также их тенденции. Цикличности или периодичности выявлялись с помощью автокорреляционных функций. Была обнаружена периодичность в 30-35 лет, 2-3, 4-5, 6-7-летние циклы, что вполне согласуется с результатами работы [2]. В рядах осадков и стока обнаруживаются цикличности, близкие к периоду колебаний солнечной активности и различных индексов циркуляции, колебаний с периодом 4-6 лет и квазидвухлетней цикличности [1-3]. Низкочастотные колебания (порядка 35-40 лет) в рядах осадков и стока можно связать со сменой циркуляционных эпох [7].

В этой связи нами выполнен анализ рядов стока моделью циклических компонент [6], которая позволяет последовательно выделять сложные тренды, являющиеся суммой линейного тренда и одной или двух гармоник. Значимость выявленных трендов можно оценить с помощью коэффициенту корреляции и величинам описанной дисперсии. Экстраполяция выделенных трендов позволяет выполнить оценку возможных изменений стока на ближайшую перспективу.

Таблица 21 | Параметры трендов, выделенных во временных рядах стока с преобладанием дождевого снегового питания

Периоды	Описанная дисперсия, %	Коэффициент корреляции	Длина ряда
Приток в Андижанское водохранилище			
37	3.7	0.21	70
9	13.1	0.37	70
Приток в Чарвакское водохранилище			
38	6.3	0.25	70
9	21.2	0.46	70
Сох-Сарыкында			
37	19.1	0.43	67
10	21.1	0.44	67

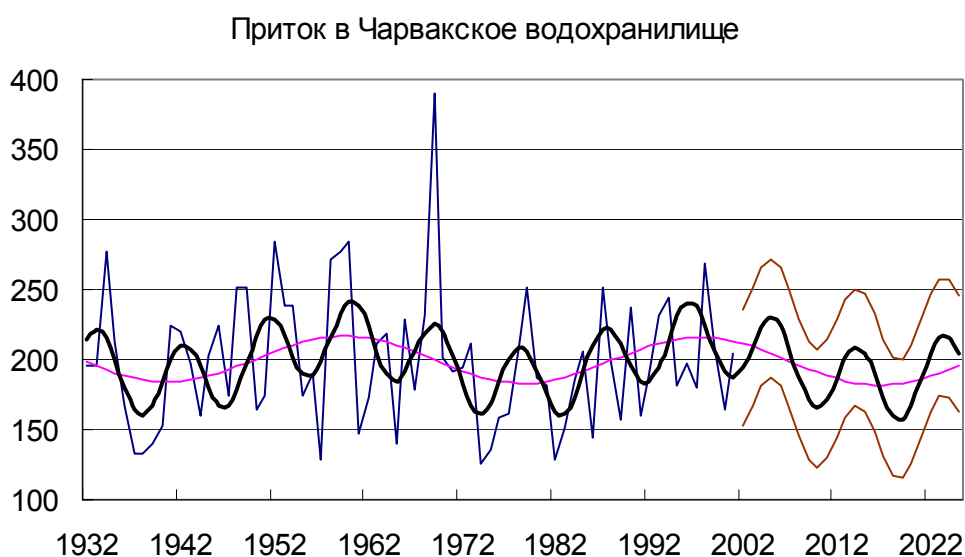


Рис.18 | Изменение притока в Чарвакское водохранилище и выделенные тренды

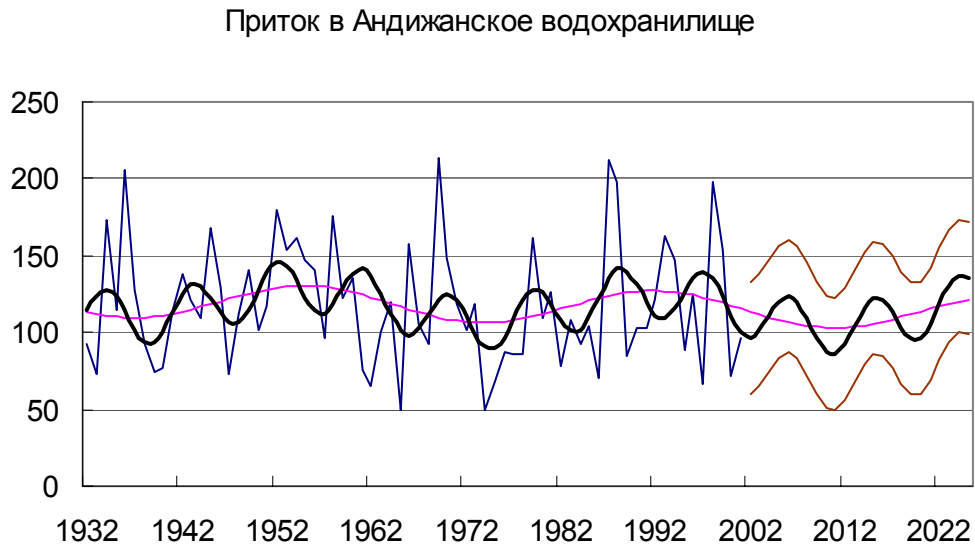


Рис. 19 | Изменение притока в Андижанское водохранилище и выделенные тренды

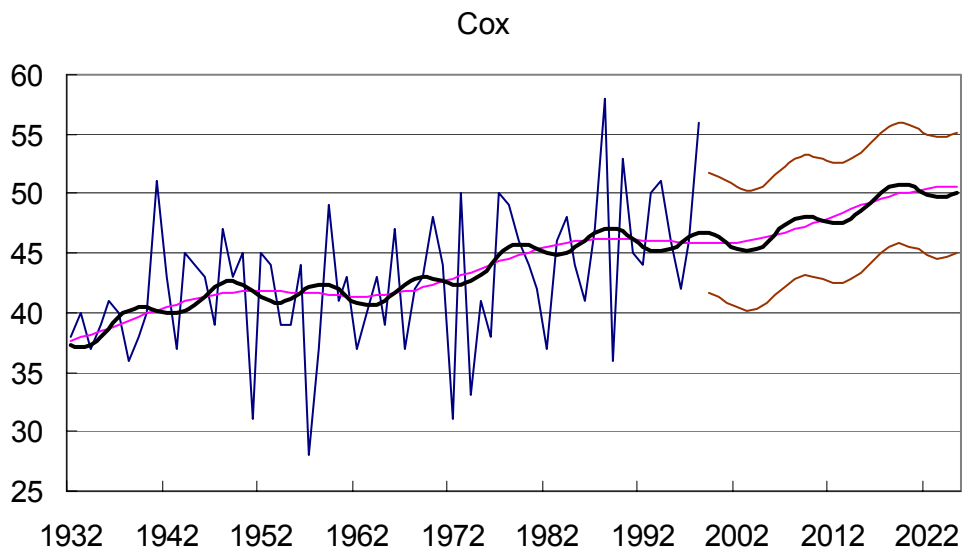


Рис. 20 | Изменение стока в створе Сох-Сарыкында и выделенные тренды

В табл. 21 приводятся параметры выделенных сложных трендов, а на рис 18-20 – сами тренды. Выделенный цикл 37-38 лет можно соотнести со сменой циркуляционных эпох, а цикл 9-10 лет сопоставим с периодом колебания солнечной активности, который в настоящее время близок к 10 годам. На рис. 20 отчетливо прослеживается линейный тренд.

Однако, следует иметь в виду, что экстраполяция линейных положительных трендов, наблюдаемых во временных рядах стока, имеющих значительные ледниковые составляющие, будет давать реалистичную оценку только до тех пор, пока не исчерпаются компенсационные возможности ледников в горах.

Анализ временных рядов стока, с существенной долей ледникового питания показал наличие колебаний 22-23 года, которые проявляются во временных рядах температуры воздуха и колебание с периодом 5 лет (табл. 22). Выделенный сложный тренд по-

зволлил описать существенную долю дисперсии (до 36,5% для временного ряда притока в Нурекское водохранилище за теплый период года).

Таблица 22 | Параметры трендов, выделенных во временных рядах стока с преобладанием дождевого снегового питания

Периоды	Описанная дисперсия, %	Коэффициент корреляции	Длина ряда
Зеравшан-Дупули			
23	14.2	0.35	36
5	29.4	0.50	36
Приток в Нурекское водохранилище (апрель- сентябрь)			
22	14.3	0.35	27
5	36.5	0.60	27

Зеравшан - Дупули

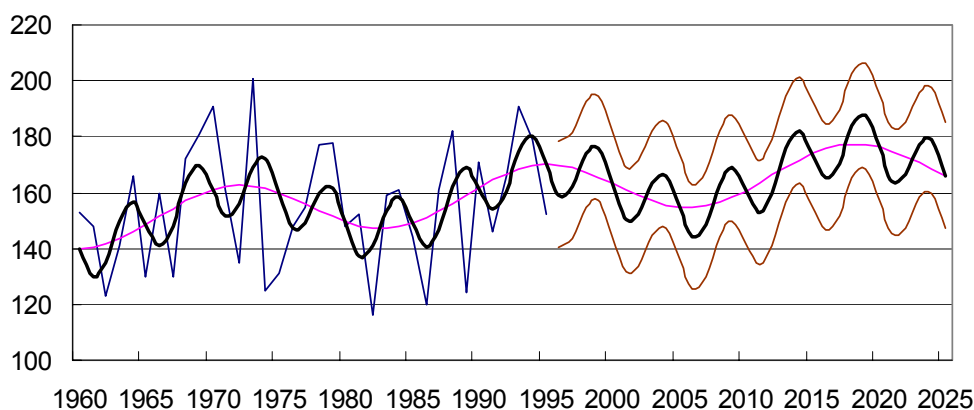


Рис. 21 | Изменение стока в створе Зеравшан-Дупули и выделенные тренды

Приток в Нурекское водохранилище (апрель-сентябрь)

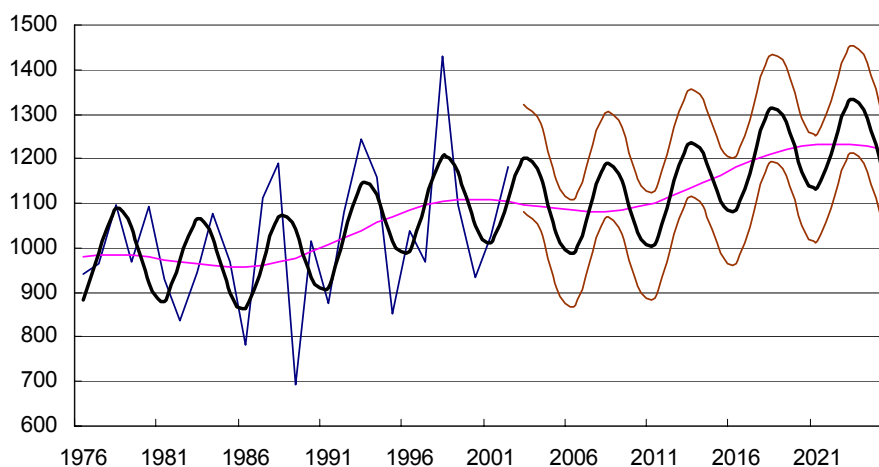


Рис. 22 | Изменение притока в Нурекское водохранилище за теплый период года и выделенные тренды

На графиках 18-22 также представлен диапазон возможных колебаний исследуемых рядов, как плюс и минус стандартное отклонение остатка ряда после удаления трендов.

Однако, учитывая, что все природные колебания стока имеют квазициклическую структуру, использовать выявленные гармонические тренды в прогностических целях не представляется возможным. Вместе с тем, выявленные колебания стока указывают на увеличение изменчивости стока в отдельные временные интервалы.

На основании проведенного анализа трендов можно заключить, что:

- для рек с существенным вкладом снегового питания значимых тенденций изменения не обнаружено. Выявленные квазипериодичности обусловлены изменением режима осадков;

- для рек с существенным вкладом ледникового питания отмечается некоторая тенденция увеличения стока, связанная с потеплением климата в регионе.

Следует иметь в виду, что экстраполяция линейных положительных трендов, наблюдаемых во временных рядах стока, имеющих значительные ледниковые составляющие, будет давать реалистичную оценку только до тех пор, пока не исчерпаются компенсационные возможности ледников в горах.

4. Оценка изменений влажности воздуха на перспективу (по результатам работы [5])

4.1. Наблюдаемые тенденции изменений параметров влажности

Дефицит влажности воздуха - разность упругости насыщения и фактической упругости водяного пара при данной температуре. Для того чтобы отобразить влияние антропогенных воздействий на режим влажности, в данной работе было отобрано 6 станций. Станция Нукус - характеризует орошаемые низовья Амударьи, Тамды - центральный Кызылкум, Ташкент - предгорную зону, район с наиболее сильным влиянием урбанизации, Джизак - Голодную степь, район, где произошло интенсивное увеличение площадей орошаемых земель в последние десятилетия, Чимбай и Муйнак характеризуют условия Приаралья, причем Муйнак - это бывшая прибрежная станция.

На рис. 23 приведены графики изменений средних за осенний сезон дефицитов влажности воздуха на выбранных станциях.

Несмотря на то, что станция Нукус находится вблизи орошаемых массивов, тенденции изменений дефицита влажности аналогичны тенденциям изменений, наблюдающимся на станции Тамды. Отсутствуют долговременные тренды в зимние и весенние месяцы и прослеживаются тенденции к увеличению дефицита летом и осенью. На станции Ташкент тенденции роста дефицита влажности прослеживаются практически во все сезоны, а станция Джизак фиксирует антропогенное уменьшение дефицита влажности. В Приаралье тенденции изменения дефицита влажности практически однозначны - с отступанием береговой линии фиксируется увеличение дефицита влажности во все сезоны года и увеличение размаха колебаний. Даже визуально заметно нарушение однородности рядов наблюдений, связанное с регрессией Аральского моря.

Таким образом, дефицит влажности является очень чувствительным к изменению климата показателем засухи. В отсутствии локальных антропогенных воздействий, этот показатель фиксирует тенденции к росту засушливости в осенне-летний сезон.

Испаряемость. Оценка изменений величины испаряемости в отдельные сезоны выполнена на основе формулы Н.Н. Иванова с поправкой Л.А. Молчанова для условий Узбекистана [4, 6]

$$E_m = 0,00144 (25 + T)^2 \cdot (100 - a), \quad (1)$$

где T - средняя месячная температура, a - средняя месячная относительная влажность воздуха. Расчет фактического испарения является отдельной и очень сложной задачей [5]. Однако величина, рассчитанная по формуле (1), является объективным критерием для оценки тенденций изменений потенциально-возможного испарения при данных метеорологических условиях.

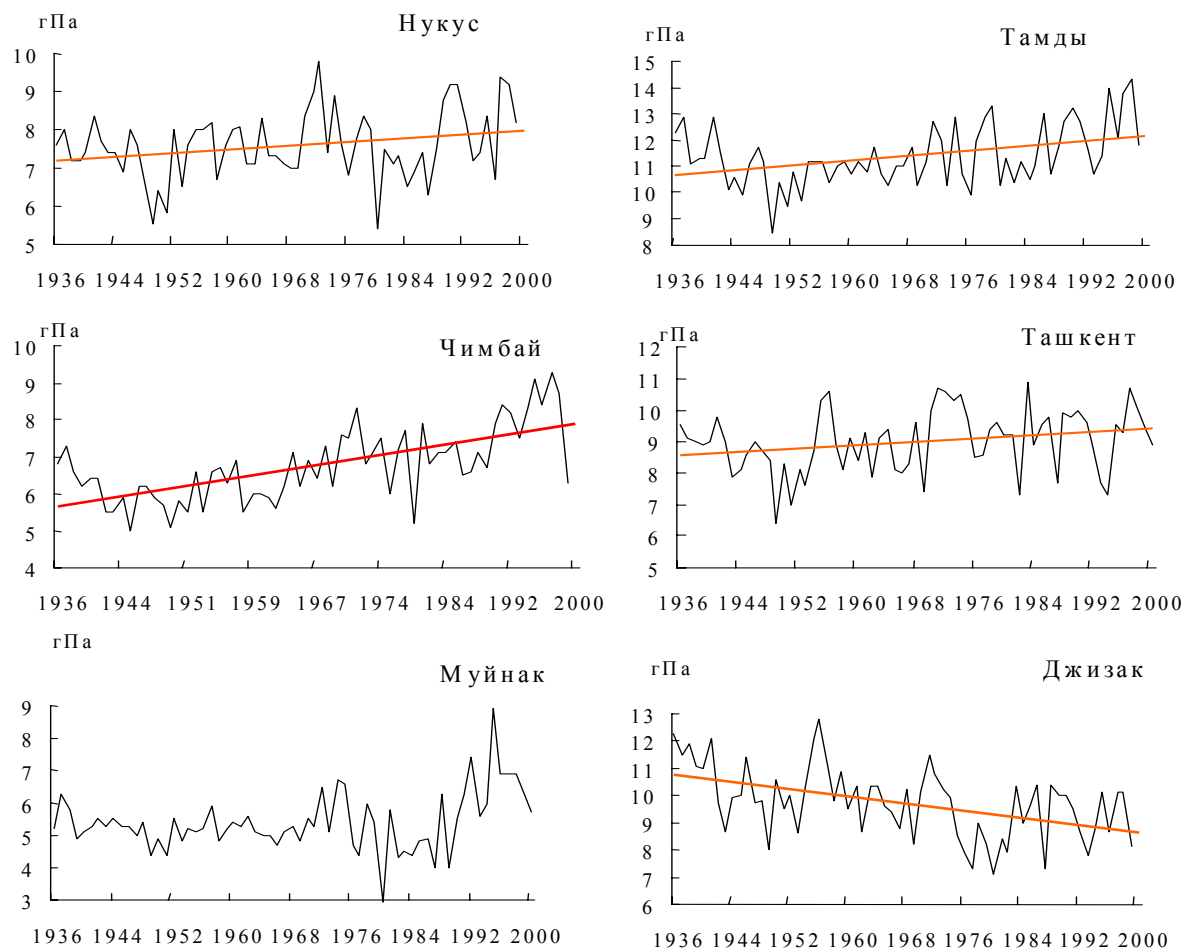


Рис. 23 | Изменение среднего за осенний сезон дефицита влажности по отдельным станциям Узбекистана

Наименьшие различия между рассчитанными величинами испаряемости в различные 30-летние периоды времени по территории Узбекистана отмечены весной. Летом отмечено увеличение испаряемости в период 1970-1999 годы. Помимо Приаралья, увеличение испаряемости отмечено по всей равнинной территории республики, включая Ферганскую долину, долину Сурхандарьи и Кашкадарьи. Исключением является Голодная степь, где под воздействием антропогенных изменений отмечено уменьшение испаряемости (рис. 24). Район с максимальными по территории величинами испаряемости за сезон в текущее тридцатилетие охватил значительную часть равнинной территории Узбекистана. Отмеченные в летний сезон тенденции изменений, особенно важны, поскольку они вносят основной вклад в годовую сумму. Для осеннего сезона также отмечено увеличение потенциально возможного испарения.

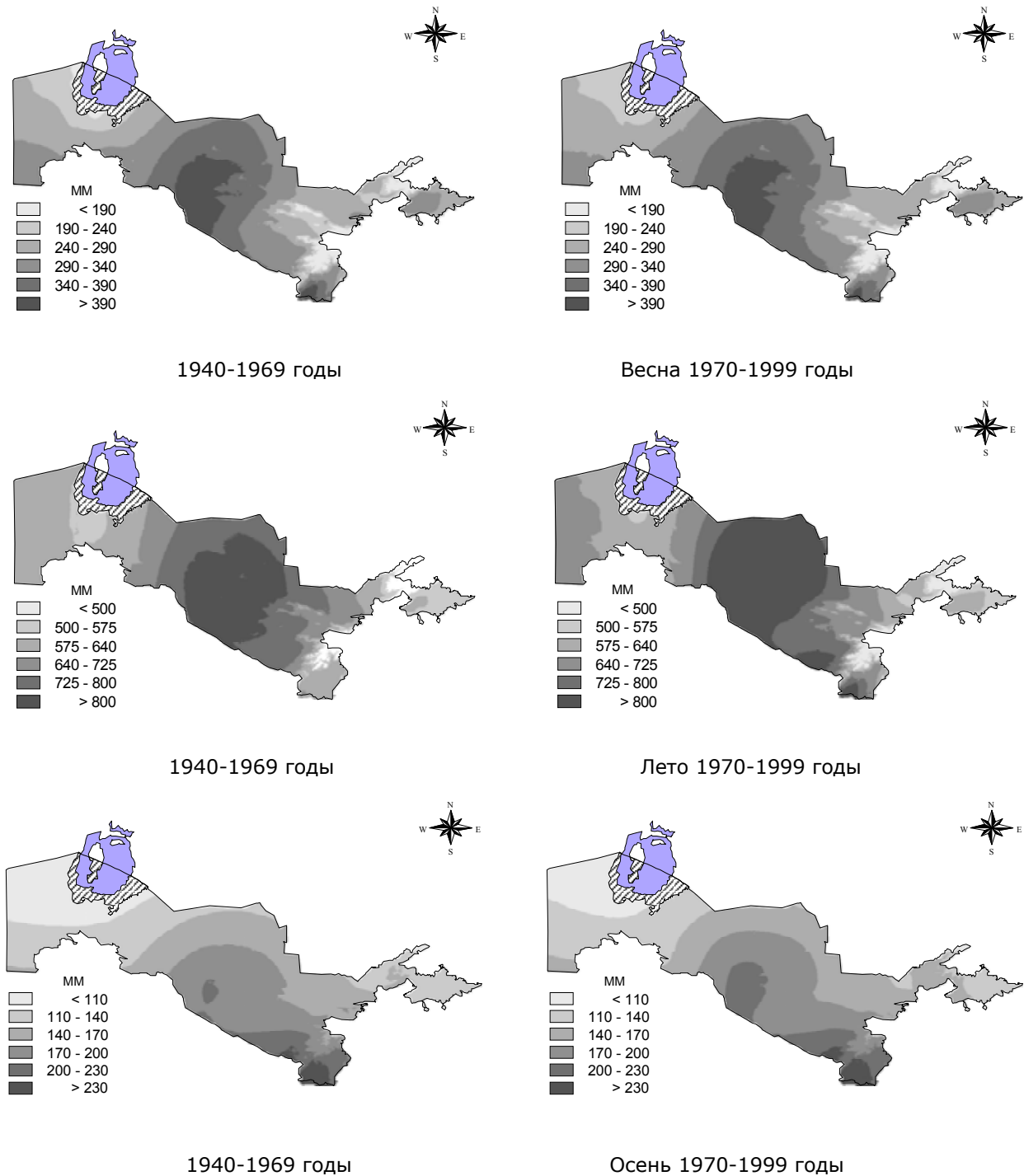


Рис. 24 | Рассчитанные величины испаряемости по сезонам года в различные 30-летние временные интервалы

4.2. Эксперименты по оценке влажности воздуха для условий климатического сценария (исследования САНИГМИ)

На концепции "идеального прогноза" была предпринята попытка построить сценарий изменений абсолютного влагосодержания, на основе связей со среднемесячными температурами воздуха.

Вычисление ожидаемых изменений влажности воздуха для условий сценариев основано на уравнениях регрессии, построенных на фактических данных. В табл. 23 при-

водятся значения сводных коэффициентов корреляции для отдельных станций Узбекистана. Значения приведенных коэффициентов корреляции указывают на тесные связи в зимние и весенние месяцы, которые позволяют получить достоверные оценки изменений влажности воздуха по полю среднемесячных температур.

Таблица 23 | Значения сводных коэффициентов корреляции ($R_{\text{свод}}$) при включении в равнение регрессии трех предикторов для вычисления упругости водяного пара (абсолютного влагосодержания)

№ станции	Номер месяца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Жаслык	0.89	0.86	0.76	0.37	0.42	0.37	0.39	0.46	0.36	0.68	0.73	0.85
Чимбай	0.88	0.88	0.80	0.58	0.43	0.43	0.24	0.38	0.63	0.71	0.67	0.92
Акбайтал	0.81	0.85	0.66	0.32	0.31	0.52	0.55	0.44	0.45	0.53	0.69	0.86
Тамды	0.79	0.87	0.59	0.46	0.47	0.39	0.30	0.49	0.36	0.53	0.72	0.79
Самарканд	0.73	0.89	0.57	0.63	0.68	0.12	0.26	0.79	0.15	0.5	0.42	0.72
Каракуль	0.84	0.89	0.69	0.41	0.48	0.34	0.48	0.49	0.36	0.56	0.71	0.8
Джизак	0.84	0.91	0.71	0.51	0.57	0.53	0.58	0.55	0.44	0.47	0.41	0.78
Ташкент	0.79	0.84	0.67	0.67	0.63	0.30	0.39	0.62	0.42	0.54	0.65	0.83
Пскем	0.33	0.73	0.66	0.68	0.45	0.32	0.46	0.33	0.38	0.58	0.66	0.73
Фергана	0.72	0.86	0.57	0.65	0.77	0.46	0.29	0.67	0.55	0.62	0.62	0.79

Следует отметить, что в отличие от температуры влажность воздуха в континентальных районах зависит главным образом от характера общей циркуляции атмосферы адвекции воздушных масс. В летние и осенние месяцы, когда нет притока влаги извне, что характерно для Узбекистана, связи температуры с абсолютным влагосодержанием уменьшаются, но появляется значительная обратная связь между температурой и относительной влажностью воздуха (табл. 24) [8].

Таблица 24 | Коэффициенты корреляции между среднемесячными температурами и значениями относительной влажности воздуха по станциям Узбекистана

№ станции	Номер месяца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Чимбай	0,04	-0,1	-0,57	-0,63	-0,70	-0,79	-0,82	-0,8	-0,72	-0,58	-0,34	-0,06
Тамды	-0,28	-0,25	-0,50	-0,54	-0,57	-0,57	-0,62	-0,55	-0,55	-0,61	-0,4	-0,28
Ташкент	-0,59	-0,57	-0,67	-0,73	-0,80	-0,83	-0,83	-0,78	-0,85	-0,78	-0,64	-0,57
Фергана	-0,33	-0,38	-0,71	-0,72	-0,79	-0,79	-0,8	-0,8	-0,83	-0,76	-0,57	-0,39
Самарканд	-0,57	-0,49	-0,71	-0,73	-0,76	-0,80	-0,84	-0,77	-0,81	-0,81	-0,67	-0,62
Термез	-0,64	-0,65	-0,73	-0,82	-0,81	-0,81	-0,82	-0,79	-0,84	-0,82	-0,64	-0,64

Полученные результаты указывают на необходимость дальнейших проработок по оценке параметров влажности в условиях изменения климата. Дополнительную сложность при оценке изменений параметров влажности в условиях Узбекистана вносят различные локальные антропогенные воздействия (сокращение Аральского моря, наличие ирригационных систем и орошаемых массивов, возникновение ирригационно-сбросовых озер). Необходимо дальнейшее изучение и оценка изменений параметров влажности с учетом локальных антропогенных воздействий, которые нарушают однородность рядов наблюдений за влажностью.

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 (табл. 25). Порядок станций соответствует списку, приведенному разделе 2.4 в таблице 12.

Таблица 25 | Средние значения относительной влажности (%) за период 1991-2000 годы по 50 станциям Узбекистана

№ станции	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	87	85	78	57	53	44	42	40	48	59	79	88
2	78	74	67	51	47	40	36	37	41	51	69	77
3	71	67	59	47	45	42	41	44	48	53	63	71
4	80	76	72	59	56	47	43	46	54	59	70	78
5	79	72	61	49	49	46	48	48	51	54	69	79
6	84	81	75	64	61	54	53	50	58	62	75	83
7	80	73	64	52	49	45	47	50	53	58	72	80
8	84	78	66	54	51	45	46	49	52	57	73	83
9	79	72	58	42	39	30	29	30	33	44	66	79
10	72	68	56	43	37	29	24	24	28	36	59	71
11	55	52	45	39	35	31	29	31	35	38	45	54
12	80	75	63	50	40	31	27	27	31	46	68	79
13	71	64	53	47	39	33	32	33	37	43	64	68
14	76	75	72	62	57	45	41	41	47	58	68	73
15	83	81	77	67	59	47	42	42	50	60	76	84
16	80	76	69	57	51	40	36	39	48	57	68	75
17	78	75	69	59	53	40	35	37	46	60	72	76
18	81	74	65	53	45	37	37	39	43	53	67	79
19	78	72	62	50	44	36	35	36	42	52	67	77
20	82	76	63	47	38	27	25	23	28	41	67	79
21	78	75	70	61	53	39	36	37	43	52	67	78
22	79	78	77	69	57	45	41	42	47	60	73	80
23	67	67	66	57	50	35	29	28	32	42	54	60
24	72	70	68	62	56	41	37	39	47	56	65	71
25	79	75	75	68	62	53	52	56	60	65	73	76
26	69	65	64	53	42	32	34	36	40	47	57	63
27	63	63	63	58	55	49	45	45	52	56	58	60
28	67	64	64	58	53	45	45	48	50	56	63	65
29	76	70	70	58	46	36	34	37	44	54	67	75
30	63	67	71	66	60	46	41	39	45	55	60	60
31	72	71	68	61	56	46	44	45	50	60	69	71
32	79	78	72	63	56	44	43	46	50	60	73	79
33	83	81	75	67	63	49	41	41	46	59	75	81
34	79	79	76	65	60	43	34	34	40	53	70	78
35	72	73	76	72	69	60	51	47	53	60	66	69
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
45	83	76	64	54	48	42	39	39	44	58	72	83
46	80	75	67	60	56	49	47	49	53	64	74	82
47	85	79	70	62	58	51	54	59	61	68	79	86
48	87	81	72	64	58	51	52	56	62	69	80	88
49	79	72	67	61	54	47	48	53	56	62	74	83
50	82	76	68	61	59	52	56	58	63	68	75	84

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 воздействие 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.

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%.

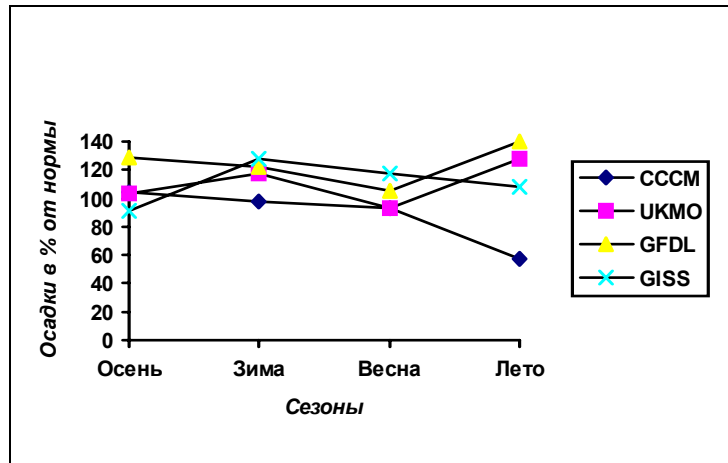


Рис.25 | Модельные сценарии возможных изменений сезонного количества осадков в % от базовой нормы 1951-1980 годов по Узбекистану и прилегающей горной территории на время удвоения CO₂ в атмосфере

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

Река	Q	Q норма	Изменение ресурсов поверхностных вод, %			
			GFDL	GISS	UKMO	CCCM
Кугарт	Q _{год.}	547	+12	+1	-7	-12
	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

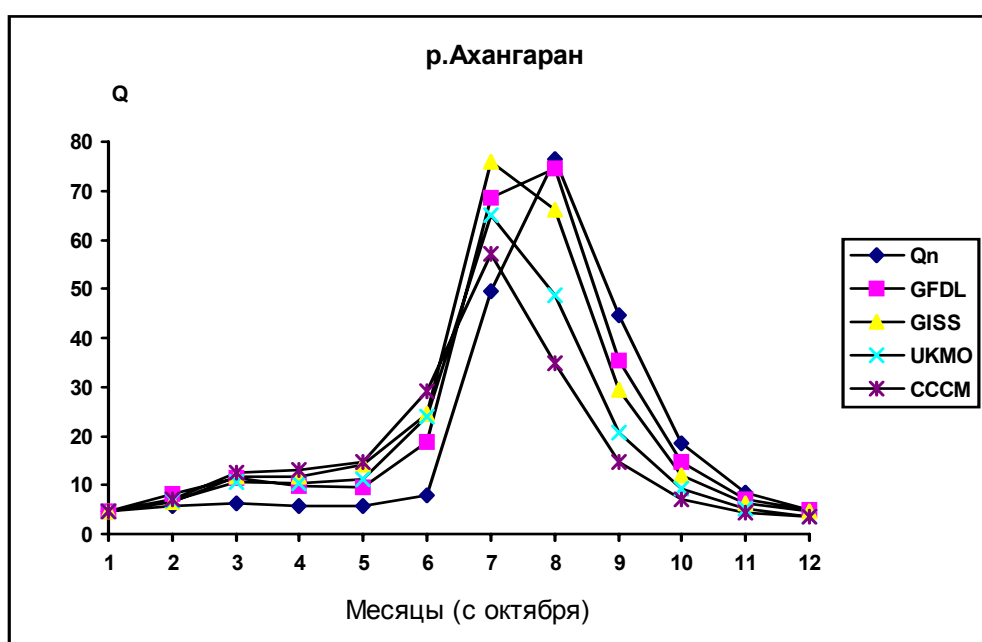


Рис.26 | Гидрографы стока реки Ахангаран при климатических сценариях на основе общей циркуляции атмосферы

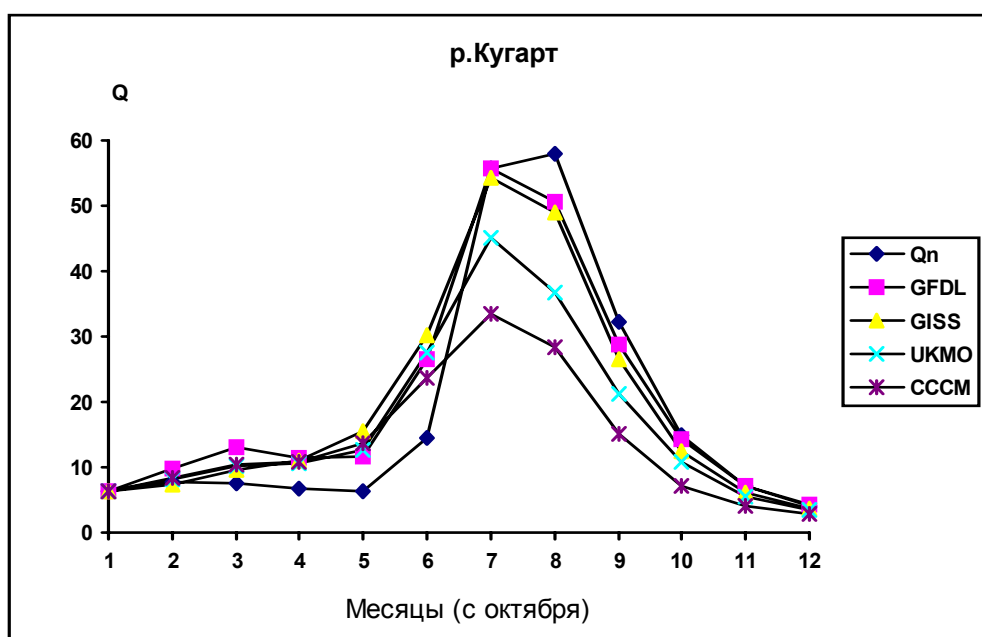


Рис.27 | Гидрографы стока реки Кугарт при климатических сценариях на основе общей циркуляции атмосферы

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		
			ЕCHAM4	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.

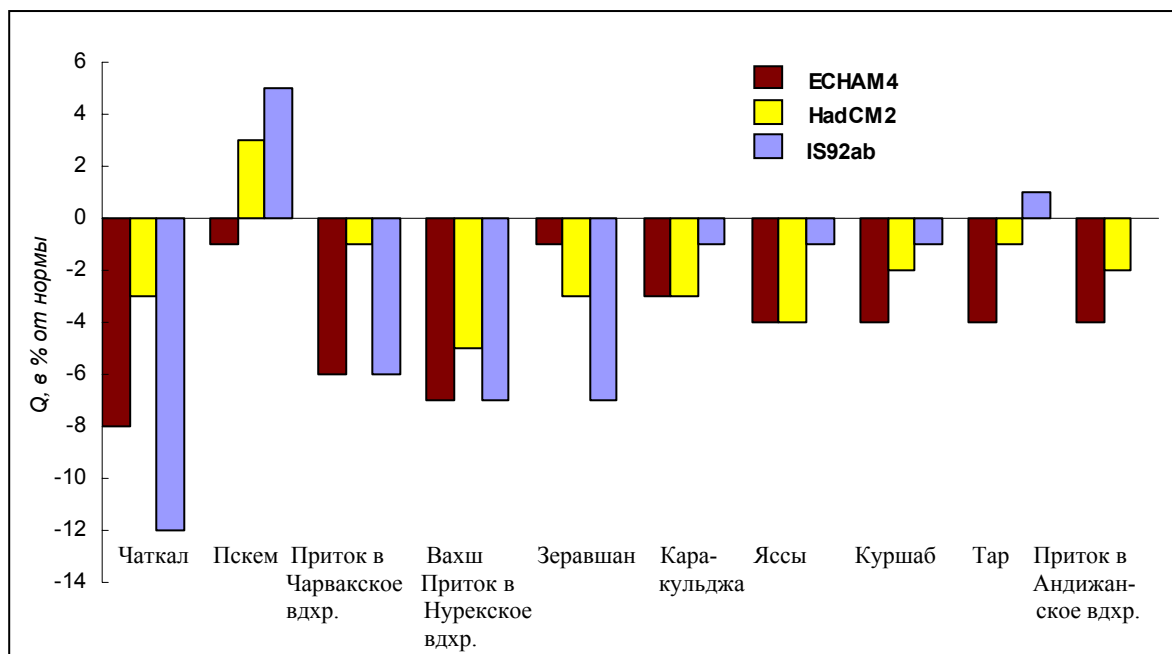


Рис. 28 | Оценка чувствительности речных водосборов при различных климатических сценариях

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.

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.

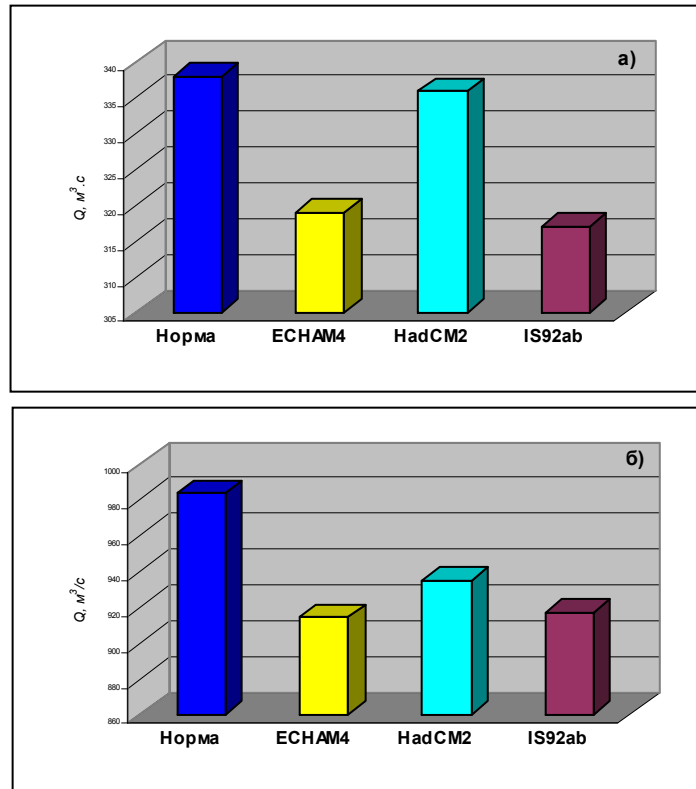


Рис. 29 | Изменение притоков воды в Чарвакское (а) и Нурекское (б) водохранилища при различных климатических сценариях

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		
		ECHAM4	HadCM2	IS92ab
Сырдарья	37,9	-2	-1	-2
Амударья	78,5	-3	-3	-4

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.

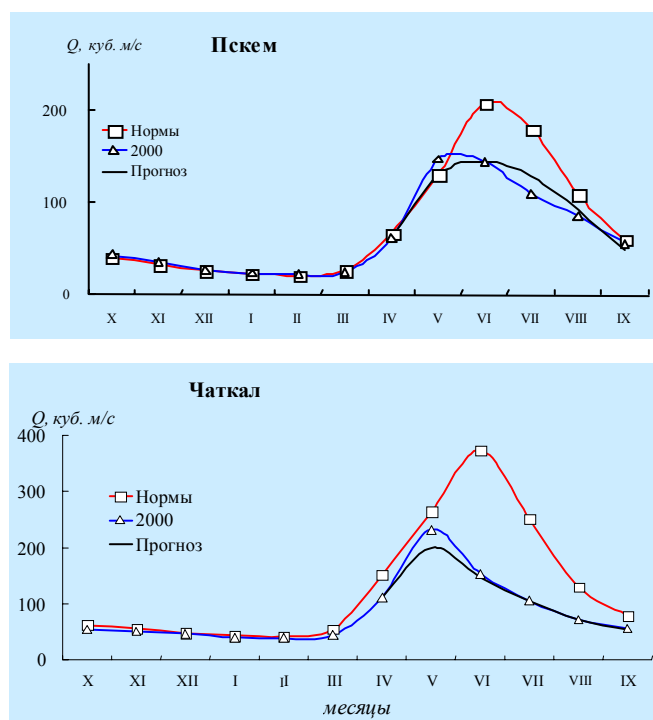


Рис. 30 | Фактические и спрогнозированные по модели гидрографы в сравнении со средними многолетними величинами

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 °С и 1 °С и годовых сумм осадков на плюс-минус 20% показали, что изменение температуры

на 1 °С 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 °С 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 1С сокращает площадь оледенения вдвое. Рост температуры на 1 °С 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 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 интегральным 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 1957 год. 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.

Заключение

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 снегозапасов. С увеличением дождей возможен общий рост их интенсивности. Это повлечет за собой дождевые паводки, прежде всего на малых водотоках, возрастание эрозии почвы и мутности стока. Для зоны предгорий, особенно в Ферганской долине, характерно выпадение дождей большой интенсивности, поэтому вся полоса предгорий может оказаться местом интенсивного развития селевой деятельности.

Во многих странах мира, особенно в засушливых странах Азии и Африки, существует проблема дефицита водных ресурсов. Ожидаемые в будущем изменения климата могут усилить недостаток воды. Развивающиеся страны и страны с переходной экономикой, находящиеся в засушливых и полузасушливых регионах, очень уязвимы к воздействиям изменения климата.

Для смягчения негативных последствий изменения водных ресурсов необходимо создание надежного гидрометеорологического мониторинга, широкое использование радиолокационной и спутниковой информации для оценки характеристик снежного покрова и оледенения и планирования водохозяйственной деятельности.

При долгосрочном планировании хозяйственной деятельности необходимо учитывать уязвимость поверхностных вод, т.к. в современных условиях практически полного использования водных ресурсов даже незначительное их уменьшение представляет серьезную проблему.

Стратегия реорганизации водного хозяйства должна быть направлена, прежде всего, на эффективное использование имеющихся водных ресурсов и водосбережение во всех отраслях народного хозяйства.

В заключение выражаю благодарность за предоставленные материалы по климатическим сценариям, помощь в работе и составлении отчета Т.Ю. Спекторман – старшему научному сотруднику отдела исследований и мониторинга климата САНИГМИ.

Список использованной литературы

Главы 1-2

1. Балашова Е.Н., Житомирская О.М., Семенова О.А. Климатическое описание республик Средней Азии. - Л: Гидрометеиздат, 1960.- 243с.
2. Второй доклад МГЭИК об оценках изменения климата, 1995 г., Женева, 69 с.

3. Долгих С.А., Пилифосова О.В. О методах оценки ожидаемых изменений и сценарии изменения климата Казахстана // Гидрометеорология и экология. - 1996. - № 4. - С. 94-109.
4. Изменчивость климата Средней Азии / Под. ред. Ф.А. Муминова, С.И. Инагамовой. - Ташкент. - 1995.-215с.
5. Ким И.С. Короткопериодные колебания климата Средней Азии и методики прогнозирования. - Ташкент, 1996.- 149с.
6. Никулина С.П., Спекторман Т.Ю. Использование сценариев изменения глобальной температуры воздуха для оценок термического режима Узбекистана. - Труды САНИГМИ, вып. 156 (237).
7. Разработать методики статистической интерпретации результатов глобальных климатических моделей для построения региональных сценариев изменения климата Узбекистана и прилегающей горной территории // IV.1/1.1.3, N ГР 01.20.0009053, Инв. N02.200006705. - Ташкент, 2000. - 29 с.
8. 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.
9. 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.
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. 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.
12. Первое национальное сообщение Республики Узбекистан Рамочной Конвенции ООН об изменении климата / Подготовлено в рамках проекта "Узбекистан - изучение страны по изменению климата". - 1999. - 123 с.
13. Country Studies Program, 1994. Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessment. Version 1.0. Washington. D.C.
14. 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.
15. Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies, Version 2.0, October 1998
16. 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.
17. 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.

Главы 3-4

1. Дроздов О.А., Григорьева А.С. Циклическая структура временного поля осадков и использование ее для прогноза. - Обнинск. -1974.
2. Ким И.С., Спекторман Т.Ю. О временном ходе сезонных сумм осадков по Средней Азии // Тр. САНИГМИ. -1982. - Вып.94(175).
3. Субботина О.И., Чавычалова Т.М. Особенности многолетних изменений атмосферной циркуляции на территории Средней Азии // Тр. САНИГМИ, -1991, Вып. 141(222).
4. Спекторман Т.Ю, С.П. Никулина. Мониторинг климата, оценка климатических изменений по территории Республики Узбекистан. / Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по РКИК/ООН. Бюллетень N 5. - Ташкент: САНИГМИ, 2002.

5. Спекторман Т.Ю. Динамика показателей засушливости территории Узбекистана в связи с изменением климата. / Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по РКИК/ООН. Бюллетень N 5. – Ташкент: САНИГМИ, 2002.
6. Справочник по прикладной статистике. – М: Финансы и статистика, 1989, – 510 с.
7. Изменчивость климата Средней Азии / Под. ред. Ф.А. Муминова, С.И. Инагамовой. – Ташкент. – 1995.-215с.
8. Научно-прикладной справочник по климату. Сер. 3, Многолетние данные, Ч. 1-6. Вып. 19, Узбекская ССР. Книга 1. – Л.: Гидрометеоздат, 1989, – 302 с.

Глава 5

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. 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.
3. 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.
4. Assessment of Water Resources and Water Availability in the World / Scientific leader and editor Prof. I.A.Shiclomanov. – Stockholm: WMO, 1997. – 88 P.
5. Котляков В.М. Наука общество окружающая среда / Москва. «Наука». 1997. – 408с.
6. Никулина С.П., Спекторман Т.Ю. Использование сценариев изменения глобальной температуры для оценок термического режима Узбекистана// Тр.САНИГМИ. – 1998, Вып.156(237). – С.109-115.
7. Оценка возможных изменений основных климатических характеристик на территории Узбекистана / Никулина С.П., Спекторман Т.Ю., Субботина О.И., Чанышева С.Г. // Метеорология и гидрология. – 1999, № 9. – С.56-65.
8. Перцигер Ф.И. Водные ресурсы ледникового бассейна: реакция на изменение климата // //Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Бюллетень №3, Ташкент, САНИГМИ. – 1999. – С. 31-36.
9. Разработка региональных климатических сценариев / Чуб В.Е., Чанышева С.Г., Никулина С.П., Спекторман Т.Ю., Субботина О.И..// Информация об исполнении Узбекистаном своих обязанностей по Рамочной Конвенции ООН по изменению климата, Бюллетень № 1, Ташкент: САНИГМИ. – 1999. – С.5-14
10. 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 Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Бюллетень № 1, Ташкент, САНИГМИ, 1999. – С.41-53.
11. Техническое руководство МГЭИК по оценке воздействий изменения климата и адаптации/ Под ред. Т.П.Картер, М.Л.Парри, Х.Харасава, Х.Нишиока. –Женева: ВМО, 1995.–65 с.
12. The Regional Impact of Climate Change. An Assessment of Vulnerability / Edited by R.T.Watson, M.C.Zinyowera, R.H.Moss.- Cambridge: University Press. 1998. – 517 p.
13. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан, Ташкент 2000. – 251 с.
14. Чуб В.Е., Ососкова Т.А. Изменение климата и поверхностные водные ресурсы бассейна Аральского моря, //Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Бюллетень №3, Ташкент, САНИГМИ, 1999. – С. 5-15.
15. 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.

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ БАСЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

М.Г. Хорст

Проблема повышения уровня рационального водопользования в орошаемом земледелии бассейна Аральского моря не нова, но особую остроту она приобрела в последнее десятилетие в связи с наметившимся и прогнозируемым в перспективе изменением климата. Фоном климатических изменений является устойчивый рост численности населения региона, жизнеобеспеченность большей части которого зависит от устойчивости сельхозпроизводства на орошаемых землях. В этой связи предлагаются основанные на проведенных в последние годы исследованиях рекомендации и оценки возможностей:

- поэтапного перехода на водосберегающую технику полива;
- повышения продуктивности использования оросительной воды;
- использования некапиталоемких методов водосбережения;
- улучшения эксплуатационных характеристик бороздкового полива;
- снижение водопотребления за счет применения засухоустойчивых сортов хлопчатника;
- планирования целесообразных затрат воды на фактический в конкретных условиях хозяйствования уровень урожая.

1. Проблема дефицита воды в орошаемом земледелии

Особенность ситуации последних десятилетий заключается в том, что объем спроса на воду превышает (особенно в маловодные годы) объем технически и экологически доступных водных ресурсов в реках. Это вызвало трагедию Аральского моря и сейчас создает существенную угрозу продуктовой и экологической безопасности ЦАР.

Устойчивый рост населения в регионе увеличивает количество водопользователей и водопотребителей, что соответственно приводит к росту водозабора из рек и сокращению располагаемых водных ресурсов.

Существование в регионе различных подходов к эксплуатации водных запасов обуславливает противоречие интересов водопользователей, эксплуатирующих энергетический потенциал рек (Киргизия, Таджикистан) и водопользователей орошаемого земледелия. Зимние попуски, обусловленные режимом работы гидроэнергетических каскадов, сменяются дефицитом воды в период вегетации основных сельхозкультур.

На примере Республики Узбекистан можно констатировать, что в нынешней ситуации нормативное водопотребление сельхозкультур не удовлетворяется практически во всех областях Республики Узбекистан и особенно в Республике Каракалпакстан, в Самаркандской, Сырдарьинской, Бухарской и Наманганской областях. Вместе с тем, обусловленное дефицитом оросительной воды введение жестких лимитов при ее распределении не было в достаточной мере обеспечено соответствующим сокращением потерь воды при транспортировке от водоисточников до поля и непосредственно до растений.

Многими исследователями отмечаются значительные резервы в управлении требованиями сельхозкультур на воду и снижении непроизводительных потерь воды.

В связи с этим, низкая водообеспеченность земель во многом определяется потерями в оросительных системах и на поливе. Непосредственно до растений доходит 43% от суммарного водозабора в бассейне Сырдарьи, и 37% - в бассейне Амударьи.

Большие потери требуют не только увеличения водозабора, но и осуществления мероприятий по поддержанию мелиоративного благополучия земель и отведению за пределы орошаемых территорий возвратных вод.

По данным Узводпроекта (1993) доля водоотведения от водозабора составляет по Республике 39% - по бассейну Сырдарьи - 51% и по бассейну Амударьи - 31%.

В бассейне Сырдарьи, 32% общего объема водоотведения и в бассейне Амударьи около 33% - отводится за пределы орошаемой территории и практически теряется как ресурс.

Поскольку качество возвратной воды существенно ухудшается, проблема снижения дефицита воды должна решаться в основном за счет сокращения непродуктивных потерь оросительной воды.

Существующая система водоучета не позволяет четко расчленить долю дренажных и сбросных вод в водоотведении. Ориентировочные расчеты показывают, что основную долю в водоотведении составляет сброс оросительной воды в коллекторно-дренажную сеть. В бассейне Амударьи - это 65% от общего объема водоотведения, в бассейне Сырдарьи - 59%.

По рассматриваемым в «Первом национальном сообщении Республики Узбекистан по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Фаза 2» (2001) трех сценариях: **ускоренном** – рост численности населения Узбекистана к 2050 г. до 55 млн. человек; **среднем** - до 45 млн. человек; **замедленном** – до 37 млн. человек, требования на воду орошаемого земледелия варьируют в пределах 48,6-53,3 км³. При разработке этих сценариев предполагалось, что площадь орошаемых земель под хлопчатником останется на прежнем уровне, при вариациях площадей под другими сельскохозяйственными сельхозкультурами. Предполагалось также, что к 2030 году будет достигнут уровень передовых стран по урожайности большинства сельскохозяйственных сельхозкультур. Рост требований на воду должен быть компенсирован внедрением водосберегающих технологий. Вместе с тем вполне справедливо отмечается, что водосберегающие мероприятия не увеличивают природные ресурсы воды в целом в бассейне Аральского моря. Таким образом, первый этап решения проблемы дефицита водных ресурсов в регионе должен решаться за счет повышения уровня управления на всех уровнях водной иерархии с целью сокращения доли безвозвратных потерь при транспортировке воды до сельхозкультур.

При внедрении совершенных водосберегающих технологий стоимость каждого кубометра воды будет возрастать (об этом подробнее в анализе, представленном в разделе 5), поэтому на данном этапе необходимо ориентироваться на применение не требующих существенных инвестиций методов водосбережения. Вместе с тем в перспективе широкое внедрение совершенных технологий наряду с комплексной реконструкцией орошаемых земель неизбежно.

По оценкам ПО "Узводпроект" (1993) потенциально возможное сокращение всех видов потерь распределяется следующим образом по элементам оросительных систем:

- 25 % приходится на поле (техника полива);
- 30 % приходится на внутрихозяйственную оросительную сеть;
- 45 % приходится на межхозяйственные и магистральные каналы.

В «Первом национальном сообщении Республики Узбекистан...» (2001) отмечается, что результаты оптимизационных расчетов показывают возможность удовлетворить возрастающие потребности экономики на перспективу ограниченными водными ресурсами, но лишь при существующем на сегодня уровне влияния антропогенных факторов. Таким образом, более пессимистичные прогнозы будут при дальнейшем усилении влияния этих факторов.

Ни один из апробированных Госкомгидрометом климатических сценариев, отражающих «потепление климата» не предполагает увеличения стока рек Амударьи и Сырдарьи, напротив ожидается существенное сокращение стока в вегетационный период. Предпринятая специалистами Госкомгидромета оценка стока основных рек бассейна Аральского моря на перспективу показала, что по самым пессимистичным прогнозам в связи с общим потеплением климата и уменьшением запасов снега и льда в горах на 15-20% уменьшится сток реки Сырдарьи и на 20-30% сток реки Амударьи.

В связи с этим попытаемся оценить тенденции изменения метеорологических параметров, влияющих на эвапотранспирацию сельхозкультур, на примере одной из метеостанций Узбекистана.

2. Основные тенденции изменения метеорологических параметров, определяющих эвапотранспирацию на примере метеостанции «Фергана»

2.1. Стандартный метод определения эвапотранспирации

Стандартным, принятым в мировой практике, методом определения эвапотранспирации является уточненный FAO (1998) метод Пенмана-Монтейта, основывающийся на определении эвапотранспирации с гипотетической эталонной травяной поверхности для различных периодов года. Затем эвапотранспирация с гипотетической эталонной травяной поверхности сопоставляется с эвапотранспирацией для других сельхозкультур

Рекомендуемое FAO к применению уравнение Пенмана-Монтейта с учетом уравнений аэродинамики и сопротивления кроны записывается в следующем общем виде:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

где

ET_o - эталонная эвапотранспирация [мм сут⁻¹];

R_n - чистая радиация на поверхности растений [МДж м⁻² сут⁻¹];

G - плотность теплового потока почвы [МДж м⁻² сут⁻¹];

T - среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м [°C];

u_2 - скорость ветра на высоте 2 м [м с⁻¹];

e_s - давление пара насыщения [кПа];

e_a - фактическое давление [кПа];

$(e_s - e_a)$ - дефицит давления пара насыщения [кПа];

Δ - градиент кривой давления пара [кПа °C⁻¹];

γ - психрометрическая постоянная [кПа °C⁻¹].

В выпуске FAO «Эвапотранспирация растений» (№ 56) приводятся формулы и рассчитанные по ним таблицы, позволяющие определить параметры, входящие в уравнение (1) на основе нескольких, обычно измеряемых на метеостанциях, метеорологических факторов.

2.2. Метеорологические факторы, определяющие эвапотранспирацию

Метеорологические факторы, определяющие эвапотранспирацию - это те метеорологические параметры, которые обеспечивают энергию парообразования и удаляют водяные пары с испаряющей поверхности. Основные из них в терминах FAO (1998):

Солнечная радиация

Процесс эвапотранспирации определяется имеющейся для испарения воды количеством энергии. Основным источником энергии, способным превратить большие количества воды в пар, является солнечная радиация. Положение испаряющей поверхности в пространстве и время года определяют потенциальное количество радиации, способное достичь испаряющей поверхности.

Температура воздуха

Солнечная радиация, поглощенная атмосферой и тепло, излучаемое Землей, повышают температуру воздуха. Физическое тепло окружающего воздуха передает энергию растениям и контролирует скорость эвапотранспирации. При солнечной теплой погоде потери воды на эвапотранспирацию больше, чем в облачную и прохладную погоду.

Влажность воздуха

Поскольку энергия Солнца и окружающего воздуха является главной движущей силой испарения воды, разница между давлением водяного пара на испаряющей поверхности и в окружающем воздухе является определяющим фактором переноса пара. Хорошо увлажненные поля в сухих аридных регионах потребляют огромное количество воды благодаря избытку энергии и иссушающей силы атмосферы. Во влажных тропических регионах, несмотря на большое количество энергии, высокая влажность воздуха снижает потребность в эвапотранспирации. В такой среде воздух близок к насыщению парами, так что может быть накоплено меньшее количество дополнительной воды и, следовательно, эвапотранспирация ниже, чем в аридных регионах.

Скорость ветра

Процесс удаления пара в большой степени зависит от турбулентности ветра и воздуха, которая переносит большие массы воздуха над испаряющей поверхностью. Испаряя воду, воздух над испаряющей поверхностью постепенно насыщается водяными парами. Если этот воздух не замещается постоянно более сухим, движущая сила удаления водяного пара и эвапотранспирации ослабевает.

2.3. Основные тенденции изменения метеопараметров

Основные тенденции изменения метеопараметров рассмотрим на примере данных метеостанции «Фергана» Главгидромета Узбекистана за период 1970-2001 гг. Данные этой метеостанции характеризуют обширную территорию Ферганской Долины в Узбекистане и прилегающих к ней областей Киргизии и Таджикистана (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1 | Тенденции изменения метеопараметров от начала к концу периода 1970-2001 гг. (метеостанция «Фергана»)

Метеопараметры	Обозначения	Единицы измерения	Тенденции изменения параметров от начала к концу периода 1970-2001 гг.		
			В целом за 32 года	В том числе:	
				апрель-сентябрь	октябрь-март
Температура воздуха	T _{av}	°C	+ 0,9	+ 0,4	+ 1,4
Атмосферные осадки	P	мм	+ 36	+ 21	+ 15
Относительная влажность воздуха	RH	%	+ 0,58	+ 1,44	- 0,27
Длительность солнечного сияния	n	час/сутки	- 0,23	- 0,56	+ 0,11
Скорость ветра	u ₂	м/с	- 0,46	- 0,71	- 0,25
Испарение с водной поверхности (ГГИ-3000)		мм		- 115	
Эталонная эвапотранспирация	ET _o	мм	- 114	- 114	0
Дефицит увлажнения	(ET _o -P)	мм	- 150	- 134	-16

Оценка приведенных параметров с позиций влияния их на эвапотранспирацию эталонной сельхозкультуры и зависящего от нее водопотребления других сельхозкультур показывает, что в целом за период 1970-2001 прослеживается тенденция снижения дефицита увлажнения (т.е. разности между эвапотранспирацией эталонной сельхозкультуры и атмосферными осадками). Отдельные пики дефицитов в конце рассматриваемого периода не превышают аналогичные пики в начале периода и вероятно в большей степени зависят от циклов солнечной активности. Безусловно, оценка только лишь по одной метеостанции не может дать исчерпывающую картину для всего региона, но вместе с тем, она показывает, что большую угрозу для устойчивости сельхозпроизводства представляет отмеченная тенденция уменьшения площади ледников и обусловленное эти снижение водности рек региона.

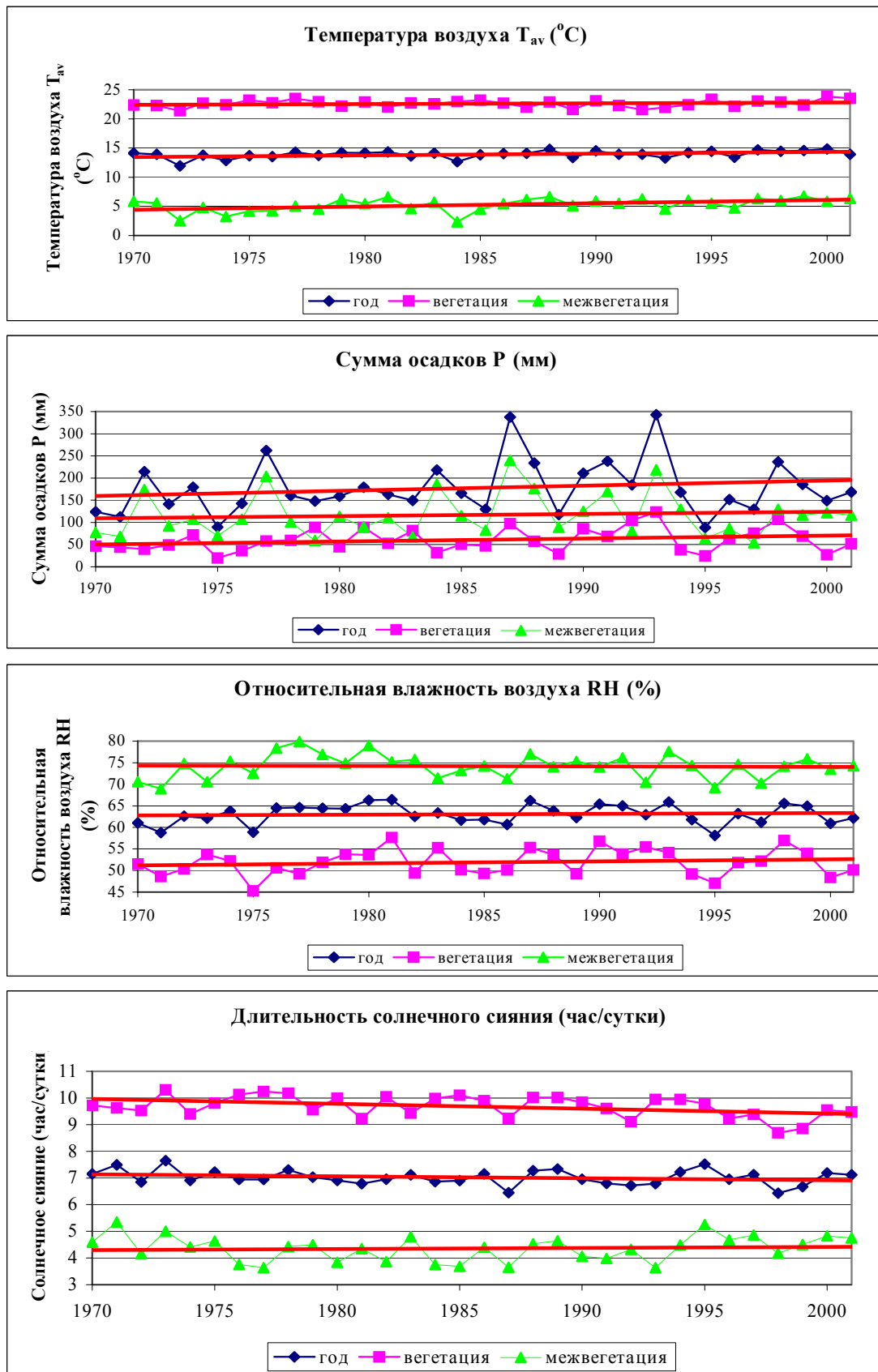


Рис. 1 | Тенденции изменение основных метеопараметров (м/с «Фергана» 1970-2001 гг.)

3. Водообеспеченность и урожай

Величина оросительной нормы обычно (при нормальной обеспеченности другими факторами сельхозпроизводства) рассчитывается на получение высоких урожаев. На основе обработки опытных данных по орошению хлопчатника в различных физико-географических условиях Центральной Азии В.Р.Шредером (1977) была получена зависимость урожая хлопчатника от оросительной нормы $Y_{\text{факт}}/Y_{\text{max}}=f(M_{\text{факт}}/M_{\text{max}})$, аналогичные зависимости получены Г.Х.Хасанхановой (1999) для кукурузы (на зерно) и люцерны. На этой основе нами построены зависимости потерь урожая от водообеспеченности (рис. 2). По этим кривым можно прогнозировать вероятное снижение урожайности в зависимости от водообеспеченности (при нормальной обеспеченности другими факторами сельхозпроизводства).

Однако, поскольку в этих зависимостях используются относительные величины, необходимо оценивать суммарное испарение сельхозкультуры при конкретном литологическом строении почвогрунтов и в зависимости от значений метеозаэлемента в выбранный для расчетов период (месяц, декада, сутки). Для оценки суммарного испарения хлопковым полем – ET_{cotton} в условиях III гидромодульного района (легкие и средние суглинки (пылеватые) при глубоком залегании грунтовых вод) В.Р.Шредером (1977) на основании материалов многолетнего изучения суммарного испарения с хлопковых полей была установлена довольно тесная связь ($R^2=0.91$) суммарного испарения (эвапотранспирации) с испаряемостью (рис. 3):

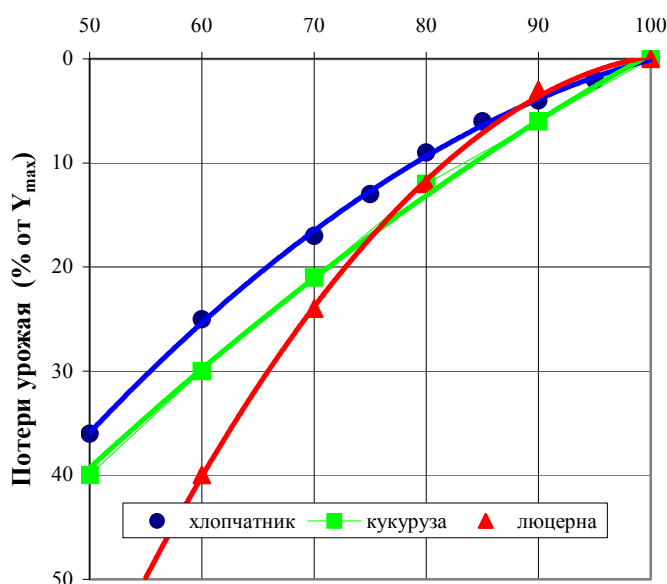


Рис. 2 | Зависимости потерь урожая от водообеспеченности

$$ET_{\text{cot ton}} = \frac{E_0^{1.58}}{31.62} \quad (2)$$

где

ET_{cotton} - суммарное испарение, мм/месяц;

E_0 - испаряемость (примерно равная суммарному испарению эталонной сельхозкультуры ET_0), мм/месяц.

Для возможности использования среднесуточных значений ET_0 эта связь преобразована нами в полином второй степени в виде:

$$ET_{\text{cot ton}} = 0.107 * E_0^2 + 0.0208 * E_0 \quad (3)$$

где

ET_{cotton} - суммарное испарение, мм/сутки;

E_0 - испаряемость (примерно равная суммарному испарению эталонной сельхозкультуры), мм/сутки.

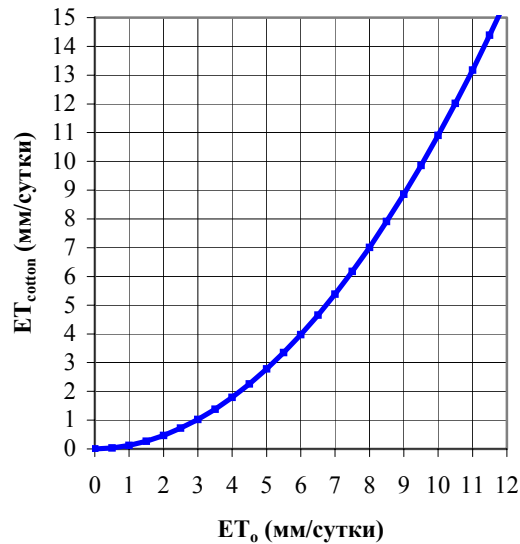


Рис. 3 | Связь эвапотранспирации хлопчатника с эвапотранспирацией эталонной сельхозкультуры (испаряемостью) – III гидромодульный район

Коэффициент сельхозкультуры, в данном случае хлопчатника – K'_{cotton} , является отношением за равные промежутки времени эвапотранспирации рассматриваемой сельхозкультуры к эвапотранспирации эталонной сельхозкультуры

$$K'_{\text{cot ton}} = \frac{ET_{\text{cot ton}}}{E_0} \quad (4)$$

Для возможности сравнения водопотребления сельхозкультур, возделываемых на почвах с различными водно-физическими свойствами В.Р.Шредером (1977) предложено использовать коэффициент увеличения значений, рассчитанных для III гидромодульного района (табл. 2).

Таблица 2 | Коэффициент увеличения значений, рассчитанных для III гидромодульного района

№	Литологическое строение почвогрунтов	Коэффициент увеличения значений, рассчитанных для III гидромодульного района
I	Мощные (>1 м) песчаные; маломощные (0.2–0.5 м) суглинистые на песчано-галечниковых отложениях и супесчаные на гипсах	1.14
II	Мощные супесчаные; среднемощные (0.5-1.0 м) суглинистые на песчано-галечниковых отложениях и гипсах	1.10
III	Легко- и среднесуглинистые (пылеватые); суглинистые, облегчающиеся к низу	1.00
IV	Среднесуглинистые (плотные) и тяжелосуглинистые; суглинистые, утяжеляющиеся к низу	0.86
V	Глинистые; резкослоистые с наличием глин	0.75

Ориентировочная зависимость $K'_{\text{cotton}}=f(E_0)$ для почв различного литологического состава представлена на рис. 4.

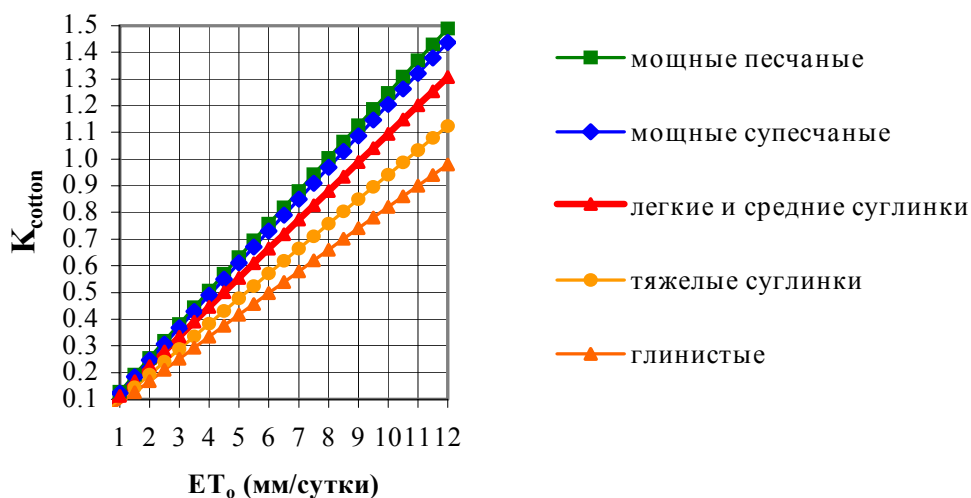


Рис. 4 | Зависимость $K'_{\text{cotton}}=f(ET_0)$ для почв различного литологического состава

С использованием полученной зависимости $K'_{\text{cotton}}=f(E_0)$ и данных фактических замеров испаряемости (м/с «Фергана») можно ориентировочно оценить для III гидромодульного района водопотребление хлопчатника в различные годы периода 1952-2002 необходимое для получения урожая высокого уровня (рис.5).

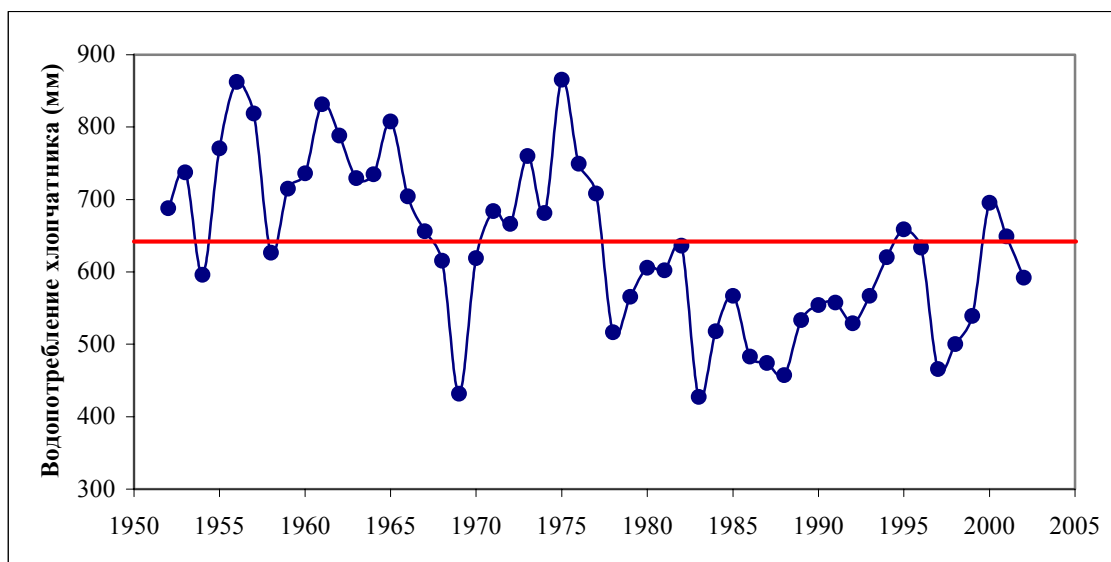


Рис. 5 | Водопотребление хлопчатника в III гидромодульном районе относительно среднего за период 1952-2002 гг.

Так как обычная практика планирования водопользования ориентируется обычно на среднеголетние оросительные нормы, безусловно, при прогнозируемом УзГлавгидрометом снижении водности рек и при превышении требованиями сельхозкультур на орошение значений среднеголетних оросительных норм, влияние водности рек на снижение урожая сельхозкультур будет усиливаться. Особенно это влияние будет про-

являться на засоленных или склонных к засолению орошаемых землях. Несколько смягчить это влияние возможно проведением зимних и ранне-весенних промывных поливов, совмещаемых с влагозарядкой. В пользу этого говорит также эксплуатация основных водотоков в зимний период в энергетическом режиме, т.е. большая водообеспеченность в этот период, чем в период вегетации.

4. Засухоустойчивые сорта хлопчатника

Важную роль в смягчении последствий водного кризиса играет работа по созданию новых засухо и солеустойчивых сортов сельхозкультур и внедрению их в сельхозпроизводство. Многолетние, целенаправленные исследования генетиков из Института генетики Академии Наук Узбекистана увенчались созданием новых сортов хлопчатника (1996).

Навбахор – выведен учеными Института генетики Академии Наук Узбекистана (Н.Г.Губановой, О.Д.Джураевым и Д.А.Мусаевым) методом внутривидовой гибридизации с последующим отбором высокопродуктивных форм с высоким выходом волокна.

Относится к группе среднеспелых сортов. Период от всходов до созревания 125-127 дней. Устойчив к заболеванию вилтом. Заболеваемость на естественном сильно инфицированном фоне на 30-40% ниже, чем у стандартных сортов. Урожайность составляет в среднем 4,5-5,0 т/га. Масса коробочки – 5,6-5,8 г. Сорт отличается большим набором и высокими темпами раскрытия коробочек. Выход волокна – 40-42 %. Высокая сохранность плодозлементов – биологическая особенность данного сорта. Оптимальная густота стояния 75-85 тыс.растений/га на плодородных землях и 110 тыс.растений/га на песчаных и низкоплодородных землях. Сорт отзывчив к органическим и минеральным удобрениям. Рекомендуемое соотношение азота, фосфора, калия – 1:0.8:0.5. Внесение минеральных удобрений рекомендуется заканчивать не позднее 15 июля, т.к. позднее они вызывают жирование растений. Навбахор – засухоустойчив. На плодородных почвах рекомендуется схема полива 1-2-0 или 1-2-1. К чеканке приступают при образовании 14-15 симподиальных ветвей.

Гульбахор - выведен учеными Института генетики Академии Наук Узбекистана (Н.Г.Губановой, О.Д.Джураевым, Д.А.Мусаевым и У.И.Исамхановым) методом внутривидовой гибридизации и многократного индивидуального отбора на сильнозараженном вилтовом фоне. Относится к группе среднеспелых сортов. Длительность вегетационного периода 122-125 дней. Отличается быстрыми темпами развития растений, что дает возможность собрать до 90-95% урожая хлопка-сырца первым сортом. Поражаемость вилтом на 60-65% ниже стандартных сортов. Засухоустойчив и солеустойчив. Имеет мощную корневую систему и эффективно использует почвенную влагу, требуя меньше (в среднем на 30-35%) поливной воды в сравнении со стандартными сортами. Урожайность составляет в среднем 4,2-4,5 т/га, что выше на 0,4-1,1 т/га в сравнении со стандартными сортами. Масса коробочки – 6,3-6,5 г. Выход волокна – 35-36%.

Норма высева семян опушенных – 50-60 кг/га и оголенных – 25-30 кг/га. Оптимальная густота стояния 70-80 тыс.растений/га. Рекомендуемое соотношение азота, фосфора, калия – 1:0,7:0,5.

В 1998 году САНИИРИ испытывал эти сорта в условиях средnezасоленных земель Сырдарьинской области Узбекистана в вариантах с пленочным покрытием гребней борозд и без него, в сопоставлении со стандартным для Сырдарьинской области сортом – «Ан-Баяут» (площадь под каждым вариантом опыта – 1,2 га) (табл. 3).

Таблица 3 | Основные результаты испытаний сорта хлопчатника – «Гульбахор»

Сорт хлопчатника	Варианты с пленочным покрытием гребней		Вариант без пленочного покрытия гребней		Затраты оросительной воды
	Урожай	Прирост	Урожай	Прирост	
	т/га	т/га	т/га	т/га	
Ан-Баяут	3.40		3.30		8060
Гульбахор	5.07	1.67	4.16	0.76	

При одинаковых валовых затратах оросительной воды (влагозарядка+три вегетационных полива) прирост урожайности сорта «Гульбахор» в сравнении со стандартным сортом «Ан-Баяут» составил 23 - 49 % при возделывании без и с пленочным покрытием

гребней борозд соответственно. Таким образом, сорт «Гульбахор» продемонстрировал высокую продуктивность использования оросительной воды в сравнении со стандартным сортом.

За свою сравнительно недавнюю историю сорта, разработанные генетиками Узбекистана прошли производственную проверку в различных природно-климатических зонах и получили хорошую оценку у производителей. В текущем году общая площадь посевов этими сортами составила в республике 70 тыс.га. К сожалению, по разным причинам, основная из которых – ведомственная разобщенность, широкое внедрение их сдерживается.

5. Возможности поэтапного перехода на водосберегающую технику полива

5.1. Основные тенденции в области техники полива

Основное распространение в орошаемом земледелии региона получил поверхностный способ орошения: по бороздам (70 % от орошаемой площади); полосам (26%); чекам (4%).

Объясняется это как "универсальностью" этого способа при его адаптации к разнообразным природно-хозяйственным условиям региона и относительной простотой его организации, так и распространенностью оросительных систем с незначительным командованием уровней воды в оросителях над орошаемой территорией.

В условиях лимитированного водопользования, которое призвано дисциплинировать водопользователей и повысить эффективность использования воды, наблюдается картина крайне неравномерного распределения оросительной воды по площади и особенно в зонах нового освоения. При этом общий водозабор в локальную оросительную систему может быть ниже потребности обусловленной структурой посевов и водопотреблением сельхозкультур, но в тоже время отдельные поля вообще не поливаются или поливаются коллекторно-дренажной водой (особенно концевые участки оросительных систем), а на других полив ведется грузными поливными нормами при сокращенном числе поливов против требующегося при оптимальном режиме орошения.

Фактические режимы и технологии полива в большинстве случаев не соответствуют проектным. Этим обусловлена низкая продуктивность использования оросительной воды на уровне орошаемых полей. Поливные нормы завышаются в 2 - 3 раза против проектных, составляя нередко 2000-2500 м³/га, соответственно сокращается до 2-3-х число вегетационных поливов.

Одна из причин - стремление сократить общие затраты низкооплачиваемого ручного труда, дефицит механизмов и горюче-смазочных материалов для послеполивных обработок поливных участков.

Фактический уровень полива по бороздам характеризуется малой степенью механизации и низкой производительностью труда.

Вместе с тем этот способ наиболее приспособлен к природно-климатическим условиям региона, имеет потенциальные резервы для совершенствования на основе оптимизации элементов техники полива и модернизации поливных устройств.

5.2. Основные проблемы, связанные с внедрением водосберегающих способов орошения и пути их преодоления

В настоящий момент несоответствие закупочных цен на сельскохозяйственную продукцию ценам на энергоносители и оборудование, фактически приближенным к ценам мирового рынка, не способствует заинтересованности хозяйств вкладывать средства в модернизацию техники полива.

Решающим фактором применения совершенной техники полива должна быть заинтересованность и инициатива самих хозяйств. Попытки государств, отраслевых министерств волевыми решениями стимулировать применение совершенной техники полива, как показывает весь прошлый опыт, оказывались тщетными.

Достижение потенциально возможной урожайности, при одновременном снижении водопотребления, обусловлено достаточно общеизвестными мероприятиями, а именно: применение капельного орошения, дождевания и лазерной планировки поливных уча-

стков. Эти технологии позволяют снизить водопотребление на 10-40% по сравнению с используемым бороздковым поливом. Однако, перечисленные способы повышения эффективности использования водных ресурсов требуют значительных капиталовложений, для окупаемости которых необходимо, по экспертным оценкам, повышение урожайности не менее, чем на 20-30%. Безусловно, в условиях снижения водности рек и соответственно водообеспеченности, основной, действенной мерой повышения эффективности использования оросительной воды на поливе сельхозкультур является применение более совершенных методов и средств орошения. Создание в перспективе в широких масштабах таких оросительных систем для районированных по этим способам поливов зон неизбежно.

Из наиболее эффективных водосберегающих способов орошения широко известны такие, как внутривпочвенное, капельное, дождевание. Однако, в каждом конкретном случае вопрос целесообразности внедрения капиталоемких способов и средств совершенствования полива должен решаться на основе тщательных технико-экономических расчетов. В этой связи рассмотрим выполненные нами оценки требуемых инвестиций на водосберегающие технологии в сопоставлении с возможной прибылью при внедрении водосбережения, исходя из современной конъюнктуры цен. В качестве базового варианта, относительно которого ведется это сопоставление примем традиционный бороздковый полив хлопчатника в автоморфных условиях III гидромодульного района на примере Узбекистана. В качестве характеристик совершенных способов и средств полива воспользуемся технико-экономическими показателями по данным Узводпроекта и САНИИРИ (первые четыре столбца таблицы 4).

Водопотребление хлопчатника при уровне урожая 3,5 т/га составляет порядка 6,75 тыс.м³/га. Затраты воды – «брутто-поле» на этот уровень урожая при среднем в Узбекистане КПД_{поля} =60% составят 10,8 тыс.м³/га. Применяя те или иные средства совершенствования можно достичь экономии от 2500 тыс.м³/га (оптимизированный полив по бороздам с использованием гибких и жестких поливных трубопроводов – КПД_{поля} – 78%) до 4200 тыс.м³/га (внутривпочвенное орошение - КПД_{поля} – 98 %).

Требуемые инвестиции на м³ сэкономленной воды составят при этом (рис. 6):

- от 0,65 \$/м³ (однобортные земляные оросители) до 2,20 \$/м³ (стационарное дождевание)

при ежегодных эксплуатационных затратах:

- от 0,01 \$/м³ (однобортные земляные оросители) до 0,10 \$/м³ (стационарное дождевание)

и ежегодных суммарных издержках по водосберегающим системам орошения:

- от 0,06 \$/м³ (дискретное регулирование водоподдачи в борозды с использованием гибких и жестких поливных трубопроводов) до 0,24 \$/м³ (стационарное дождевание).

По данным оценок WUFMAS-98, проведенным для 68 полей хлопчатника в 1998 году в Узбекистане на выращивание урожая уровня 3,5 т/га хозяйства затрачивали 360 \$/га при средней стоимости реализованного хлопка-сырца – 760 \$/га, т.е. чистая прибыль хозяйств составляла – 400 \$/га.

Таблица 4 | Техничко-экономические показатели способов и средств полива в условиях их оптимального применения (по данным УзВодпроекта и САНИИРИ)

Способы и технические средства полива	Капиталовложения в оросительную сеть и технику полива			КПД водосберегающей техники полива	Затраты воды "брутто-поле" на урожай 3.5 т/га		Возможная экономия воды	Требуемые инвестиции на м ³ /съёмной воды			Ориентировочный срок реновации инвестиций		Ежегодные эксплуатационные затраты по водосберегающей системе орошения	Из оценок WUFMAS-98 для 68 полей хлопчатника на уровне урожая 3.5 т/га			Расчетные показатели "затраты-прибыль"			
	Всего	в т.ч. стоимость поливного оборудования	Эксплуатационные затраты		при водосберегающей технике полива	современный уровень (средний КПД поля=0.6)		ВСЕГО	в том числе:		Капиталовложений в оросительную сеть	Поливного оборудования		Ежегодные эксплуатационные затраты по водосберегающей системе орошения	затраты хозяйства на выращивание урожая	цена реализованного урожая	прибыль хозяйства	затраты хозяйства на выращивание урожая+ водосбережение	прибыль хозяйства при внедрении водосбережения	
									строительно-монтажные работы	поливное оборудование										лет
Полив по бороздам, с использованием гибких и жестких трубопроводов, работающих от потковой сети	2 390	90	50	0.78	8 300	10 800	2 500	0.96	0.92	0.04	20	3	0.02	0.08	195	360	760	400	555	205
То же, с использованием гибких и жестких трубопроводов, работающих от закрытой сети	2 050	115	50	0.78	8 300	10 800	2 500	0.82	0.77	0.05	20	3	0.02	0.07	185	360	760	400	545	215
То же, с использованием стационарных закрытых систем	3 680	60	25	0.78	8 300	10 800	2 500	1.47	1.45	0.02	20	5	0.01	0.09	218	360	760	400	578	182
То же, с использованием однобортных земляных оросителей	1 960	85	20	0.82	7 900	10 800	2 900	0.67	0.65	0.03	8	8	0.01	0.09	265	360	760	400	625	135
То же, с дискретным (импульсным) регулированием водоподдачи в борозды и с использованием гибких и жестких трубопроводов, работающих от потковой сети	2 530	140	55	0.85	7 600	10 800	3 200	0.79	0.75	0.04	20	5	0.02	0.06	203	360	760	400	563	198
То же, с дискретным (импульсным) регулированием водоподдачи в борозды и с использованием гибких и жестких трубопроводов, работающих от закрытой сети	2 215	165	55	0.85	7 600	10 800	3 200	0.70	0.64	0.05	20	5	0.02	0.06	191	360	760	400	551	210
Дождевание передвижными машинами	3 400	1 200	100	0.8	8 100	10 800	2 700	1.26	0.81	0.44	20	8	0.04	0.13	360	360	760	400	720	40
Дождевание стационарными системами	7 025	960	330	0.85	7 600	10 800	3 200	2.20	1.90	0.30	20	8	0.10	0.24	753	360	760	400	1 113	-353
Капельное орошение пропашных сельскохозяйственных культур	8 170	4 810	150	0.95	6 800	10 800	4 000	2.05	0.84	1.21	10	10	0.04	0.24	967	360	760	400	1 327	-567
Внутрипочвенное орошение	6 690	3 940	100	0.98	6 600	10 800	4 200	1.59	0.65	0.94	20	10	0.02	0.15	632	360	760	400	992	-232

Примечание: При расчетах капитальных затрат произведен пересчет цен 1984 года, исходя из приблизительного соотношения на тот период 1\$ США=1 руб.

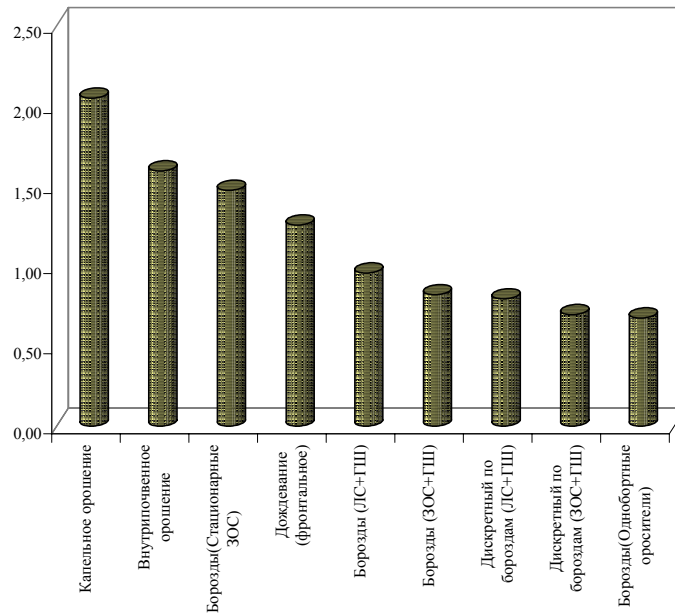


Рис. 6 | Требуемые инвестиции на м³ сэкономленной воды

Таким образом, при внедрении капиталоемких водосберегающих способов с учетом издержек, связанных с этим внедрением, реальная прибыль хозяйств при существующей конъюнктуре цен на хлопок-сырец и факторы сельхозпроизводства сократится. Внедрение систем стационарного дождевания, капельного и внутрипочвенного орошения в настоящее время сопряжено с убытками для хозяйств, т.е. невозможно без государственной поддержки (рис. 7).

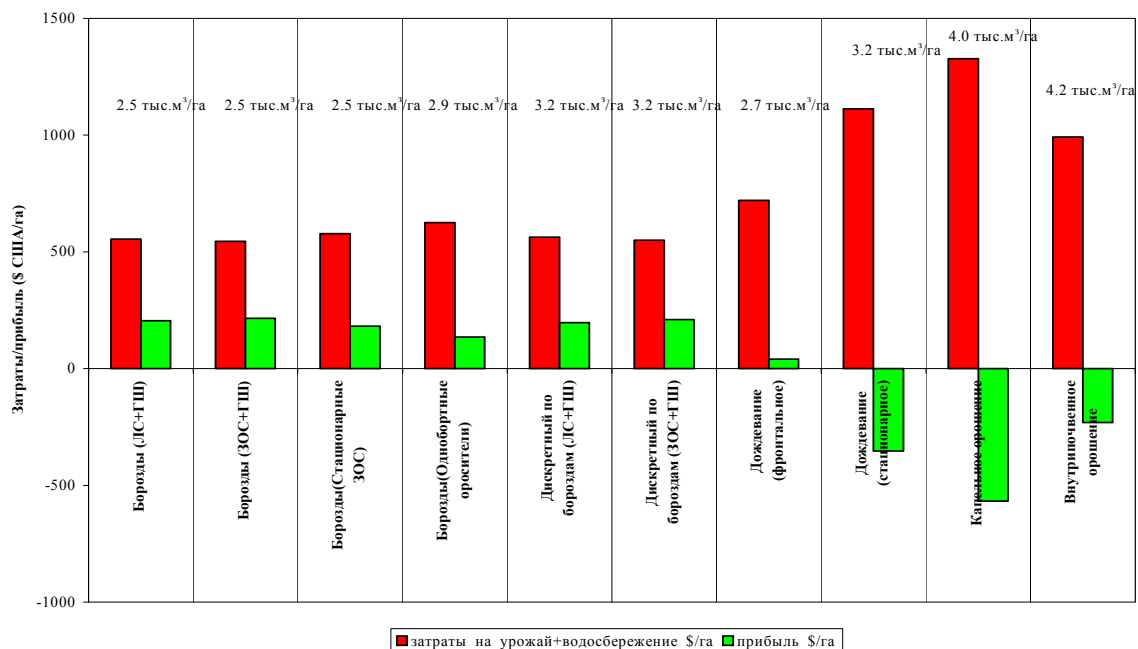


Рис. 7 | Затраты и прибыль хозяйств при внедрении водосбережения (на примере хлопчатника с урожайностью 3,5 т/га в III гидромодульном районе)

В ближайшее же время речь может идти лишь о возможном совершенствовании существующих способов поверхностного полива по бороздам, полосам и чекам путем оптимизации технологий и организации полива, возрождении некоторых из применявшихся ранее в регионе рациональных приемов техники полива.

В нынешней социально-экономической ситуации возможны следующие организационные формы внедрения современной водосберегающей поливной техники:

- создание опытно-производственных участков в базовых хозяйствах и отработка на этих участках технологических карт на возделывание сельхозкультур в комплексе с технологией орошения и в увязке с вопросами экономической эффективности;
- демонстрация на этих участках приемов эффективного использования поливной техники и обучение инструкторов и специалистов;
- формирование пакетов заказов на "привязку" типовых поливных модулей для конкретных природно-хозяйственных условий.

На основе отработки рекомендаций на пионерных поливных участках необходима разработка системы внедрения: на первом этапе - в рамках отдельных хозяйств, на последующем - в рамках локальных оросительных систем. Такой подход позволит ощутить реальный эффект от возможной экономии оросительной воды и повышения продуктивности орошения. Кроме того, позволит обеспечить квалифицированную эксплуатацию поливной техники и создать необходимую базу по ее ремонту и восстановлению.

Наряду с этим, следует развивать направление, стимулирующее применение современных видов поливной техники в частных и арендных хозяйствах. Здесь необходима разработка системы целевого льготного кредитования фермеров для приобретения ими совершенной поливной техники. Особенно это актуально для дорогостоящих систем дождевания и капельного орошения.

Возможный объем использования совершенных способов полива ограничивается в настоящее время дефицитом материальных ресурсов.

В этих условиях важным становится выбор приоритетов. Первоочередными объектами применения совершенных способов и технологий орошения должны явиться:

- оросительные системы с хронически низкой водообеспеченностью;
- массивы, водоподача на которые связана с дорогостоящим машинным водоподъемом;
- орошаемые территории, представленные сильноводопроницаемыми почвогрунтами и сложным рельефом поверхности.
- орошаемые территории зон формирования стока, т.к. расточительное водопользование на этих землях пагубно влияет на качество оросительной воды в срединных и концевых частях бассейнов и на мелиоративное состояние расположенных в этих зонах орошаемых земель.

6. Планирование целесообразных затрат воды на фактический в конкретных условиях хозяйствования уровень урожая

6.1. Целесообразные затраты воды на фактический уровень урожая

Одним из основных тезисов экономики сельхозпроизводства в советский период являлся тезис о максимуме производства сельхозпродукции на единицу орошаемой пашни. «План любой ценой» обусловил во многом экстенсивный путь развития орошаемого земледелия. Зачастую «плановые» показатели достигались за счет увеличения неучтенных орошаемых земель, а не за счет улучшенной агротехники. Убытки от сельхоздеятельности ежегодно погашались государством.

В условиях рыночной экономики вся ответственность за безубыточное сельхозпроизводство лежит на самом производителе-фермере. Цель фермера - получение максимальной прибыли от сельхозпроизводства. Таким образом, ему необходимо решать задачу о целесообразном максимуме производства при складывающейся конъюнктуре рынка и на сельхозпродукцию и на факторы сельхозпроизводства. Схема влияния на чистую прибыль сельхозпроизводителя внешних и внутренних факторов на различных уровнях хозяйствования представлена на рис. 8.



Рис. 8 | Схема влияния различных уровней хозяйствования на прибыль сельхозпроизводителя

Сельскохозяйственная деятельность осуществляется на фоне определенных для данного конкретного хозяйства природно-климатических факторов: естественного плодородия почв, потенциального уровня урожайности районированных в данной зоне сортов сельхозкультур, почвенно-мелиоративных условий, обеспеченности термическими ресурсами.

Эти факторы, находятся вне возможностей влияния сельхозпроизводителя.

Получение полноценного урожая требует от фермера затрат на факторы производства: семена, удобрения, оросительную воду (при платном водопользовании), средства борьбы с сорняками и сельхозвредителями, машины и механизмы, ручной труд. Итогом деятельности является стоимость реализованной сельхозпродукции, а результатом оценки успешности этой деятельности является полученная прибыль.

Размер прибыли зависит в первую очередь от успешности деятельности фермера, но находится также под влиянием внешних (относительно уровня «хозяйство») факторов. Это - социально-экономическая политика в области сельского хозяйства, проводимая на государственном уровне, конъюнктура цен на внутреннем и внешнем рынках.

Нами предлагается подход к оценке целесообразного в конкретных условиях уровня продуктивности и затрат оросительной воды.

Предлагаемый вариант сценария решения этой задачи предусматривает три уровня:

- На первом - определяется урожайность соответствующая максимальному для конкретных условий сельхозпроизводства доходу.

- На втором - определяется продуктивность использования оросительной воды, соответствующая максимальному доходу.

- На третьем - определяются целесообразные затраты оросительной воды.

В качестве исходных данных воспользуемся результатами измерений, выполненных в 1998 сельскохозяйственном году в рамках подпроекта WUFMAS при сельхозпроизводстве основной для региона сельхозкультуры - средневолокнистого хлопчатника на примере хозяйств #17-18 Туркменистана (табл. 5).

Таблица 5 | Основные показатели производства хлопка-сырца по данным WUFMAS-98 (Туркменистан, Марыйская область, Байрамалыкский район, хозяйства № 17 и 18)

Код поля	Урожайность	Затраты воды	Затраты на факторы сельхозпроизводства	Стоимость реализованного хлопка-сырца	Чистая прибыль хозяйства
	тонн/га	тыс.м ³ /га	\$/га	\$/га	\$/га
17-4	2.63	7.50	136.5	544.7	408.2
17-5	3.49	6.33	143.8	722.3	578.4
17-6	3.74	6.68	182.1	773.3	591.2
17-8	2.67	5.58	118.0	552.7	434.7
18-4	1.83	6.67	227.3	378.9	151.6
18-5	1.60	4.82	146.0	330.7	184.7
18-8	1.66	6.16	167.9	343.2	175.3
18-9	1.80	5.73	186.3	373.5	187.2
18-10	2.48	4.57	202.8	514.4	311.5

6.2. Целесообразный уровень урожайности хлопчатника, соответствующий максимальному для условий 1998 сельскохозяйственного года доходу

За основной оценочный показатель примем отношение полученной сельхозпроизводителем прибыли от сельхозпроизводства (стоимость реализованной сельхозпродукции за вычетом произведенных затрат на факторы сельхозпроизводства) к затратам на факторы сельхозпроизводства. Зависимость этого показателя от полученного урожая хлопка сырца с удовлетворительной степенью достоверности аппроксимируется полиномом второй степени (рис. 9).

$$P/S = a*Y^2 + b*Y - 1 \quad (5)$$

где

P - прибыль от сельхозпроизводства, \$/га

S - затраты на факторы сельхозпроизводства, \$/га

Y - урожайность хлопка-сырца, тонн/га
 a, b - коэффициенты полинома второй степени

Граничным условием максимальной урожайности выбрана потенциальная урожайность на уровне 5 тонн/га для районированных в регионе сортов средневолокнистого хлопчатника.

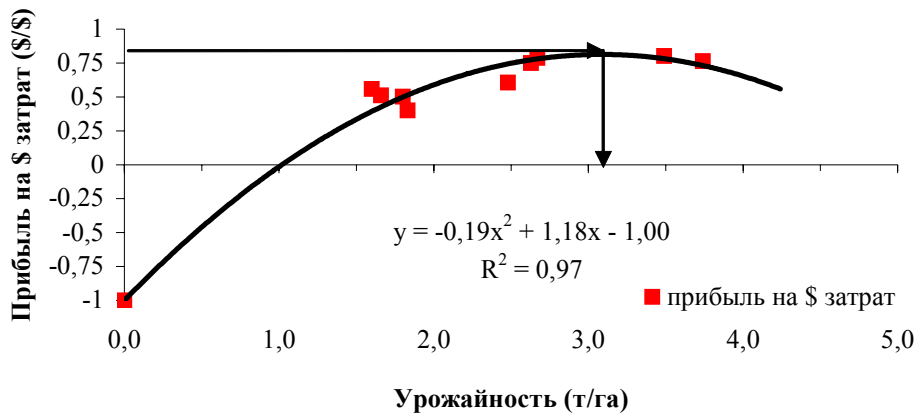


Рис. 9 | Зависимость прибыли на \$ затрат от урожайности средневолокнистого хлопчатника (Туркменистан, хозяйства №17-18, WUFMAS-98).

Максимальная относительная прибыль – 0,81\$ на 1\$ обусловленных сельхозпроизводством затрат соответствует целесообразному для условий выбранных для примера хозяйств №17 и 18 Туркменистана при конъюнктуре сложившихся цен на хлопок-сырец и факторы сельхозпроизводства урожаю – 3,1 тонн/га.

6.3. Продуктивность использования оросительной воды, соответствующая максимальной прибыли

На втором этапе определяется продуктивность использования оросительной воды (отношение стоимости реализованной сельхозпродукции за вычетом затрат на факторы сельхозпроизводства к фактической оросительной норме «брутто-поле», затраченной на выращивание хлопчатника), соответствующая максимальной относительной прибыли.

Зависимость продуктивности использования оросительной воды от полученного урожая хлопка-сырца также с удовлетворительной достоверностью аппроксимируется полиномом второй степени (рис. 10).

$$P/M_{бр} = c*Y^2 + d*Y - k \quad (6)$$

где

P - прибыль от сельхозпроизводства, \$/га
 M_{бр} - фактическая оросительная норма – «брутто-поле», м³/га
 Y - урожайность хлопка-сырца, тонн/га
 c, d, k - коэффициенты полинома второй степени

Зависимость этого вида справедлива в диапазоне значений урожайности не превышающих потенциальную урожайность.

Здесь также необходимо обратить на некоторое противоречие целей «максимальная прибыль от сельхозпроизводства» и «максимальная продуктивность использования

оросительной воды». Проиллюстрируем это на основе данных хозяйств 17-18, представленных диаграммой на рис. 10.

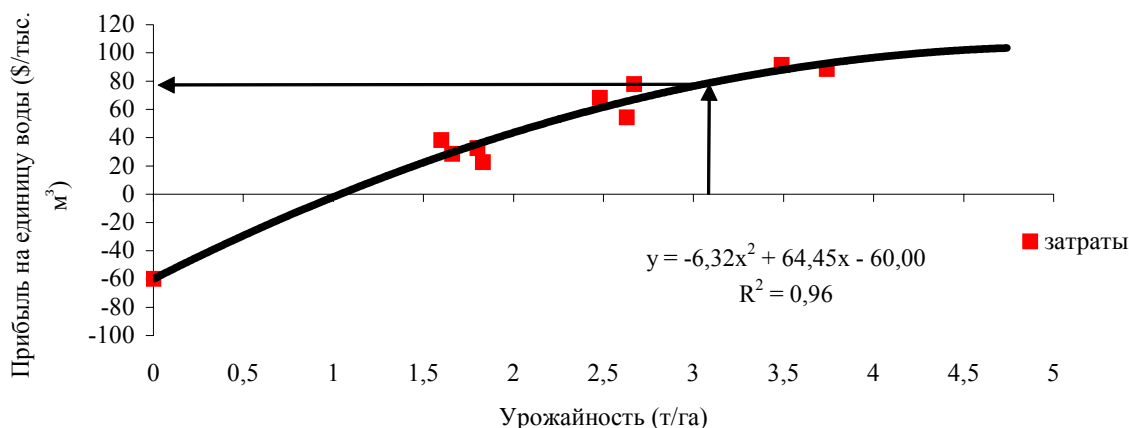


Рис. 10 | Зависимость продуктивности использования оросительной воды от урожайности хлопка-сырца (Туркменистан, хозяйства №17-18, WUFMAS-98)

Продуктивность использования оросительной воды при потенциальном уровне урожая 5 т/га составляет – 100 \$/тыс.м³. Однако, повышенные затраты на факторы сельхозпроизводства для обеспечения урожая потенциального уровня при сложившейся конъюнктуре цен на хлопок-сырец были бы в меньшей степени компенсированы прибылью. Таким образом, целесообразному для условий этих хозяйств по конъюнктуре сложившихся в 1998 году цен на хлопок-сырец и факторы сельхозпроизводства урожаю – 3,1 тонн/га соответствует продуктивность использования оросительной воды – 79,1 \$/м³.

6.4. Затраты оросительной воды – «брутто-поле» соответствующие максимальной прибыли от сельхозпроизводства

На третьем этапе определяются соответствующие максимальной относительной прибыли затраты оросительной воды – «брутто-поле» (м³/га) на единицу (тонну) произведенной сельхозпродукции.

Эта зависимость с удовлетворительной достоверностью аппроксимируется полиномом второй степени (рис. 11).

$$SW/Y = -e*(P/ SW)^2 + d*(P/ SW) + g \quad (7)$$

где

- SW – фактическая оросительная норма – «брутто-поле», тыс.м³/га
- Y – урожайность хлопка-сырца, тонн/га
- P – прибыль от сельхозпроизводства, \$/га
- e, d, g – коэффициенты полинома второй степени.

Зависимость этого вида корректна в диапазоне значений продуктивности единицы оросительной воды не превышающих максимума «теоретических» значений продуктивности, определенных на предыдущем уровне. В нашем примере – 100 \$/тыс.м³ (рис. 10).

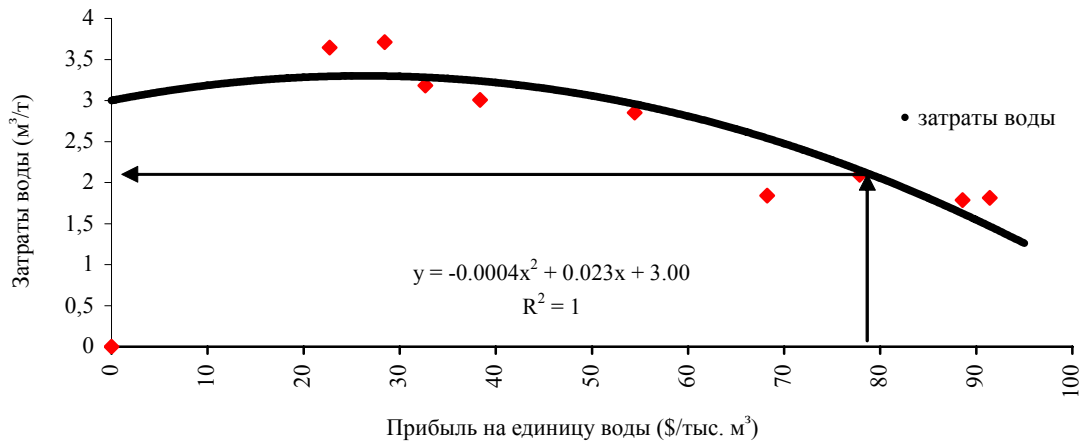


Рис. 11 | Пример зависимости затрат оросительной воды от заданного уровня продуктивности ее использования

Таким образом, целесообразному, обеспечивающему наибольшую прибыль урожаю – 3.1 т/га урожаю хлопка-сырца соответствуют целесообразные затраты оросительной воды – 2.05 тыс.м³ на производство тонны хлопка-сырца или 6.4 тыс.м³/га.

Приведенный пример, иллюстрирует тот факт, что планирование затрат оросительной воды и особенно в условиях ее дефицита необходимо вести на экономически целесообразный (при складывающейся конъюнктуре рынка на сельхозпродукцию и факторы сельхозпроизводства) максимум урожайности.

7. Результаты практической демонстрации рекомендаций WUFMAS по повышению продуктивности орошения

В вегетационный период 1999 года в рамках подпроекта WUFMAS на демонстрационных полях региона (таблица 6) началась практическая реализация, разработанных рекомендаций по повышению продуктивности оросительной воды.

Предварительно были выполнены технико-экономические оценки семи различных сценариев и из них выбран сценарий, предусматривающий снижение затрат оросительной воды с одновременным повышением урожайности сельхозкультур за счет улучшенной агротехники. Целями предпринятой демонстрации являлись:

- Показ в конкретных современных условиях хозяйствования практической достижимости и экономической целесообразности водосбережения;
- Акцентирование внимания водопользователей на том факте, что вода лишь один из факторов сельхозпроизводства во взаимосвязанном комплексе и затраты ее должны производиться на реальный уровень урожайности, обеспечиваемый комплексом факторов.

Особое внимание было уделено предпосевной подготовке почвы, а в период вегетации оптимизации элементов техники полива, т.е. оптимизации сочетаний поливных норм, расходов в борозды и длин борозд для данных уклонов и водопроницаемости почв. Кроме того, квалифицированно была поставлена работа по защите растений. Нормы и сроки поливов назначались дифференцированно в зависимости от развития растений, хода изменений метеоэлементов вегетационного периода и залегания уровня грунтовых вод, обуславливавшего участие их в водопотреблении сельхозкультур.

Контролем для каждого такого поля являлось поле, располагавшееся в сходных почвенно-мелиоративных условиях, но где все операции выполнялись по обычной, принятой в данном хозяйстве технологии.

Таблица 6 | Затраты оросительной воды и урожай (WUFMAS-99)

Код хозяйства	Урожайность				Затраты воды на единицу площади		Затраты воды на единицу урожайности			
	Тип поля		Разница	Прирост урожая	Тип поля		Тип поля		Разница	Снижение затрат
	Демонстрационное	Контрольное			Демонстрационное	Контрольное	Демонстрационное	Контрольное		
	(т/га)	(т/га)	(т/га)	(%)	(тыс.м ³ /га)	(тыс.м ³ /га)	(тыс.м ³ /т)	(тыс.м ³ /т)	(тыс.м ³ /т)	(%)
3 Kaz	2.92	1.38	1.54	111.6	3.56	2.99	1.22	2.17	0.95	43.8
9 Kirg	2.48	2.21	0.27	12.2	5.98	6.09	2.41	2.75	0.34	12.4
14 Taj	3.23	1.87	1.36	72.7	19.93	26.15	6.17	13.98	7.81	55.9
18 Tur	3.39	1.07	2.32	216.8	8.05	7.23	2.37	6.76	4.39	64.9
22 Uz	4.41	2.28	2.13	93.4	8.12	13.42	1.84	5.89	4.05	68.7
34 Uz	4.43	2.73	1.70	62.3	3.35	8.03	0.76	2.94	2.18	74.3
35 Uz	4.52	3.32	1.20	36.1	6.57	8.36	1.45	2.52	1.06	42.3
Среднее	3.63	2.12	1.50	86.5	8.40	11.22	2.32	5.29	2.97	51.7

Код хозяйства	Стоимость произведенной продукции		Затраты факторов с/хозпроизводства		Прибыль		Продуктивность воды			
	Тип поля		Тип поля		Тип поля		Тип поля		Разница	Рост (относительно контроля)
	Демонстрационное	Контрольное	Демонстрационное	Контрольное	Демонстрационное	Контрольное	Демонстрационное	Контрольное		
	(\$/га)	(\$/га)	(\$/га)	(\$/га)	(\$/га)	(\$/га)	(\$/тыс.мз)	(\$/тыс.мз)	(\$/тыс.мз)	(%)
3 Kaz	657	306	384	233	273	73	77	24	52	215
9 Kirg	668	586	580	563	88	23	15	4	11	289
14 Taj	1291	756	517	404	774	352	39	13	25	189
18 Tur	654	203	504	579	150	-376	19	-52	71	136
22 Uz	753	385	594	480	159	-95	20	-7	27	377
34 Uz	1495	869	996	671	499	198	149	25	124	503
35 Uz	1036	763	229	180	807	583	123	70	53	76
Среднее	936	553	543	444	393	108	63	11	52	255

Сравнение результатов, полученных на демонстрационных и контрольных полях, приведенное в таблице 6 (в хозяйствах 9 Kirg и 14 Taj грунтовые воды не участвовали в водопотреблении сельхозкультур. В остальных хозяйствах доля участия грунтовых вод в водопотреблении составляла от 20% (18 Tur и 35 Uz) до 40% (3 Kaz и 34 Uz)), подтверждает правильность разработанных рекомендаций и, самое главное, их практическую осуществимость без существенных капитальных затрат, т.е. в основном за счет повышения эффективности управления факторами сельхозпроизводства.

На семи демонстрационных полях с хлопчатником, приведенных для иллюстрации в таблице 6, урожайность возросла в сравнении с контролем в среднем на 86.5 %, при этом затраты воды на единицу сельхозпродукции сократились на 51.7 %, а продуктивность использования единицы оросительной воды в стоимостном выражении возросла более, чем в 2,5 раза.

На каждом демонстрационном участке с участием специалистов WUFMAS были организованы семинары для работников хозяйств, руководителей органов управления сельским и водным хозяйством. Таким образом, практическая демонстрация конкретных результатов водосбережения явилась прообразом будущих консультационных пунктов, создание которых намечается в дальнейших программах.

8. Конкурс «Водосбережение» в условиях маловодного 2000 года

8.1. Особенности вегетационного периода 2000 года

С позиций оценки возможности восприятия сельхозпроизводством климатических изменений интерес представляют результаты конкурса «Водосбережение», проводившегося в регионе в 1999-2000 гг. в рамках проекта GEF Всемирного банка.

Второй этап Конкурса проходил в условиях жесткого маловодья 2000 года. Таким образом, внешние факторы способствовали тому, чтобы в этой сложной ситуации конкурсанты смогли практически продемонстрировать реальные пути преодоления водного кризиса.

Маловодье 2000 года резко обострило проблему функционирования водохозяйственного комплекса в бассейнах Сырдарьи и Амударьи. Значительно сократилось количество используемых водопотребителями водных ресурсов, понизилась экологическая устойчивость водных систем рек, Приаралья и Аральского моря (табл. 7).

Таблица 7 | Водные ресурсы бассейнов Амударьи и Сырдарьи в вегетацию 2000 года (по данным БВО «Амударья» и «Сырдарья» для периода с 01.04 по 30.09. 2000)

Наименование	Ед. измерения	Норма	Факт	Дефицит
Бассейн р. Амударьи	км ³	47.592	34.182	13.410
Бассейн р. Сырдарьи	км ³	29.302	21.955	7.347
По двум бассейнам	км ³	76.894	56.137	20.757

На этом фоне в бассейне р. Сырдарьи, в межвегетационный период происходили вынужденные сбросы воды в Арнасайское понижение, явившиеся следствием работы в зимний период Токтогульского водохранилища в энергетическом режиме и ограниченной пропускной способности русла реки Сырдарьи ниже Чардары. В межвегетацию 1999-2000 гг. в Арнасай было сброшено 2,81 км³ воды.

В Приаралье и Аральское море поступило 0,614 км³ (при плане 3,0 км³) по бассейну Амударьи и 2,7 км³ (при плане 2,8 км³) по бассейну Сырдарьи. Это означает, что летом в низовьях обоих бассейнов сохранялась напряженная эколого-эпидемиологическая ситуация особо обострившаяся в бассейне р. Амударьи.

На фоне сложившейся ситуации крайне неравномерно осуществлялось водообеспечение потребителей как в целом за период вегетации, так и в самые напряженные периоды ее (июль-август) (табл. 8).

Таблица 8 | Водообеспеченность государств бассейна Аральского моря в вегетационный период 2000 г. (в % относительно лимитов, установленных МКВК)

бассейн реки Амударьи		бассейн реки Сырдарьи	
Таджикистан	84	Таджикистан	107
Туркменистан	69	Киргизия	125
Узбекистан	64	Узбекистан	97
		Казахстан («Достык»)	85
Среднее	72	Среднее	104

8.2. Влияние сниженной водообеспеченности на урожайность основных сельхозкультур

Как и в 1999 году, основные сельхозкультуры региона в 2000 году были представлены:

- хлопчатником – 33,8% от орошаемой площади (в 1999 – 37,5%);
- озимой пшеницей – 17,9% (в 1999 – 19,5%);
- люцерной – 10,5% (в 1999 – 7,0%);
- рисом – 6,8% (в 1999 – 3,3%).

Самая высокая доля хлопчатника была в структуре посевов Южно-Казахстанской области – 61,2%; озимой пшеницы в Ошской области – 31,3%; люцерны в Кызыл-Ординской области – 30,3% ; риса - также в Кызыл-Ординской области – 41,3%.

Сокращение фактических затрат воды на комплексный гектар на уровне водозаборов в районные водохозяйственные организации в целом по рассматриваемому региону в сравнении с 1999 годом произошло не намного, составив 0,36 тыс.м³/га (т.е. в пределах точности учета воды).

Общее снижение объемов, изъятых водопотребителями из водоисточников в сравнении с установленными лимитами в целом по региону составило 2,6 км³ (против 1,4 км³ в 1999 г.) или в расчете на комплексный гектар 3,09 тыс.м³/га (против 2,00 тыс.м³/га в 1999 г.).

Анализируя данные об урожайности основных сельхозкультур (рис. 12) можно отметить, что в целом маловодье существенным образом не сказалось на уровне урожайности основных сельхозкультур конкурсных объектов, за исключением резкого снижения урожайности озимой пшеницы в Кызыл-Ординской области (низовья бассейна р. Сырдарьи) и некоторого снижения урожайности в Кашкадарьинской области (средняя часть бассейна р. Амударьи).

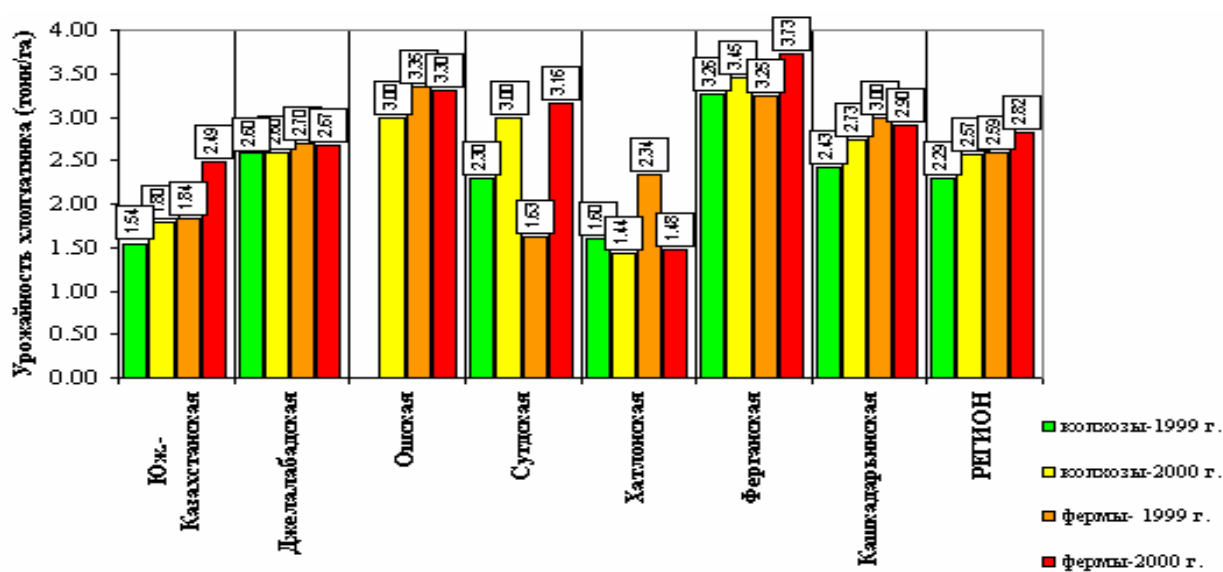


Рис. 12 | Сопоставительная оценка урожайности хлопчатника (1999-2000 гг.)

На существенное снижение урожайности хлопчатника в Хатлонской области (верховья бассейна р. Амударьи) скорее повлиял не водный фактор, т.к. уровень водообеспеченности здесь был самым высоким в бассейне р. Амударьи, а мелиоративное состояние земель и недостаточно высокий уровень агротехники.

Таким образом, достижением большинства участников Конкурса явилась практическая демонстрация устойчивых результатов на фоне сниженной в сравнении с условиями вегетации 1999 года водообеспеченности.

8.3. Эффективность использования водных ресурсов районными водохозяйственными организациями-участниками конкурса «Водосбережение»

По областям-участницам Конкурса (при оценках на уровне водохозяйственных организаций-участниц Конкурса) «вклады» в снижение водозаборов складывались следующим образом:

- Южно-Казахстанская область – 31 %
- Кызыл-Ординская область – 25 %
- Согдская область – 16 %
- Кашкадарьинская область – 11 %
- Джалалабадская область – 6 %
- Ошская область – 6 %
- Хатлонская область – 5 %
- Ферганская область – 0 %.

При чем, если рассматривать основные условия, способствующие этому снижению, можно выделить четыре в порядке приоритетности их влияния:

- отсутствие физической возможности забора выделенного лимита воды из-за недостатка воды в источниках или отсутствия необходимых командных уровней воды в них

- превышение выделенных лимитов реальной потребности сельхозкультур в воде
- желание водопользователей сократить затраты на оплату оросительной воды (Казахстан, Киргизия)

- осознание необходимости водосбережения и особенно в условиях маловодья.

Анализируя структуру размещения орошаемых сельхозкультур и используя для оценки водопотребления сельхозкультур оросительные нормы вегетационного периода – «нетто-поле», приводимые в отчетах национальных мониторов, ориентировочно оценен рекомендуемый некоторыми авторами показатель – коэффициент использования воды в оросительных системах (водозабор в район – орошаемые поля) и сопоставлен с аналогичным показателем за 1999 год (табл. 9).

$$WUC = \frac{r * F}{W} \quad (8)$$

где

WUC – коэффициент использования воды в оросительных системах

r – полезное водопотребление сельхозкультур, оросительная норма-«нетто», м³/га

F – орошаемая площадь системы, га

W – объем водозабора в оросительную систему, м³

Нормальные значения коэффициента использования воды в оросительных системах – WUC, (при КПД системы магистральных, межхозяйственных и внутрихозяйственных каналов на уровне 65-75% и КПД использования воды на поле на уровне 75–85%) составляют 55–65%.

Значения WUC меньше 55% свидетельствуют о недостаточно эффективном использовании воды и имеющихся резервах для водосбережения.

Значения WUC больше 65% свидетельствуют о повторном внутриконтурном использовании оросительной воды в условиях ее дефицита.

Значения WUC больше 75% свидетельствуют о «жестком» дефиците оросительной воды и низкой водообеспеченности сельхозкультур.

Исходя из этих критериев в условиях «жесткого» дефицита осуществляли свою деятельность водохозяйственные организации:

- Южно-Казахстанской области (WUC =101%), особо острый дефицит отмечался здесь в зоне канала «Достык»;
- Кашкадарьинской области (WUC =97%);
- Кызыл-Ординской области (WUC =75%).

Рациональное водопользование продемонстрировали водохозяйственные организации:

- Джалалабадской области (WUC =68%);
- Ферганской области (WUC =63%).

Несколько ухудшили свои показатели в сравнении с 1999 годом водохозяйственные организации областей, в которых имеются резервы для водосбережения:

- Хатлонской области (WUC =35% против 43% в 1999 г.);
- Ошской области (WUC =43% против 58% в 1999 г.);
- Сугдской области (WUC =48% против 52% в 1999 г.).

8.4. Технологические методы водосбережения (не требующие дополнительных капитальных затрат на их осуществление)

Ценным в проводившемся Конкурсе являлась практическая демонстрация водопользователями не капиталоемких приемов водосбережения. Ряд достаточно простых, не требующих существенных капитальных затрат приемов водосбережения в определенной степени повышают эффективность водопользования и продуктивность орошения. Основные из них относящиеся к категории «технологические приемы» приведены в таблице 10. Показательно, что эти приемы инициированы самими водопользователями и зоны их применения при соответствующей оценке и стимулировании может быть расширена. Эта задача в настоящее время поставлена в совместном проекте НИЦ МКВК – IWMI «Adoption of best practices».

9. Предложения по улучшению распределения водных ресурсов среди водопользователей хозяйственных каналов

9.1. Проблема рационального водопользования

Жизнеобеспечение большей части населения региона, как упоминалось ранее, зависит от продуктивного использования водных ресурсов и это влияние усиливается по мере продвижения от верховьев к низовьям бассейнов рек. Маловодье последних лет еще более обострило проблему рационального водопользования, которая усиливается высоким приростом численности населения.

И для большинства политиков и для широких слоев общественности ясно, что благосостояние общества в ближайшем будущем будет зависеть от того насколько эффективно и разумно будет выстроена система управления водными ресурсами на всех уровнях иерархии.

Системы бывших хозяйственных (а ныне в подавляющем большинстве случаев межхозяйственных каналов) являются практически низовым звеном в сложной иерархии управления водными ресурсами региона, но, пожалуй, наиболее чувствительным к структурным изменениям в системе водного хозяйства. От того, насколько рационально используется вода на уровне хозяйственных систем, зависит и продуктивность орошения на полях с сельхозкультурами и возможность обеспечения значительной части населения продуктами питания со своих приусадебных участков или за счет этих участков.

Таблица 9 | Характеристика эффективности использования водных ресурсов районными водохозяйственными организациями-участниками конкурса «Водосбережение»

Область	Годы	Орошаемая площадь	Средневзвешенная норма "нетто-поле" комплексного гектара	Установленный лимит удельных водозаборов на комплексный гектар	Фактический удельный водозабор	Коэффициенты Использования Воды в оросительных системах, соответствующие установленным лимитам	Фактические Коэффициенты Использования Воды в оросительных системах	Разность между фактическим и установленным по лимиту Коэффициентами Использования Воды
			тыс.га	тыс.м ³ /га	тыс.мз/га	тыс.мз/га	%	%
Кзыл-Ординская	1999	68.72	13.6	26.4	24.6	51.7	55.5	3.8
	2000	132.02	15.5	25.6	20.6	60.7	75.4	14.8
Южно-Казахстанская	1999	184.88	5.1	13.5	9.7	37.8	52.6	14.9
	2000	203.53	5.3	9.1	5.3	58.3	101.4	43.2
Джелалабадская	1999	47.22	4.7	9.6	7.5	48.7	62.0	13.3
	2000	86.59	4.8	9.0	7.1	53.7	67.5	13.8
Ошская	1999	91.50	4.8	10.9	8.4	44.5	57.9	13.4
	2000	83.02	3.9	11.1	9.1	35.5	43.3	7.8
Сугдская	1999	39.85	7.3	19.0	14.0	38.6	52.3	13.7
	2000	69.95	7.3	20.9	15.1	34.8	48.1	13.3
Хатлонская	1999	49.80	6.3	15.5	14.8	40.5	42.3	1.8
	2000	79.87	5.9	18.3	16.8	32.1	35.1	3.0
Ферганская	1999	85.45	3.9	7.0	7.3	56.1	53.7	-2.4
	2000	79.14	4.0	6.3	6.4	62.9	62.5	-0.4
Кашкадарьинская	1999	111.48	5.0	6.1	6.1	81.7	81.1	-0.5
	2000	106.03	5.1	8.0	5.3	63.5	96.8	33.4
РЕГИОН	1999	678.90	5.9	12.6	10.6	47.2	56.0	8.9
	2000	840.15	6.8	13.3	10.3	50.9	66.3	15.4

Таблица 10 | Технологические методы водосбережения (не требующие дополнительных капитальных затрат на их осуществление)

№№	Применяемая технология водосбережения	Сущность технологии	Водосберегающий эффект, в сравнении с обычной технологией орошения	Широко применяются на объектах орошения областей:
1	Сосредоточенные поливы и водооборот	Расход участкового оросителя сосредоточено направляется на очередной поливной участок. Водооборот применяется при орошении крупных единиц водопользования.	За счет сосредоточенной водоподачи, на 10-20 % (от водоподачи) сокращаются организационные потери, составляющие при «распылении» водоподачи по множеству отводов до 30-35% от водоподачи в орошаемый контур.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ферганской, ▪ Согдской ▪ Ошской, ▪ Джалалабадской.
2	Полив с чередованием поливаемых и сухих междурядий	Неполиваемое междурядье поддерживается культивациями в рыхлом состоянии обеспечивая тем самым благоприятный воздухо-газо обмен в корневой зоне сельхозкультур. Внесение удобрений в неполиваемое междурядье предотвращает их вымываемость за пределы корнеобитаемой зоны, обеспечивая их эффективное использование.	За счет уменьшения физического испарения с поверхности почвы сокращается суммарное водопотребление. В сравнении с водоподачей в каждую борозду экономия оросительной воды достигает 20-25 %. Поливы через междурядье способствуют сбалансированности роста и развития сельхозкультур.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ферганской, ▪ Согдской ▪ Ошской, ▪ Джалалабадской.
3	Ярусный полив по бороздам с внутриконтурным использованием образующихся сбросов	Полив по коротким 60-100 м бороздам начинается с первого яруса, на следующем ярусе заправляются оголовки борозд. После добегаания поливных струй до выводной борозды второго яруса образующийся сброс направляется в выводную борозду и дополняет расход, забираемый из «шох»-арыка. В такой последовательности проводится полив на последующих ярусах.	Водосберегающий эффект проявляется в сокращении на 15-20 % (от водоподачи) потерь на поверхностный сброс за пределы орошаемого поля, т.к. неиспользуемый в данном орошаемом контуре поверхностный сброс образуется только на последнем ярусе. Ярусный полив, позволяет добиться равномерного увлажнения поливной деланки.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ферганской, ▪ Согдийской ▪ Ошской, ▪ Джалалабадской.
4	Полив переменной струей	При поливе переменной струей после добегаания лба поливной струи до конца борозды струя уменьшается примерно вдвое в соответствии с уменьшающейся интенсивностью впитывания.	Водосберегающий эффект проявляется в сокращении на 15-20 %. (от водоподачи) потерь на поверхностный сброс за пределы борозды. Повышается равномерность увлажнения по длине борозды. Создаются условия для равномерного развития сельхозкультур.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ферганской, ▪ Согдийской, ▪ Ошской, ▪ Джалалабадской.

Исторически сложившаяся в регионе распространенность самотечных оросительных систем и поверхностных способов орошения, обуславливают повышенные удельные затраты воды на орошение. Кроме того, более 80% хозяйственной оросительной сети представлено земляными руслами, т.е. имеет повышенные фильтрационные потери.

Повышение эффективности использования водных ресурсов и водосбережение в широких, ощутимых для всего региона масштабах, осложняется тем, что:

- мероприятия по водосбережению путем реконструкции и модернизации оросительных систем не могут быть покрыты в нынешней экономической ситуации прибылью от сельхозпроизводства;
- отсутствуют единые подходы к нормированию водопотребления на уровне региона¹;
- не всегда достаточно обоснованы повышенные требования на орошение водопользователей верхних участков бассейнов рек;
- при введении платного водопользования зависимость финансового положения районных водохозяйственных организаций в основном от объемов водоподдачи, а не от качества водораспределения в определенной степени противоречит целям водосбережения;
- чрезмерное дробление бывших крупных хозяйств на множество мелких нередко обуславливает рост организационных потерь оросительной воды;
- водопользователи фермерских хозяйств, крестьянских хозяйств и ширкатов, особенно в странах, где пока не введено платное водопользование, экономически не заинтересованы в водосбережении, т.к. большая часть эффекта водосбережения способствует решению экологических и социальных задач стоящих перед обществом в целом.

Ухудшение среды обитания, вызванное снижением качества воды, подъемом уровня грунтовых вод и, особо в мелиоративно неблагоприятных зонах, помимо падения продуктивности орошения, провоцируют условия для развития эпидемий, которые могут распространиться на обширные территории.

Проблема рационального водопользования в настоящее время вышла за пределы интересов и возможностей только лишь национальных отраслей водного и сельского хозяйства.

Таким образом, повышение коэффициентов полезного действия межхозяйственных и хозяйственных оросительных систем, совершенствование техники и технологии полива, улучшение спланированности полей, частичная или комплексная реконструкция гидромелиоративных систем, способствующие оздоровлению среды обитания, могут быть решены только с помощью государств за счет существенного увеличения капитальных вложений на эти цели, создания системы льготного кредитования этих мероприятий.

Учитывая важную роль орошаемого земледелия в экономике стран региона, целесообразно создание государственных систем поддержки и развития водного и сельского хозяйства, направленных на повышение продуктивности орошаемых земель и оросительной воды.

До создания этих целенаправленных систем поддержки необходимо расширить и придать широкую общественную огласку начатому в 1999 году в рамках подкомпонента А-2 («Участие в водосбережении») проекта GEF и продолженному в 2001 г. в рамках проекта IWMI-SIC ICWC «Adoption of best practices» важному процессу инициирования самими водопользователями практических приемов водосбережения, не требующих существенных капитальных вложений.

9.2. Пути повышения эффективности использования воды

В нынешних условиях в рациональном водопользовании и водосбережении заинтересованы прежде всего водопользователи низководообеспеченных оросительных систем и густонаселенных орошаемых зон с традиционно высокой культурой земледелия. Побудительным мотивом их участия в рациональном использовании водных ресурсов

¹ Единными в настоящее время являются принципы гидромодульного районирования орошаемых территорий. Однако методологии расчета требований сельхозкультур на орошение отличаются и часто значительно.

являются в первую очередь те условия, в которых они ведут орошаемое земледелие и существующие, не утраченные традиции бережного отношения к земле и воде. В этих зонах повышение эффективности водопользования возможно по следующему сценарию:

- **на первом этапе** требуется минимальная поддержка государством в сохранении и развитии тех форм, рационального водопользования, которые иницируются самими водопользователями (полив с чередованием поливаемых и сухих междурядий; применение мульчирующих покрытий, предотвращающих излишнее физическое испарение; применение многоярусного полива по коротким бороздам; применение сосредоточенных поливов и водооборота между поливными участками, возделывание засухоустойчивых сортов сельскохозяйственных культур и т.п.).

- **на втором этапе** необходимо обеспечение на паритетной основе (государство выделяет материалы, оборудование и осуществляет метрологическое обеспечение, а хозяйства представляют рабочую силу) водомерности оросительной сети на уровне хозяйств и поливных участков и обучение фермеров простейшим приемам контроля и учета воды и нормирования водопотребления.

- **на третьем этапе** (в условиях платного водопользования) государство приступает на паритетной основе (с частичной компенсацией затрат водопользователями) к поэтапной комплексной реконструкции оросительных систем.

- **на четвертом этапе** водопользователи, экономически заинтересованные в снижении издержек на эксплуатацию оросительной сети начинают при поддержке государством (льготное кредитование, поставка оборудования по заказам) переход на более совершенные виды и технологии орошения.

Необходимо, и прежде всего для фермеров новосвоенных зон, провести организационно-технические мероприятия по обучению принципам рационального водопользования и водосбережения на примере демонстрационных оросительных систем и поливных участков.

С дроблением бывших крупных хозяйств на мелкие хозяйства, с переводом внутрихозяйственной оросительной сети бывших крупных хозяйств в межхозяйственную возникает необходимость создания промежуточного звена самоуправления – Ассоциаций Водопользователей, как посредников, представляющих интересы низовых водопользователей в государственных органах водного хозяйства и осуществляющих, с участием низовых водопользователей, эксплуатацию и техническое обслуживание оросительных систем от водовыделов в контур Ассоциации и до фермерских участков. Функции государственных органов водного хозяйства в этом случае сосредоточиваются на эксплуатации и техническом обслуживании магистральных каналов, планировании и управлении водными ресурсами.

9.3. Предложения по системе повышения уровня рациональности водопользования

Система повышения уровня рациональности водопользования должна предусматривать целенаправленную работу всех заинтересованных в эффективном использовании воды

сторон в четырех взаимосвязанных направлениях:

- совершенствование правовой базы;
- совершенствование нормативно-технической базы;
- создание сети демонстрационных систем и участков для обучения практическим приемам рационального водопользования и правовым вопросам вододелиения;
- создание зональных центров внедрения совершенных методов в практику орошаемого земледелия.

Исходя, из этого целесообразна разработка основ национальных систем повышения уровня рациональности водопользования с учетом специфических особенностей орошаемого земледелия природно-климатических зон и национальных законов о земле и воде (табл. 11).

Таблица 11 | Предлагаемый состав разработок для обоснований и внедрения приемов рационального водопользования

Наименование необходимых разработок для обоснований и внедрения приемов рационального водопользования	Результаты
<p>1. Разработка рекомендаций по управлению и эксплуатации водохозяйственных систем в условиях рыночной экономики. I этап – Разработка концепции управления и эксплуатации водохозяйственных систем в условиях рыночной экономики. II этап – Разработка организационных и функциональных структур служб управления и эксплуатации водохозяйственных систем на различных уровнях их управления. III этап – Создание нормативной документации по опытно-производственной отработке форм управления и эксплуатации на типичных водохозяйственных системах. IV этап - Создание демонстрационных оросительных систем и обучение совершенным методам управления и эксплуатации IV этап - Внедрение в практику орошаемого земледелия.</p>	<p>Нормативно-техническая документация по эксплуатации водохозяйственных систем в условиях рыночной экономики. Демонстрационные оросительные системы. Специалисты, обученные совершенным методам управления и эксплуатации.</p>
<p>2. Разработка комплекса организационно-технических мер водосбережения, способствующих применению совершенных технологий орошения сельхозкультур для различных природно-климатических зон бассейна Аральского моря в условиях развития рыночных отношений в сельском и водном хозяйстве. I этап – Разработка районирования орошаемых территорий по целесообразным формам совершенствования технологий орошения в целях водосбережения. II этап – Разработка проектно-конструкторской документации на создание совершенных поливных устройств и оборудования с ориентацией на их производство на основе местного сырья и материалов и имеющихся производственных мощностей. III этап – Создание демонстрационных поливных участков - базовых систем для обучения фермеров рациональным методам природопользования и основам повышения продуктивности орошения. IV этап – Переход к широкому внедрению совершенных технологий орошения в практику орошаемого земледелия.</p>	<p>Нормативно-техническая документация по механизму широкого внедрения совершенных технологий орошения в практику орошаемого земледелия. Фермеры, обученные рациональным методам природопользования и основам повышения продуктивности орошения.</p>

9.4. Вододеление между сельскохозяйственными и несельскохозяйственными водопользователями

Проблема справедливости вододеления между сельскохозяйственными водопользователями и несельскохозяйственными (в сельской местности это в основном владельцы приусадебных участков) может быть решена с помощью традиционно существующего в странах Центральной Азии института старейшин, который при большей доступности для общения имеет не меньшее влияние и авторитет среди населения, чем представители местной администрации.

По водному законодательству, владельцы приусадебных участков являются вторичными водопользователями, интересы которых должны учитываться при планировании и осуществлении водораспределения первичными водопользователями, т.е. крупными хозяйствами или Ассоциациями водопользователей, в контурах которых располагаются приусадебные земли, хозяйствами или Ассоциациями Водопользователей, в контурах которых располагаются приусадебные земли. Задача старейшины (или совета старейшин) - опираясь на законы, нормы водопотребления, установленные для приусадебных земель и при технической помощи и консультациях специалиста водника – мирба поселка, решать, руководствуясь чувством справедливости, возможные конфликтные ситуации при отстаивании прав на воду перед первичным водопользователем или при вододелении внутри поселка. При участии старейшины (или совета старейшин) организуются работы по эксплуатации поселковой оросительной сети, т.е. по своевременной очистке ее от наносов, ремонту регулирующих сооружений. Эти работы проводятся

силами и за счет средств жителей поселка. При чем право на воду тех жителей, которые без уважительных причин отказываются участвовать в общественных работах, может решением старейшины (или совета старейшин) ограничиваться.

9.5. Возможные пути повышения справедливости распределения водных ресурсов между индивидуальными хозяйствами в условиях рыночных отношений

При организации орошения в индивидуальных хозяйствах, ассоциациях индивидуальных хозяйств необходимо, прежде всего, ориентироваться на проектную пропускную способность оросительной сети (если она за годы эксплуатации по каким либо причинам уменьшилась принимать решение о необходимости реконструкции канала) и проектную схему организации орошаемой территории.

Таким образом, площадь, принимаемая за модуль орошаемого земельного надела, не должна быть меньше, чем проектная площадь одновременного полива из участкового оросителя. Составляет она, в зависимости от зоны 8-12 га. Эта площадь может закрепляться за одним фермером или объединением нескольких фермеров. В этом случае средневзвешенный гидромодуль на основании, которого рассчитывается расход постоянного поливного тока в период вегетации по участковому оросителю, определяется с учетом структуры посевов подкомандной оросителю площади, и не может превышать средневзвешенный гидромодуль для состава сельхозкультур принятого при проектировании орошения на данном массиве.

В связи с этим при орошении более (чем это принято в проектной структуре посевов) влаголюбивых сельхозкультур фактически орошаемая площадь с более влаголюбивой сельхозкультурой должна быть сокращена во столько раз, во сколько ее водопотребление превышает водопотребление сельхозкультур проектной структуры посевов.

Например, если на 12 га орошаемых земель, в контурах поливной карты, запроектированной под выращивание сельхозкультур хлопково-люцернового севооборота с оросительной нормой вегетации $M=6000$ тыс. $m^3/га$ планируется выращивать рис с оросительной нормой $M=18\ 000$ тыс. $m^3/га$, то фактически орошаемая площадь должна быть сокращена втрое, т.е. до 4 га. На остальных 8 га могут возделываться богарные сельхозкультуры или сельхозкультуры сидераты.

В ином случае фермер, решивший выращивать рис должен «выкупить» право на орошение у смежных с его участком фермеров. При этом за «переуступку» прав на воду он должен заплатить исходя из средней прибыли, получаемой в данных условиях при выращивании сельхозкультуры проектной структуры посевов на 1 тыс. m^3 используемой воды. Таким образом, при складывающейся конъюнктуре цен на сельхозпродукцию фермер должен решить, что ему выгодно в конкретной ситуации:

- выращивать сельхозкультуру, не превышающую по водопотреблению сельхозкультуру проектной структуры посевов;
- орошать только часть земельного надела;
- выкупить право на дополнительную воду уплатив за переуступку прав среднюю прибыль на 1 тыс. m^3 используемой воды, получаемую в данных условиях при выращивании «проектной» сельхозкультуры.

Список использованной литературы

1. Узводпроект (1993) Генеральная схема использования орошаемых земель, водных ресурсов и их охраны в Республике Узбекистан на период до 2005 года. Сводная записка. Под редакцией В.И.Антонова. Ташкент.
2. Richard G.Allen, Luis S.Pereira, Dirk Raes, Martin Smith (1998) Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation & Drainage Paper 56. Rome.
3. В.Р.Шредер, И.К.Васильев, Т.А.Трунова (1977) Гидромодульное районирование и расчет оросительных норм для хлопчатника в условиях аридной зоны. Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии. Сборник научных трудов. Выпуск 8. Ташкент.

-
4. В.Е.Чуб (2001) Первое национальное сообщение Республики Узбекистан по рамочной конвенции ООН об изменении климата. Фаза 2. Главное управление по гидрометеорологии при Кабинете Министров Республики Узбекистан. Ташкент.
 5. Институт генетики Академии Наук Республики Узбекистан (1996) Новые сорта хлопчатника. Ташкент.
 6. М.Г.Хорст (2001) Решения программы WUFMAS (Tacis) в повышении эффективности орошения. Пути водосбережения. IWMI-SIC ICWC. Ташкент.
 7. М.Г.Хорст, Н.Н.Мирзаев, Г.В.Стулина (2001). Участие в водосбережении: Региональный мониторинг II этапа Конкурса. Пути водосбережения. IWMI-SIC ICWC. Ташкент.
 8. M.Khorst (2001) Inventory of water users and water usage on typical irrigated areas, sub-command to farm canals (Consultant report). Project adoption of best practices (Project Code: 312310). IWMI.

ЧТО ЖДЕТ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

Г.В. Стулина, В. Усманов

Введение

Два аспекта, фактически отражающих глобальное изменение климата, являются общепринятыми: повышение температуры и увеличение концентрации CO₂ в атмосфере. Согласно прогнозам климата в регионе с использованием региональных модулей ECHAM4 и HadCM2, ожидается повышение температуры воздуха и осадков.

Знание прогноза изменения климата позволит помочь адаптировать сельское хозяйство к новым условиям.

Возможные изменения климата создают благоприятные условия для роста и развития растений. Прогнозируются сокращение периода прохождения фенологических фаз, сроков созревания и рост продуктивности посевов. Рост урожайности хлопчатника ожидается в среднем на 11%, зерновых колосовых – на 7-15%, овощных и бахчи - на 10-15%.

Однако, реализация этого положительного потенциала прогноза возможна в условиях высокой агротехники, обеспечения всеми необходимыми ресурсами, в том числе водой. В противном случае позитивный потенциал не будет реализован. Более того, прогнозируемое увеличение количества дней с экстремально высокими температурами могут привести к стрессу растений на фоне низкой водообеспеченности. Потери урожая могут составить для хлопка и зерновых - 9-15%, риса - 10-20%, овощей и бахчи - 10-50%

1. Сельскохозяйственное производство и климатический фактор

Третья оценка Межправительственной панели по изменению климата показала, что за последнее тысячелетие средние поверхностные температуры на Земле выросли на 0,6 градусов по Цельсию.

Надежно зарегистрирован ежегодный рост концентрации диоксида углерода (CO₂) в атмосфере. Измерения этого параметра проводятся на более чем 10 станциях, разбросанных по всему миру. Является ли повышение температуры следствием парникового эффекта - дискуSSIONируется до сих пор.

Однако и то, и другое остается фактом и имеет свои последствия.

Изучение динамики климата в регионе указывает на изменение различных компонентов климатической системы, существовании положительных трендов в температурных рядах в холодных и теплых полугодиях, увеличение содержания CO₂ в атмосфере, присутствие парникового эффекта.

Каким образом это повлияет на устойчивое развитие региона и, в первую очередь, на сельское хозяйство, в котором занято 70-90 % населения?

Изучение ситуации, знание прогнозируемых изменений климата, оценка уязвимости к изменениям позволит разработать стратегию адаптации для сельского хозяйства, водных ресурсов и экосистем.

Меры реагирования на изменения климата в сельскохозяйственном производстве решаются в связи с устойчивым социально-экономическим развитием региона, с водной межгосударственной политикой и мероприятиями по борьбе с опустыниванием и засухой.

Изучение изменения климата является в настоящее время приоритетным направлением исследований в регионе.

Использование климатических прогнозов для улучшения управления в отраслях, чувствительных к климатическим изменениям, таких как сельское и водное хозяйство, является новой возможностью с потенциально значимыми результатами для человечества. Климатическая информация и профессиональные климатические прогнозы по сезо-

нам могут улучшить продуктивность сельского хозяйства. Кроме того, прогнозирование климата может позволить людям лучше понять и быть готовыми к естественным колебаниям климата, а также к глобальному изменению климата, и работать в направлении устойчивого развития.

Изменение климата повлечет за собой изменения среды обитания растений и окажет существенное влияние на процессы развития растений.

Наиболее важные параметры изменения климата: температура воздуха $^{\circ}\text{C}$, осадки, относительная влажность воздуха, концентрация CO_2 углерода в атмосфере – формируют условия влияющие на продуктивность посевов сельскохозяйственных культур.

Климатические параметры определяют:

Температура воздуха – продолжительность вегетационного периода; сроки сева; условия, соответствующие прорастанию, прохождению фенологических фаз и росту; экстремально высокие температуры приостанавливают физиологические процессы в растениях.

Влажность воздуха – интенсивность испарения; создает условия влагообмена, необходимые для каждой конкретной культуры.

Осадки – влажность почвы и воздуха создают естественное увлажнение, условия для произрастания; ливневые осадки могут быть помехой для всходов и проведения сельхозработ.

Температура, влажность воздуха и осадки – в целом формируют эвапотранспирацию растений, изменяют процессы засоления.

Концентрация CO_2 в атмосфере определяет интенсивность фотосинтеза и дыхания, и как следствие, процессы формирования биомассы и продуктивность посевов.

Земельный фонд, используемый в сельском хозяйстве, представлен категориями: орошаемые земли, богарные земли, естественные пастбища. Земельные ресурсы региона имеют четкую горизонтальную и вертикальную зональности.

Зона орошения расположена на территории с отметками уровня земли до 500-520 м н.у.м и суммой осадков 200-300 мм, зона полуобеспеченной богары от 500-520 до 1000 м. н.у.м, и осадками 300-400 мм, выше 1000 м. н.у.м. располагается богарная зона с количеством осадков свыше 400 мм в год.

Почвенный покров преимущественно представлен сероземами – светлыми, типичными, серо-бурыми пустынными в разной степени засоленности, местами эродированными и каменистыми маломощными.

Общая площадь орошаемых земель в регионе составляет около 7,95 млн.га. Наибольший удельный вес из этой площади падает на пашню – около 90%. В составе посевных площадей на орошаемых землях 25,3% занимает хлопчатник, 19,6% – кормовые, 36,7% – зерновые, 3,0% картофель, овощи и бахчевые, 13,6% – прочие культуры.



Рис. 1 | Структура посевных орошаемых площадей региона

Основная часть орошаемых земель бассейна Аральского моря находится в зонах субтропической пустынной, полупустынно-пустынной и предгорной. Агроклиматический

потенциал, жаркое продолжительное лето позволяет выращивать многие виды и субтропических растений, в том числе хлопчатника, и растений умеренного пояса. Однако, являясь самой северной зоной выращивания хлопчатника, бассейн Аральского моря не обеспечен повсеместно достаточно устойчивыми условиями для выращивания хлопчатника и получения гарантированных урожаев. Критическими являются весенние заморозки, обильные осадки на фоне низких весенних температур, ранние осенние заморозки.

Причиной потерь продуктивности земельных ресурсов, особенно в последнее время, является ухудшение мелиоративного состояния земель и социально-экономические факторы.

По мелиоративному состоянию только 52% орошаемых земель бассейна относится к землям удовлетворительного состояния, 21% относится к землям неудовлетворительным по мелиоративному состоянию и 15% территории составляют земли крайне неудовлетворительно состояния. Общее количество средне и сильнозасоленных земель выросло за последнее 20 лет в два раза и составляет на настоящее время порядка 2.8 млн.га.

В такой ситуации, ослабление возможных негативных последствий изменения климата и использование позитивных изменений позволит сделать сельскохозяйственное производство более стабильным и производительным.

2. Изменение агроклиматических ресурсов и их влияние на сельское хозяйство

Для анализа возможных изменений агроклиматических ресурсов в связи с изменением климата, выбраны метеостанции, привязанные к агроклиматическим группам и характеризующие климатические условия отдельных зон планирования:

Метеостанция	Зона планирования
Ургенч	Хорезмская, Дашховузская, Лебапская
Самарканд	Самаркандская
Каттакурган	Заравшанская, Самаркандская
Навои	Навоийская
Бухара	Бухарская, Ахалская
Гузар	Кашкадарьинская, Марыйская
Термез	Сурхандарьинская, Вахшская, Нижне-Кафирниганская
Янгиер	Голодностепская, Южно-Казахстанская
Джизак	Джизакская
Сырдарья	Сырдарьинская, Исфаринская, Ходженская, Чакир
Фергана	Наманган-Сырдарья, Андижанская, Южно-Ферганская, Кампыр-Раватская, Северо-Ферганская

Использовались результаты расчетов региональных климатических сценариев. Рассматривались два региональных климатических сценария HadCM2 и ECHAM4, построенных на эмпирико-статистическом методе, на основе зависимостей между значениями среднегодовой температуры воздуха, в случае эмиссии парниковых газов при удвоении эквивалента CO₂. Сопоставления проводились с базовыми среднемноголетними данными. Согласно прогнозу, ожидается увеличение среднегодовых температур по региону на 0,3-2,0 °С.

Сценарии возможных изменений осадков основаны на экспертной оценке. Количество осадков в разрезе года по прогнозу составят 105-120% от базового.

В большей степени изменение температуры (приложение, табл.1-3, рис. 2-6) наблюдается для северо-западной части и крайней южной части региона по метеостанциям Ургенч, Термез (Хорезмской, Сурхандарьинской, Дашховузской зон планирования), в меньшей степени для остальной территории. Для центральной части наибольшее увеличение температур возможно в Джизакской и Сырдарьинской зонах планирования. Основной прирост температур относится к летнему и зимнему периодам. В целом среднемесячная температура увеличивается в максимуме до 2 °С.

Наибольший прирост температуры на 1,2-2,0 °С ожидается в январе и феврале по всей территории. В центральной части региона возможно повышение температуры в мае

на 0,5-1 °С, что может оказать влияние на сроки проведения поливов. Осеннее повышение температуры прогнозируется в центральной - на 1,2 °С и южной на 1,2-1,5 °С частях региона в период август-сентябрь. В северной части региона повышение температуры будет наблюдаться вплоть до октября, что изменит продолжительность вегетации.

Прирост осадков по прогнозу возможен в максимуме в середине летнего периода в июль месяце (приложение, табл. 4-6, рис. 6-12). Наибольшая величина прироста наблюдается в северной части территории до 80-110% в зимние месяцы на 10-15%, в центральной на 40-80%. На юге увеличение осадков в летний период смещен на месяц раньше. В зимний период прогнозируется прирост на 10-20%, осенний 15-30%. В абсолютных величинах распределение прогнозируемых осадков характеризуется увеличением их на 5-10 мм в разрезе месяца в период январь-апрель и август-декабрь.

В результате потепления климата и увеличения осадков изменятся высотные и широтные климатические зоны, на 150-200 м сдвинутся границы на север между сухим тропическим и умеренным климатом и на 50-100м между богарной зоной и зоной полубеспеченной богары.

В целом агроклиматические ресурсы региона возрастут.

В связи с увеличением температур следует ожидать обеспечения более длительного вегетационного периода сельскохозяйственных культур.

Сроки сева. Интенсивность нарастания температуры воздуха весной и увеличение запасов влаги в почве позволит проводить более ранние весенние посевы.

В табл. 1 приводятся сроки перехода через температуры воздуха через 3, 5, 10, 12, 15 °С, необходимых при севе сельскохозяйственных культур:

Хлопчатник - выше 10-12 °С; Бахчи - выше 15 °С; Кукуруза - выше 10 °С;
Люцерна - выше 5 °С; Виноград - выше 5 °С; Рис - выше 15 °С

Таблица 1 | Переход температуры воздуха через заданные пределы в современных условиях (Ср.) и при аналоговых сценариях с увеличением температуры на 1-2 °С

Область, станция	Вариант	Даты перехода весной через заданные пределы					Даты перехода осенью		
		3°С	5°С	10°С	12°С	15°С	3°С	5°С	10°С
Нукус	Ср.	12.03	19.03	2.04	8.04	18.04	20.11	10.11	18.10
	1	12.03	18.03	30.03	4.04	12.04	27.11	16.11	24.10
Андижан	Ср.	26.02	4.03	22.03	28.03	9.04	27.11	19.11	26.10
	1	9.02	1.03	14.03	24.03	5.04	2.12	15.11	5.10
Бухара	Ср.	14.02	2.03	19.03	29.03	9.04	15.12	28.11	2.11
	1	28.01	25.3	13.03	24.03	3.04	26.12	5.12	9.11
Джизак	Ср.	20.02	4.03	21.03	11.04	12.04	16.12	1.12	22.11
	1	30.01	1.03	14.03	24.03	5.04	30.12	20.12	11.11
Карши	Ср.	10.02	22.02	14.03	27.03	9.04	20.12	11.12	10.11
	1	10.01	30.01	9.03	18.03	3.04	31.12	23.12	17.11
Навои	Ср.	4.02	1.03	20.03	1.04	10.04	20.12	5.12	4.11
	1	28.01	24.02	12.03	25.03	6.04	30.12	20.12	10.11
Наманган	Ср.	24.02	5.03	20.03	28.03	8.04	3.12	24.11	1.11
	1	6.02	27.02	22.03	23.03	4.04	6.12	28.11	7.11
Самарканд	Ср.	20.02	5.03	25.03	3.04	15.04	18.12	2.12	2.11
	1	2.02	28.02	15.03	28.03	10.04	27.12	18.12	11.11
Сырдарья	Ср.	26.02	5.03	24.03	2.04	12.04	2.12	20.11	28.10
	1	15.02	1.03	15.03	25.03	8.04	20.12	25.11	2.11
Денау	Ср.	-	8.02	10.03	18.03	5.04	-	23.12	19.11
	1.	-	10.04	2.03	10.03	1.04	-	3.01	26.11
Ташкент	Ср.	15.02	5.03	21.03	1.04	12.04	17.12	18.12	2.11
	1	20.02	26.02	12.03	23.03	6.04	27.12	28.12	10.11
Фергана	Ср.	25.02	3.03	22.03	1.04	12.04	16.12	22.11	29.11
	1	15.02	28.02	14.02	24.03	5.04	30.12	27.11	5.11
Ургенч	Ср.	8.03	11.3	28.03	6.04	14.04	24.11	14.11	21.10
	1	5.03	9.03	26.03	1.04	10.04	30.11	20.11	28.10

Даты перехода через заданные температуры в осенний период говорят о завершении периода вегетации. В связи с ростом температуры смещаются сроки перехода через

биологически оптимальные пределы начала и конца вегетации. Разность в сроках перехода температуры через 10, 15, 20 °С весной и осенью между 10% и 90% обеспеченности увеличиваются по всей орошаемой территории в среднем на 15-30 дней.

Ориентация на среднесезонные даты начала сева без учета изменения климата приведет к снижению урожайности всех сельскохозяйственных культур, т.к. смещение сроков сева относительно оптимальных на 5-10 дней снижает урожайность в среднем на 10-20%. Это связано с тем, что наиболее ответственный период формирования продуктивности посевов будет проходить при повышенных, относительно оптимальных, температурах воздуха (рис. 2)

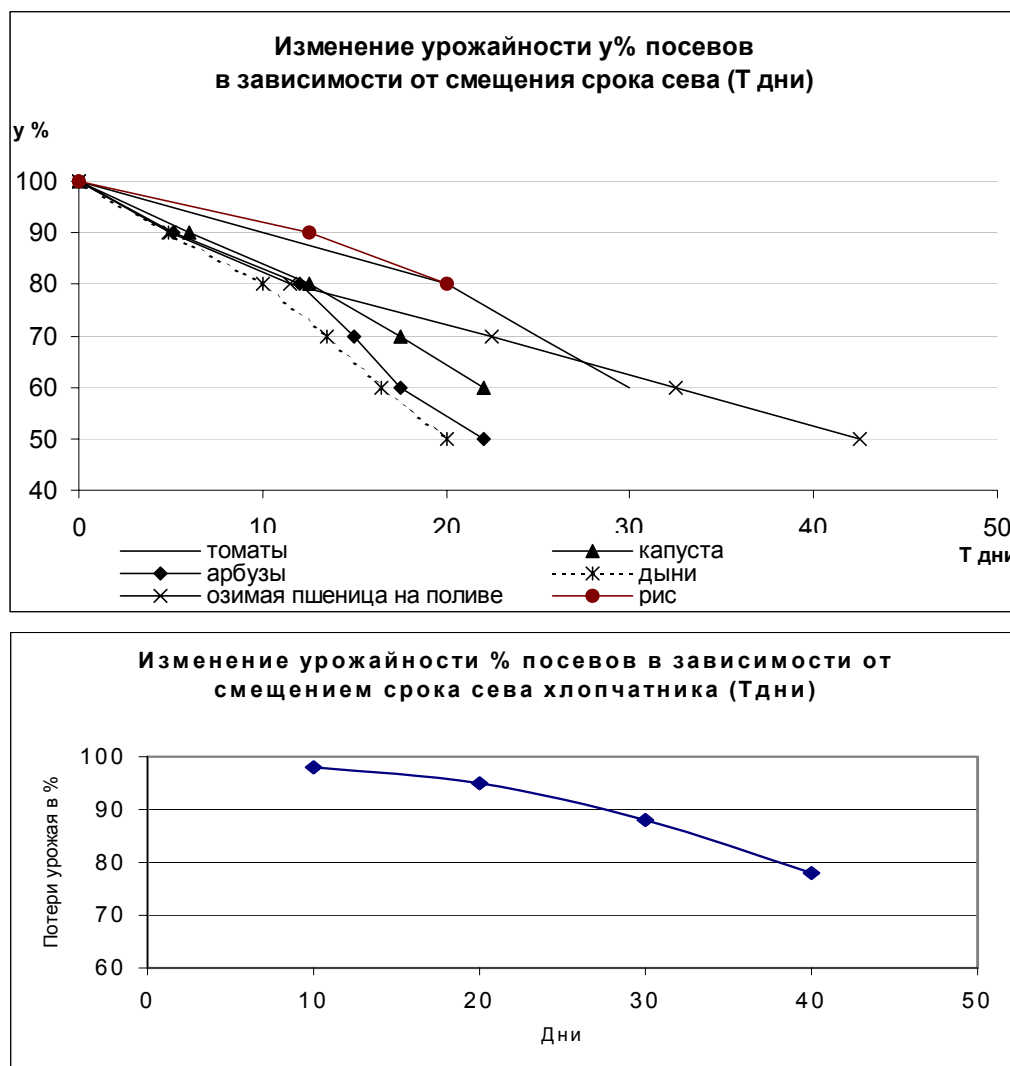


Рис. 2 | Влияние смещения сроков сева относительно оптимальных на урожай сельскохозяйственных культур

Развитие сельскохозяйственных культур. Влияние агрометеорологических условий на темпы развития сельскохозяйственных культур сводятся к оценке прохождения ими фенологических фаз. У растений наблюдается последовательная смена фаз развития, причем развитие идет необратимо, и если в организме растения вследствие отсутствия соответствующих внешних факторов какая-то фаза не наступила, то следующая фаза не наступит даже при наличии для нее оптимальных условий.

Основным фактором, влияющим на темп развития, являются термические условия произрастания, характеристикой которых служит средняя суточная температура воздуха.

Для прохождения посевом межфазного периода между 1-й и $i+1$ -й фазами и наступления $i+1$ -й фазы развития требуется определенная для этой фазы сумма средних

суточных температур T_{i+1}^c , причем T_{i+1}^c и пороговые температуры развития T_{i+1}^c являются биологическими постоянными сорта, мало зависящими от колебаний температуры внутри фазы.

Из сказанного следует, что если фиксировать срок наступления очередной $i+1$ -й фазы T_{i+1}^c с точностью до суток, то

$$Ti+1 = ti + \delta i+1$$

причем $\delta i+1$ — продолжительность периода между i -й и $i+1$ -й фазами находится из следующего выражения:

$$F = \left| T_{i+1}^c - \sum_{l=1}^{\delta_{i+1}} T_l \right| \rightarrow \min_{\{\delta_{i+1}\}},$$

где в зависимости от метода расчета используются те или иные средние суточные температуры (выше 0; 5 или 10 °С, относительно меняющихся в онтогенезе порогов и т.д.).

В таблице 2 представлены данные по суммам эффективных температур необходимых для прохождения каждой последующей биологической фазы для основных видов сельхозкультур региона.

Расчет кумулятивных значений сумм эффективных температур позволяет определить продолжительность каждой биологической фазы развития растения. Для демонстрации возможного анализа данных выбрана метеостанция Джизак, по которой отмечены существенные изменения климатических параметров. В качестве примера приводится расчет кумулятивных значений эффективных температур (более 10 °С), выполненный по данным метеостанции "Джизак" для скороспелых, среднеспелых и поздних сортов хлопчатника. Смена фенологических фаз происходит при достижении необходимой суммы эффективных температур (табл. 2).

Таблица 2 | Суммы эффективных температур для прохождения фаз вегетации при достаточной влагообеспеченности

1. Хлопчатник (сумм эффективных температур выше 10°)

Сорт	Посев - всходы	Всходы - бутонизация	Бутонизация - цветение	Цветение - раскрытие 1-х коробочек	Посев-раскрытие 1 коробочек
Скороспелые	95	400	480	760	1735
Среднеспелые	100	425	500	850	1875
Позднеспелые	100	480	530	1050	2160

2. Дыни - арбузы (выше 15°)

Сорт	Посев - всходы	Всходы - цветение	Цветение - созревание	Созревание - последний сбор
Скороспелый	50	290	500	190
Среднеспелый	70	340	660	170
Позднеспелый	80	380	780	190

3. Кукуруза (выше 10°)

Сорт	Посев - всходы	Всходы - выметывание метелки	Молочная спелость	Восковая спелость
Среднеспелый	80	890	1300	1560
Позднеспелый	80	1210	1670	1880

4. Люцерна (выше 5°)

Сорт	До бутонизации	До цветения	До первого укоса
Среднеспелые	390	550	580
Позднеспелые	410	650	730

5. Виноград (выше 5°)

Сорт	Набухание почек	Начало цветения	Начало созревания
Среднеспелый	120	710	1520
Позднеспелый	130	730	1920

6. Рис (выше 15°)

Сорт	Посев - всходы	Всходы - кущение	Кущение - выметывание	Выметывание - восковая спелость
Скороспелый	210	480	400	210
Среднеспелый	270	620	640	250
Позднеспелый	350	770	1920	280

Период сев-всходы

Началом периода является срок сева. Срок сева определялся по дате перехода заданной температуры воздуха 10-12 °С. В сравнении с базовой он смещается на 2 дня.

Среднепогодные, базовый вариант			
Начало вегетации		03.04	
Конец вегетации		29.10	
Фенологическая фаза /Сорта	Скороспелые	Среднеспелые	Позднеспелые
I. Сев-всходы	19	20	20
II. Всходы-бутонизация	43	43	47
III. Бутонизация-цветение	28	29	30
IV. Цветение-раскрытие первых коробочек	42	48	64

Модель HadCM4			
Начало вегетации		01.04.	
Конец вегетации		31.10	
Фенологическая фаза /Сорта	Скороспелые	Среднеспелые	Позднеспелые
I. Сев-всходы	15	16	16
II. Всходы-бутонизация	41	43	47
III. Бутонизация-цветение	29	30	30
IV. Цветение-раскрытие первых коробочек	40	45	57

Модель Ecam-4			
Начало вегетации		01.04	
Конец вегетации		31.10	
Фенологическая фаза /Сорта	Скороспелые	Среднеспелые	Позднеспелые
I.Сев-всходы	15	16	16
II. Всходы-бутонизация	40	42	46
III. Бутонизация-цветение	29	30	30
IV. Цветение-раскрытие первых коробочек.	39	44	56

Увеличение температуры в ранневесенний период сокращает период сев-всходы на четыре дня, что позволит обеспечить дружные всходы. Известно, что долгое нахождение семян в почве приводит к изреженным посевам, вызывая необходимость в подсевах и пересеве. Если продолжительность периода сев-всходы составляет 20-25 дней, то условия для появления всходов можно считать удовлетворительными, 14-19 дней - хорошими, менее 14 дней - очень хорошими.

Продолжительность периода сев-всходы связана с запасами продуктивной влаги в почве. На рис 3. показана зависимость продолжительности периода от температуры воздуха и влажности почвы.

В случае недостатка влаги ресурсы тепла не могут быть полностью реализованы для развития растений. Менее чем на 30% территории сев проводится по естественной влаге. Увеличение количества осадков по прогнозу не значительно изменит ситуацию. По метеостанции Джизак количество осадков за период январь-март возрастет на 24-26 мм. При реальном среднем испарении с водной поверхности 0.3 мм, полученное дополнительное количество влаги будет потрачено на испарение. Для создания запасов влаги в почве при севе на уровне 70% от ППВ необходимо проведение влагозарядковых поливов. Оптимальная дата проведения влагозарядковых поливов будет зависеть от климатических и в большой степени от почвенных условий и может быть подсчитана методом ежедневного баланса.

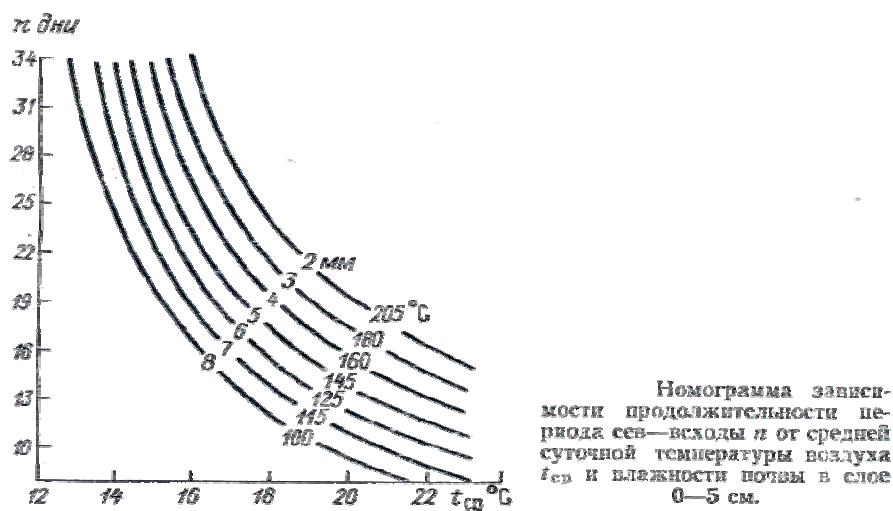


Рис. 3 | Зависимость периода посева-всходы от влаго- и теплообеспеченности (Муминов, 1991)

Период всходы-бутонизация сокращается на 1-2 дня. Прогнозируется оптимальная для этого периода среднемесячная температура - 21 °C. Однако к снижению урожая могут привести повышение среднесуточной температуры до 28-29 °C, ливневые дожди, град, сильный ветер, не являющиеся параметрами прогноза, но часто повторяющиеся в данный период года.

Репродуктивный период. Период включает три подпериода: бутонизация-цветение, цветение-раскрытие первых коробочек, раскрытие первых коробочек - созревание. В основу оценки агрометеорологических условий этого периода берутся количественные показатели, связывающие темпы развития хлопчатника с факторами теплообеспеченности. Существенное влияние влагообеспеченности растений на темпы развития проявляются в основном после наступления фазы цветения. Продолжительность периода от цветения до раскрытия первых коробочек сократится для скороспелых сортов на 1 день, среднеспелых на 1-2 дня. Значительное сокращение периода наблюдается для позднеспелых сортов на 7-8 дней.

Период развития хлопчатника от сева до раскрытия первых коробочек по данным метеостанции Джизак в связи с изменением климата сокращается для скороспелых сортов на 7-9 дней, среднеспелых сортов 6-8 дней, позднеспелых 11-13 дней (рис. 4).

Сбор урожая. Созревание 70% коробочек от числа сформировавшихся на дату раскрытия первых коробочек обеспечивается для скороспелых сортов при суммах положительных средних суточных температур воздуха не менее 400 °C, для среднеспелых сортов 500 °C.

Раскрытие первых коробочек среднеспелого сорта хлопчатника, согласно расчету продолжительности фенологических фаз, наступает в базовом варианте - 21 августа, в моделируемом сценарии Had) - 15 августа. Необходимый период для созревания - 70% коробочек рассчитан по сумме среднемесячных средних и прогнозных температур и соответственно определяемые даты уборки соответствуют 11 сентября и 3 сентября, даты полного созревания - 14 сентября и 19 сентября. Аналогичным образом можно составить прогнозы для скороспелых и позднеспелых сортов хлопчатника.

Приведенный анализ изменения вегетации хлопчатника по данным метеостанции Джизак можно рассматривать как пример, отражающий общие тенденции. Для всех культур при потеплении климата сместится срок сева и сократится срок созревания.

В полях севооборота ранняя уборка хлопка позволит убрать гузапаю и провести посев пшеницы не в рядки хлопка, а в подготовленную соответственно почву, в рекомендуемые сроки: в северных областях начало сева вторая декада сентября - конец сева 10 октября. В остальных областях соответственно третья декада сентября - 20 октября.

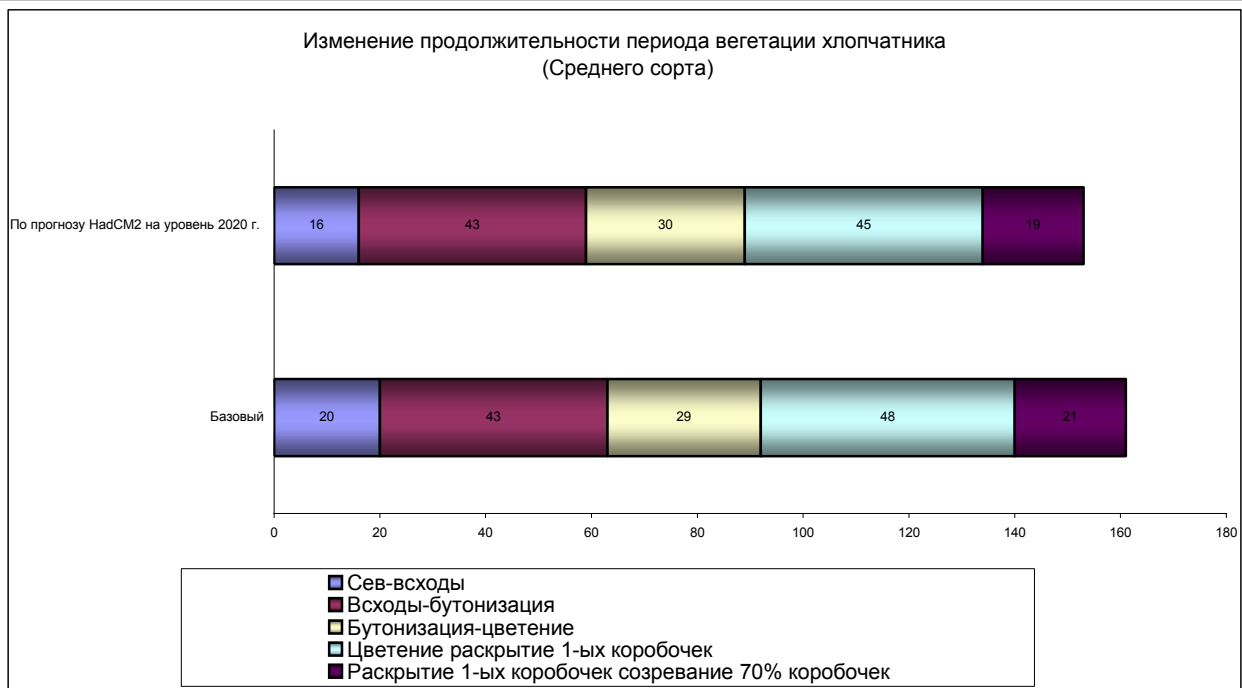


Рис. 4 | Сокращение продолжительности фенологических фаз хлопчатника при изменении климата

Урожай. Повышение температуры и увеличение концентрации углекислого газа в окружающей среде должны благоприятно сказаться на росте и развитии растений.

Для прогноза урожайности использована модифицированная полуэмпирическая модель Полевого А.Н. Основу метода оценки продуктивности посевов и агрометеорологических условий формирования урожая сельскохозяйственных культур при заданных климатических сценариях составляет расчет динамики формирования биомассы основных органов культур, в том числе ее продуктивной части. При этом процесс формирования урожайности представляется результирующим этапом протекающей совокупности ряда физиологических процессов, интенсивность которых определяется биологическими особенностями растений, изменяющимися (согласно сценариям) факторам внешней среды и взаимосвязью между самими процессами. Динамическая модель продуктивности включает блоки фотосинтеза, дыхания, роста, что позволяет модифицировать блоки с учетом изменения концентрации парниковых газов. Входными параметрами являются: максимальная температура воздуха, средняя температура воздуха, продолжительность солнечного сияния, осадки, сведения о культурах, детали по вегетационному периоду, широта местности. Практическая реализация модели была выполнена с доработками и изменениями отдельных расчетных зависимостей динамико-статистической модели для посевов хлопчатника, зерновых. Для посевов хлопчатника при оптимальной водообеспеченности ожидается рост урожайности на 3-12%.

Расчет водопотребления хлопчатника по программе CROPWAT (приложение, табл. 7) показывает, что суммарная эвапотранспирация в сценариях изменения климата возрастает в сравнении с базовым вариантом.

Однако, отмечается тенденция снижения затрат воды на единицу продукции.

При изменении климата ожидается повышения урожайности зерновых колосовых культур на 7-15%.

Рис особенно восприимчив к повышению температуры выше 32 °С и в условиях повышения концентрации CO₂ и температуры возможно ожидать снижения урожайности на 10%.

Для люцерны повышение температуры и концентрации углекислого газа будут способствовать увеличению числа укусов и повышению продуктивности.

Изменение климата создаст лучшие условия для ранних овощных культур за счет снижения вероятности весенних заморозков.

В таблице 3 приводятся результаты прогноза урожаев по областям. Урожайность в базовом варианте определена как средняя за последние 5 лет.

Таблица 3 | Изменение урожайности сельхозкультур (ц/га) в зависимости от изменения температуры воздуха на 1-2^oC

Область	Хлопчатник		Рис		Кукуруза	
	Базовый	Прогноз	Базовый	Прогноз	Базовый	Прогноз
Каракалпакия	14,1	15,5	19,9	17,9	10,7	12,0
Андижанская	30,0	33,0	37,1	33,4	54,4	60,9
Бухарская	28,4	31,2	27,1	24,4	35,2	39,4
Кашкадарья	21,5	23,7			17,6	19,7
Наманган	25,0	27,5	20,9	18,8	41,2	46,1
Самарканд	22,7	24,9	21,6	19,5	29,1	32,6
Сурхандарья	27,0	29,7	25,3	22,8	36,9	41,3
Хорезм	26,5	29,1	40,5	36,4	37,6	42,1
Ферганская	26,3	28,9	31,4	28,2	35,6	39,8
Ташкентская	23,7	26,0	33,4	30,1	29,9	33,4
Сырдарья	14,4	15,9	22,9	20,6	30,8	34,4
Джизак	15,7	17,3	15,1	13,6	19,9	22,3
Навои	25,6	28,1	15,4	13,8	19,3	21,6

Прогнозируемое изменение климата потенциально содержит положительное воздействие на растения. Однако реализация этого потенциала возможна при обеспечении растений основными факторами производства; питательными элементами, водой, средствами защиты и т.д. На рисунке (приложение, рис. 13) показано семейство зависимостей между урожаями некоторых сельскохозяйственных культур и обеспеченностью растений водой и теплом, которые, показывают, что повышение урожая требует обеспеченности одновременно двумя этими факторами, обеспеченность одним из них на фоне недостаточности другого не позволит достичь увеличения урожая.

Негативным последствием изменения климата является повышением дней со стрессовыми для растений высокими температурами. В таблицах (приложение, табл. 8-10) представлены результаты прогноза частоты возможных стрессовых температур и их отрицательные последствия на развитие растений и урожай.

Особенно опасные последствия стрессовых условий при увеличении количества дней с высокими температурами возникают при низкой водообеспеченности посевов.

Выводы

1. Изменение климата в сторону повышения среднемесячных температур повысит агроклиматические ресурсы региона.

2. Повышение урожая сельскохозяйственных культур возможно при создании благоприятной мелиоративной обстановки, оптимальной водообеспеченности, высокой агротехники возделывания сельхозкультур.

3. Потепление в районах региона увеличит продолжительность вегетационного периода и позволит выращивать более выгодные экономически среднеспелые и поздние неспелые сорта.

4. Изменение климатических условий при росте температуры воздуха на 1-2^oC приведет к необходимости коренной реконструкции схем размещения сельскохозяйственных культур. Возможны некоторые изменения в севообороте в смещении сроков чередования культур и схем их размещения с учетом сортовых особенностей.

5. Изменение климата повлияет на сроки прохождения фенологических фаз и смещение сроков сева.

6. Изменение водопотребления культур, сроков поливов. В расчете на прибавку урожая количество потребляемой воды должно снизиться на единицу производимой продукции.

Список использованной литературы

1. Каштанова А.Н. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР. М.: 1983.-336с., ил.
2. Какюмов М.К. Программирование продуктивности полевых культур. Справочник. М.: Росагропромиздат, 1989.-368с.: ил.
3. Константинов А.Р. Погода, почва и урожай озимой пшеницы. Л.: Гидрометеиздат. 1978. – с.264
4. Муминов Ф.А.. Погода, климат и Хлопчатник. Л.: Гидрометеиздат, 1991.-277с
5. Муминов Ф.А. Тепловой баланс и формирование урожая хлопчатника, Л.: Гидрометеиздат. Тр. САНИГМИ, вып. 50 (65). – 247с.
6. Павлова В.Н. О различных способах интерпретации климатической информации в задачах оценки влияния изменения климата на продуктивность сельскохозяйственных культур. Л.: Гидрометеиздат. Тр. ВНИИСХМ, вып. 21. 1986. с. 93-103
7. Подрезов О.А., Диких А.Н., К.Б. Бакиров. Изменчивость климатических условий и оледенения Тянь-Шаня за последние 100 лет. Вестник КРСУ. Том 1. №3. 2001
8. Платонов В.А., Чудновский А.Ф. Моделирование агрометеорологических условий и оптимизация агротехники. Л.: Гидрометеиздат, 1984.-277с.
9. Полевой А.Н. Методическое пособие по разработке динамико-статических методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. М.: Гидрометеиздат. 1981.-36с.
10. Полевой А.Н. Модель роста, развития и формирования продуктивности злаков. Обнинск. 1986.-109 с.
11. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. Л.: Гидрометеиздат. 1981.-36с.
12. Юлдашев Х. Люцерна Т.: Мехнат. 1990.-220с.
13. Brinetty A. Ford. P.B. ets. Weater / climate and sustainable agricultural production and protection. WMO/TD № 838. Geneva. 1997. - 112p.
14. Das H.P. Definition of agro meteorological information required for vegetable crops. WMO/TD № 866. Geneva. 1997. - 110p.
15. Roger E. Kasperson, Jeanne X. Kasperson. Equity, vulnerability and social justice. May 2001.
16. Salinger M.J. Desjardins R. Climate variability, fgiculture and forestry – fn updata . WMO\TD № 841. Geneva. 1977.-53p.
17. Тарко А.М. Парниковый эффект и климат. "Экология и жизнь" № 1' 2001
18. The international research institute for climate prediction. Linking science to society. Annual report 2000-2001
19. Virnani S.M. Relation between weather / climate and sustainable agricultural production and protection WMO/TD № 817. Geneva. 1977.-26p.

Приложение

Таблица 1 | Температура воздухаС⁰ модель ЕСНАМ4

		1	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	Ургенч	-1,5	0,7	6,6	15,5	22,9	28,4	29,9	26,1	20,0	13,9	3,4	0,4
2	ФЕРГАНА	1,4	3,6	8,6	16,5	20,8	26,6	28,7	25,7	21,7	14,7	6,3	2,8
3	Термез	1,1	2,3	8,6	15,3	21,8	26,9	29,0	26,5	21,5	14,5	5,6	3,8
4	Сырдарья	5,7	8,0	11,6	18,5	24,0	29,5	31,6	28,8	23,8	17,6	9,4	7,8
5	Каттакурган	3,5	4,8	9,6	16,4	22,0	27,7	29,9	27,1	22,9	15,0	7,4	6,8
6	Джизак	3,7	4,9	7,6	15,5	21,1	27,5	30,0	27,1	23,2	15,9	7,5	5,8
7	Гузар	3,3	4,4	7,7	17,2	23,2	28,9	30,8	28,0	23,3	16,1	6,6	4,9
8	Бухара	5,6	6,6	9,7	17,6	22,7	29,6	30,8	28,9	24,7	17,8	9,4	7,8

Таблица 2 | Температура воздухаС⁰ модель НадСМ2

		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	Ургенч	-2,3	-0,3	6,2	15,3	22,6	28,4	29,6	25,9	19,9	14,1	3,3	0,4
2	ФЕРГАНА	0,9	2,9	8,4	16,4	20,5	26,4	28,4	25,5	21,6	14,8	6,3	2,7
3	Термез	0,7	2,1	8,3	15,2	21,7	26,7	28,7	26,2	21,2	14,8	5,4	3,6
4	Сырдарья	5,1	7,2	11,4	18,4	23,7	29,4	31,3	28,6	23,6	17,7	9,3	7,7
5	Каттакурган	2,9	3,8	9,2	16,3	21,8	27,5	29,6	26,8	22,6	15,1	7,3	6,6
6	Джизак	3,1	4,2	7,4	15,4	20,7	27,3	29,7	26,9	23,0	16,0	7,3	5,7
7	Гузар	2,8	4,0	7,3	17,2	23,1	28,7	30,5	27,7	23,0	16,3	6,3	4,7
8	Бухара	4,9	5,8	9,2	17,4	22,6	29,4	30,5	28,6	24,6	17,9	9,3	7,7

Таблица 3 | Температура воздуха С⁰ базовый вариант среднеголетние

		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	Ургенч	-3	-1	6	15	22	28	29	25	19	13	3	0
2	ФЕРГАНА	0	2	8	16	20	26	28	25	21	14	6	2
3	Термез	0	1	8	15	21	26	28	25	20	14	5	3
4	Сырдарья	4	6	11	18	23	29	31	28	23	17	9	7
5	Каттакурган	2	3	9	16	21	27	29	26	22	14	7	6
6	Джизак	2	3	7	15	20	27	29	26	22	15	7	5
7	Гузар	2	3	7	17	22	28	30	27	22	15	6	4
8	Бухара	4	5	9	17	22	29	30	28	24	17	9	7

Таблица 4 | Осадки мм, модель ЕСНАМ4

		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	Ургенч	11,3	11,7	15,9	19,3	10,6	2,6	0,6	0,8	0,9	3,4	5,9	7,8
2	ФЕРГАНА	13,8	21,6	27,3	28,8	19,1	11,6	4,6	2,6	4,1	8,2	15,5	17,6
3	Термез	13,8	18,2	49,6	34,2	12,0	1,4	0,0	0,0	0,4	7,8	11,2	20,7
4	Сырдарья	37,3	49,3	59,8	51,8	33,6	6,6	1,2	0,6	8,4	9,2	26,7	43,3
5	Каттакурган	43,6	45,2	96,8	48,2	31,2	2,3	0,3	0,1	6,9	8,3	25,9	46,5
6	Джизак	52,6	53,8	90,9	55,8	35,3	10,2	0,2	0,0	13,4	8,2	32,3	35,0
7	Гузар	49,4	54,4	93,2	74,4	47,2	7,6	0,1	0,3	1,7	4,6	24,2	44,0
8	Бухара	10,3	18,4	33,8	26,0	28,8	2,1	0,1	0,0	1,2	1,9	13,6	15,2

Таблица 5 | Осадки мм, модель HadCM2

		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	Ургенч	11,7	11,5	16,6	19,4	10,5	2,6	0,7	0,8	1,0	3,9	6,9	8,4
2	ФЕРГАНА	14,3	22,0	28,1	30,0	20,7	12,9	5,7	3,0	5,2	10,1	15,1	17,6
3	Термез	13,3	18,4	49,7	33,9	12,4	1,4	0,0	0,0	0,4	9,9	11,0	19,5
4	Сырдарья	39,1	51,1	58,6	51,9	36,5	7,8	1,5	0,6	10,3	11,0	27,4	44,7
5	Каттакурган	43,3	44,7	93,7	46,8	31,6	2,3	0,3	0,1	8,0	9,6	27,3	46,1
6	Джизак	53,5	56,9	89,1	55,5	38,1	10,7	0,3	0,0	15,1	10,0	31,4	36,3
7	Гузар	47,1	55,0	94,8	72,1	48,3	7,3	0,1	0,3	2,1	5,2	23,7	43,9
8	Бухара	9,4	18,7	34,1	25,2	29,1	2,1	0,1	0,0	1,2	2,2	14,4	14,7

Таблица 6 | Осадки среднеголетние

		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	Ургенч	9,8	10,1	14,2	19,2	10,1	2,0	0,3	0,8	0,7	4,3	5,7	6,7
2	ФЕРГАНА	12,3	19,6	25,3	28,2	22,0	11,5	3,4	2,2	4,2	8,6	12,1	13,4
3	Термез	13,5	16,7	46,5	32,3	11,8	1,4	0,0	0,0	0,4	7,9	8,7	16,0
4	Сырдарья	36,2	43,4	50,2	47,7	35,3	7,5	0,9	0,6	8,2	10,1	21,9	34,7
5	Каттакурган	40,6	39,2	80,4	40,8	30,8	1,7	0,2	0,1	5,7	8,5	22,1	36,5
6	Джизак	51,6	49,3	76,3	51,8	38,3	9,5	0,2	0,0	10,6	8,7	25,1	30,3
7	Гузар	46,4	47,7	80,6	65,0	51,0	5,3	0,1	0,3	1,6	5,1	18,7	37,5
8	Бухара	9,6	16,4	29,5	22,2	26,3	2,1	0,1	0,0	1,2	2,1	12,9	11,5

Таблица 7 | Расчет водопотребления по программе CROPWAT

Базовый					Базовый					Базовый				
	Date	Eto	Etm	WR		Date	Eto	Etm	WR		Date	Eto	Etm	WR
Скороспелые	03.апр	34,2	11,97	0,00	Средне спелые	03.апр	34,20	11,97	0,00	Поздне спелые	03.апр	34,20	11,97	0,00
	13.апр	39,79	13,93	0,00		13.апр	39,79	13,93	0,00		13.апр	39,79	13,93	0,00
	23.апр	45,21	15,82	0,80		23.апр	45,21	15,82	0,80		23.апр	45,21	15,82	0,80
	03.май	50,28	17,6	4,62		03.май	50,28	17,60	4,62		03.май	50,28	17,60	4,62
	13.май	54,84	19,19	8,79		13.май	54,84	19,19	8,79		13.май	54,84	19,19	8,79
	23.май	58,75	20,56	13,54		23.май	58,75	20,56	13,54		23.май	58,75	20,56	13,54
	02.июн	61,89	28,49	26,88		02.июн	61,89	26,80	25,19		02.июн	61,89	22,73	21,12
	12.июн	64,16	48,8	48,80		12.июн	64,16	46,01	46,01		12.июн	64,16	37,95	37,95
	22.июн	65,49	69,67	69,67		22.июн	65,49	66,14	66,14		22.июн	65,49	57,27	57,27
	02.июл	65,85	79,02	79,02		02.июл	65,85	78,83	78,83		02.июл	65,85	75,10	75,10
	12.июл	65,22	78,26	78,26		12.июл	65,22	78,26	78,26		12.июл	65,22	78,26	78,26
	22.июл	63,62	76,35	76,35		22.июл	63,62	76,35	76,35		22.июл	63,62	76,35	76,35
01.авг	61,11	73,33	73,33	01.авг	61,11	73,33	73,33	01.авг	61,11	73,33	73,33			
11.авг	57,76	67,27	67,27	11.авг	57,76	69,32	69,32	11.авг	57,76	69,32	69,32			
Итого		788,17	620,26	547,33	Итого		788,17	614,11	541,18	Итого		788,17	589,38	516,45
HadCM2					HadCM2					HadCM2				
	Date	Eto	Etm	WR		Date	Eto	Etm	WR		Date	Eto	Etm	WR
Скороспелые	01.апр	33,66	11,78	0,00	Средне спелые	01.апр	33,66	11,78	0,00	Поздне спелые	01.апр	33,66	11,78	0,00
	11.апр	39,43	13,8	0,00		11.апр	39,43	13,80	0,00		11.апр	39,43	13,80	0,00
	21.апр	45,07	15,77	0,00		21.апр	45,07	15,77	0,00		21.апр	45,07	15,77	0,00
	01.май	50,39	17,64	4,06		01.май	45,07	15,77	0,00		01.май	50,39	17,64	4,06
	11.май	55,24	19,33	8,70		11.май	55,24	19,33	8,70		11.май	55,24	19,33	8,70
	21.май	59,44	22,58	15,18		21.май	59,44	20,98	13,58		21.май	59,44	20,80	13,40
	31.май	62,87	39,59	36,82		31.май	62,87	33,66	30,89		31.май	62,87	27,05	24,29
	10.июн	65,43	60,35	60,35		10.июн	65,43	53,54	53,54		10.июн	65,43	46,12	46,12
	20.июн	67,04	78,49	78,49		20.июн	67,04	73,63	73,63		20.июн	67,04	66,23	66,23
	30.июн	67,64	81,17	81,17		30.июн	67,64	81,17	81,17		30.июн	67,64	80,60	80,60
	10.июл	67,23	80,68	80,68		10.июл	67,23	80,68	80,68		10.июл	67,23	80,68	80,68
	20.июл	65,82	78,98	78,98		20.июл	65,82	78,98	78,98		20.июл	65,82	78,98	78,98
30.июл	63,45	75,2	75,20	30.июл	63,45	76,13	76,13	30.июл	63,45	76,13	76,13			
09.авг	60,19	65,94	65,94	09.авг	60,19	70,98	70,98	09.авг	60,19	72,23	72,23			
Итого		802,9	661,3	585,57	Итого		797,58	646,20	568,28	Итого		802,90	627,14	551,42

ЕЧАМ4	Date	Eto	Etm	WR	ЕЧАМ4	Date	Eto	Etm	WR	ЕЧАМ4	Date	Eto	Etm	WR
Скороспелые	01.апр	33,97	11,89	0,00	Средне спелые	01.апр	33,97	11,89	0,00	Поздне спелые	01.апр	33,97	11,89	0,00
	11.апр	39,76	13,92	0,00		11.апр	39,76	13,92	0,00		11.апр	39,76	13,92	0,00
	21.апр	45,42	15,9	0,00		21.апр	45,42	15,90	0,00		21.апр	45,42	15,90	0,00
	01.май	50,76	17,77	4,70		01.май	50,76	17,77	4,70		01.май	50,76	17,77	4,70
	11.май	55,61	19,46	9,68		11.май	55,61	19,46	9,68		11.май	55,61	19,46	9,68
	21.май	59,82	23,62	17,16		21.май	59,82	21,46	15,00		21.май	59,82	21,46	14,48
	31.май	63,26	41,68	39,19		31.май	63,26	35,65	33,16		31.май	63,26	35,65	26,16
	10.июн	65,82	62,63	62,63		10.июн	65,82	55,72	55,72		10.июн	65,82	55,72	48,26
	20.июн	67,42	79,72	79,72		20.июн	67,42	75,57	75,57		20.июн	67,42	75,57	68,51
	30.июн	68,01	81,61	81,61		30.июн	68,01	81,61	81,61		30.июн	68,01	81,61	81,42
	10.июл	67,58	81,09	81,09		10.июл	67,58	81,09	81,09		10.июл	67,58	81,09	81,09
	20.июл	66,14	79,37	79,37		20.июл	66,14	79,37	79,37		20.июл	66,14	79,37	79,37
	30.июл	63,74	74,73	74,73		30.июл	63,74	76,49	76,49		30.июл	63,74	76,49	76,49
	09.авг	60,46	65,02	65,02		09.авг	60,46	70,40	70,40		09.авг	60,46	70,40	72,55
Итого	807,77	668,41	594,90	Итого	807,77	656,30	582,79	Итого	807,77	656,30	562,71			

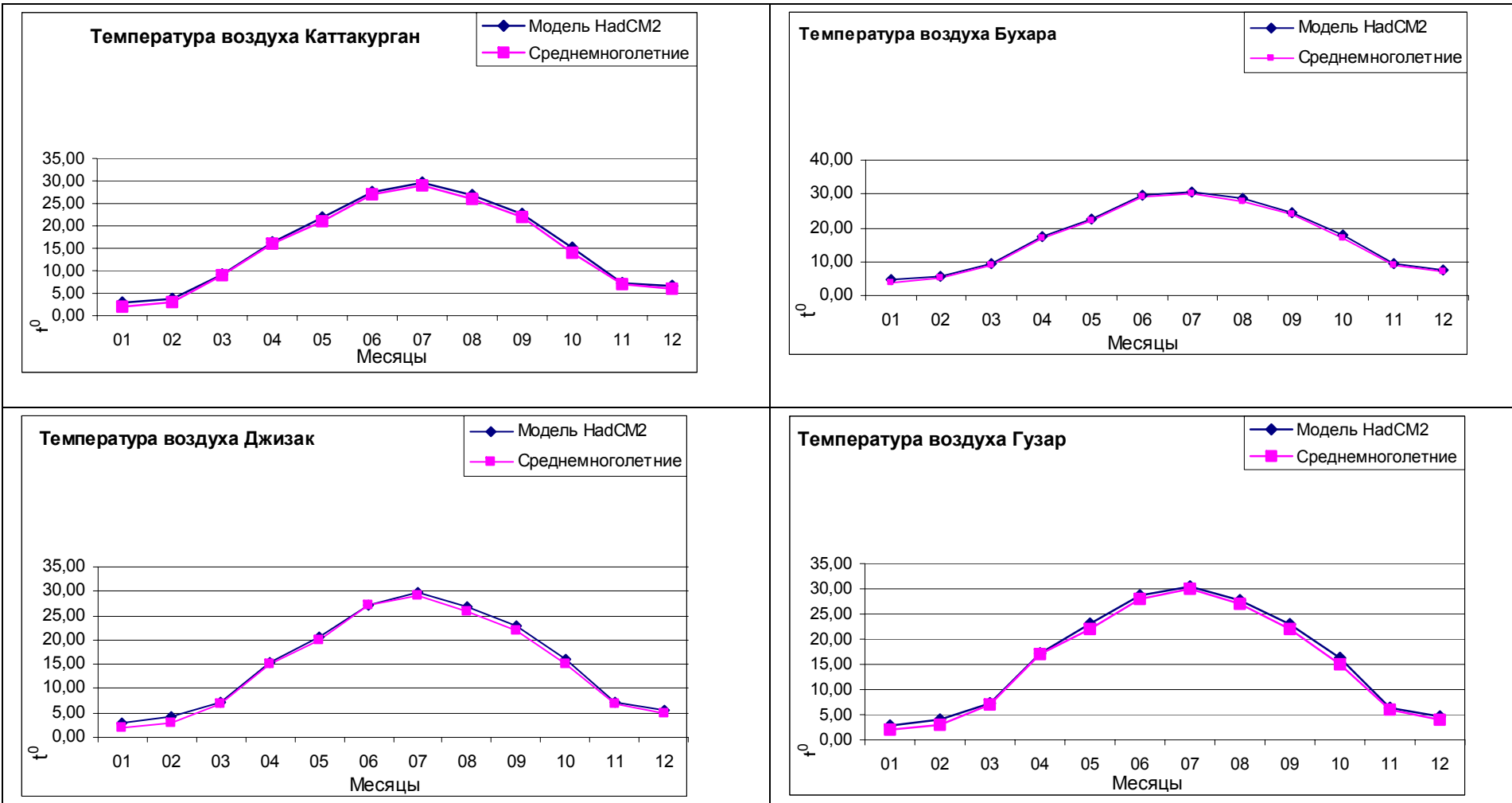


Рис. 1 | Температура воздуха

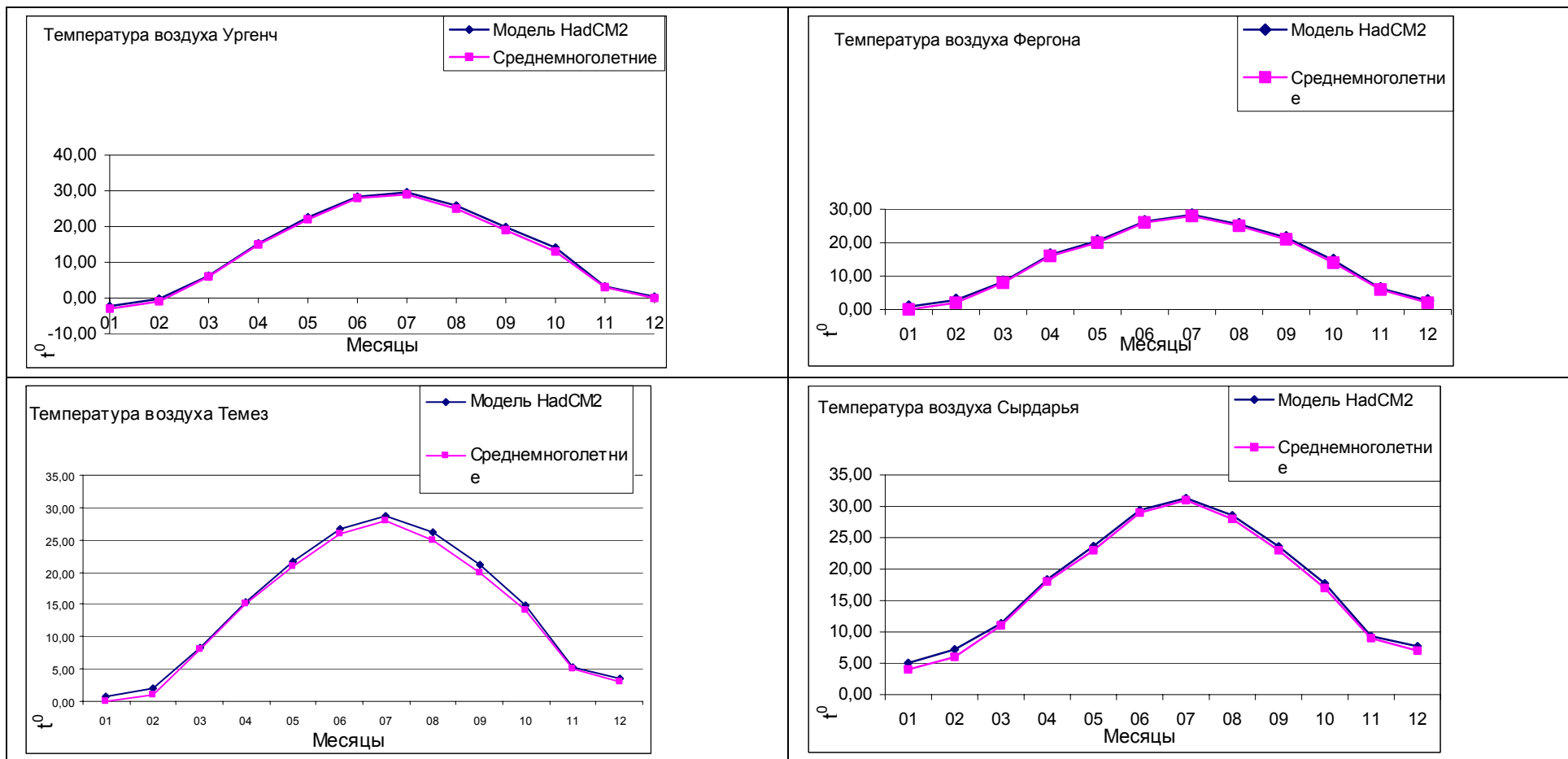


Рис. 2 | Температура воздуха

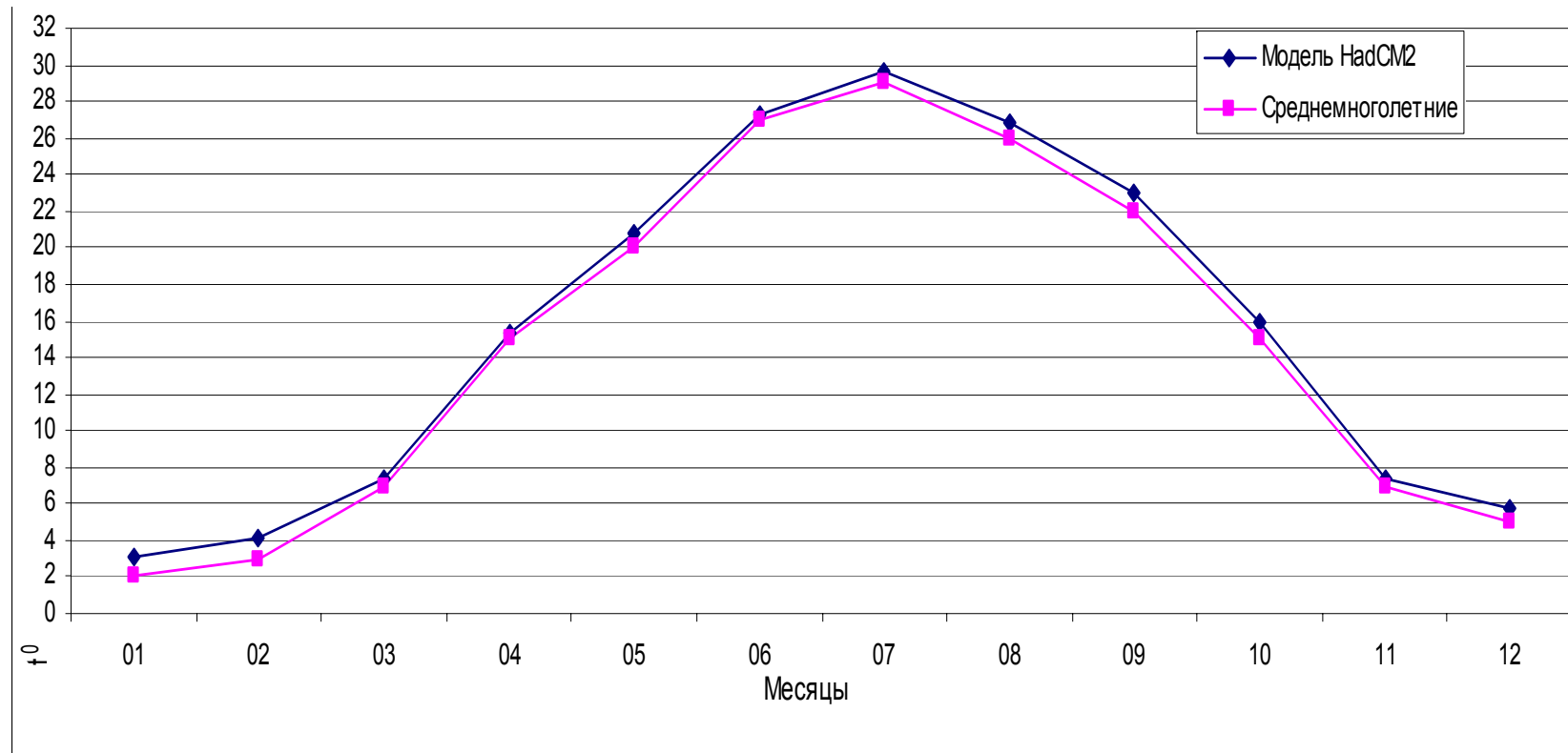


Рис. 3 | Температура воздуха, метеостанция Джизак

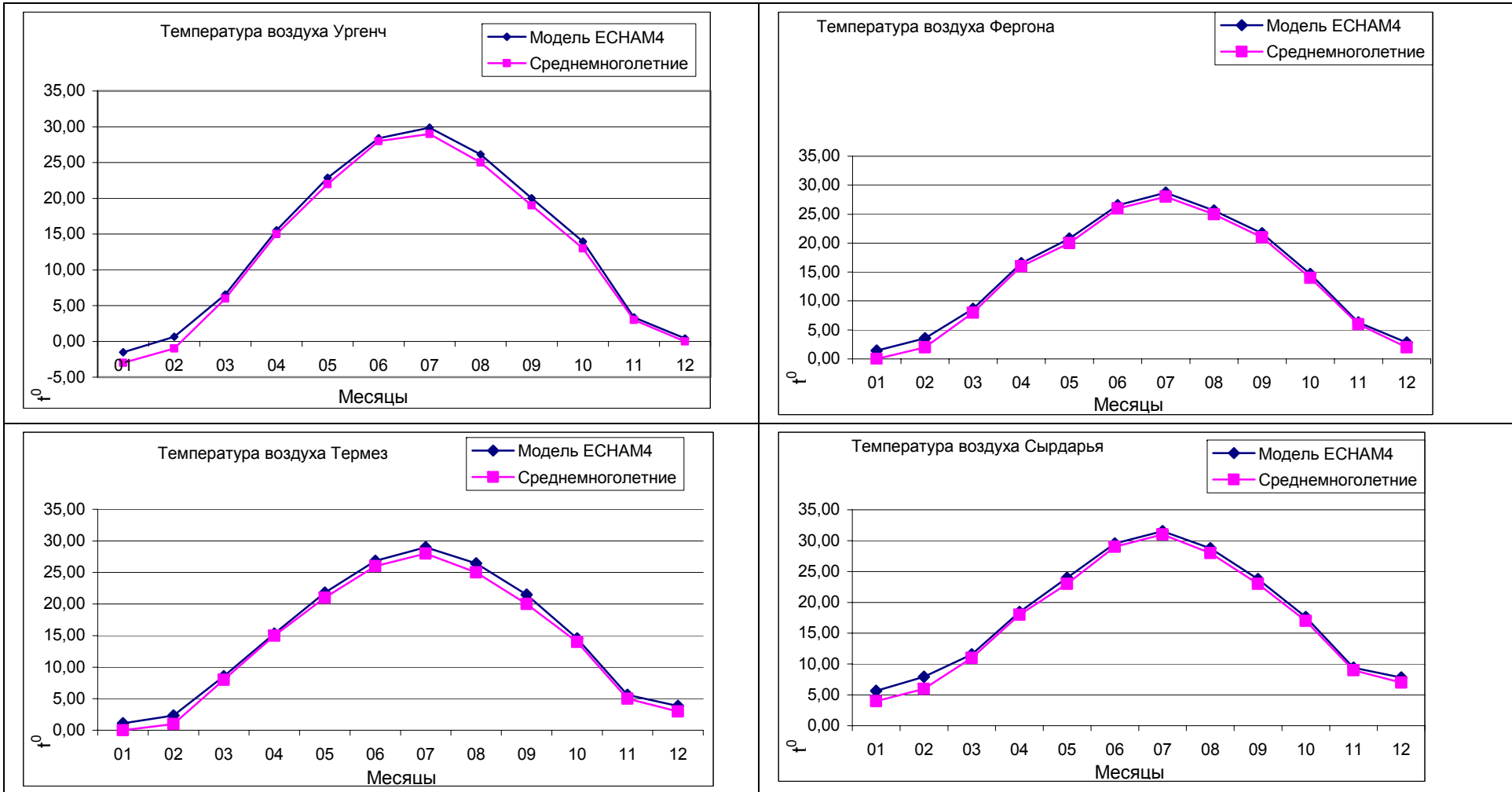


Рис. 4 | Температура воздуха

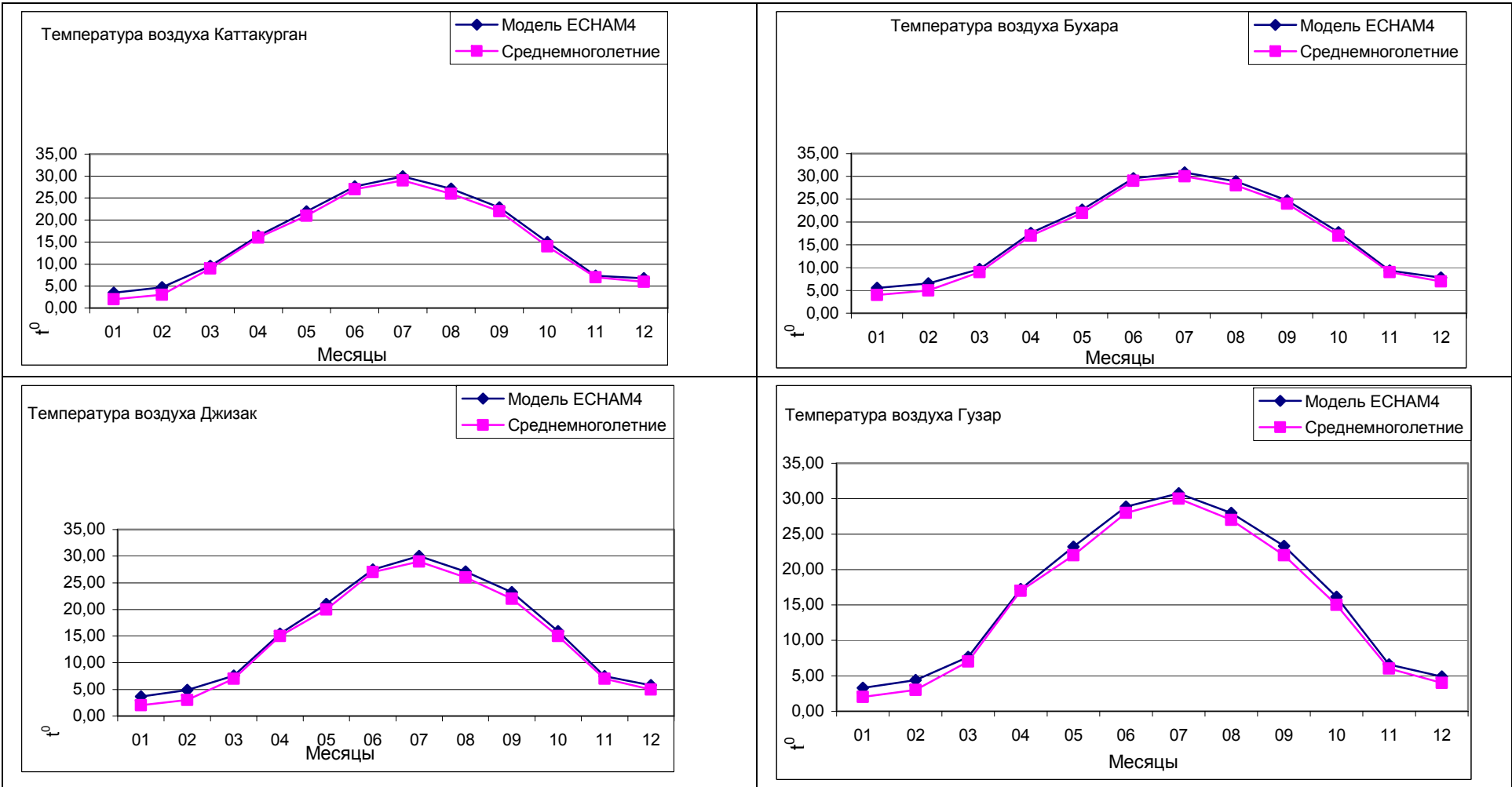


Рис. 5 | Температура воздуха

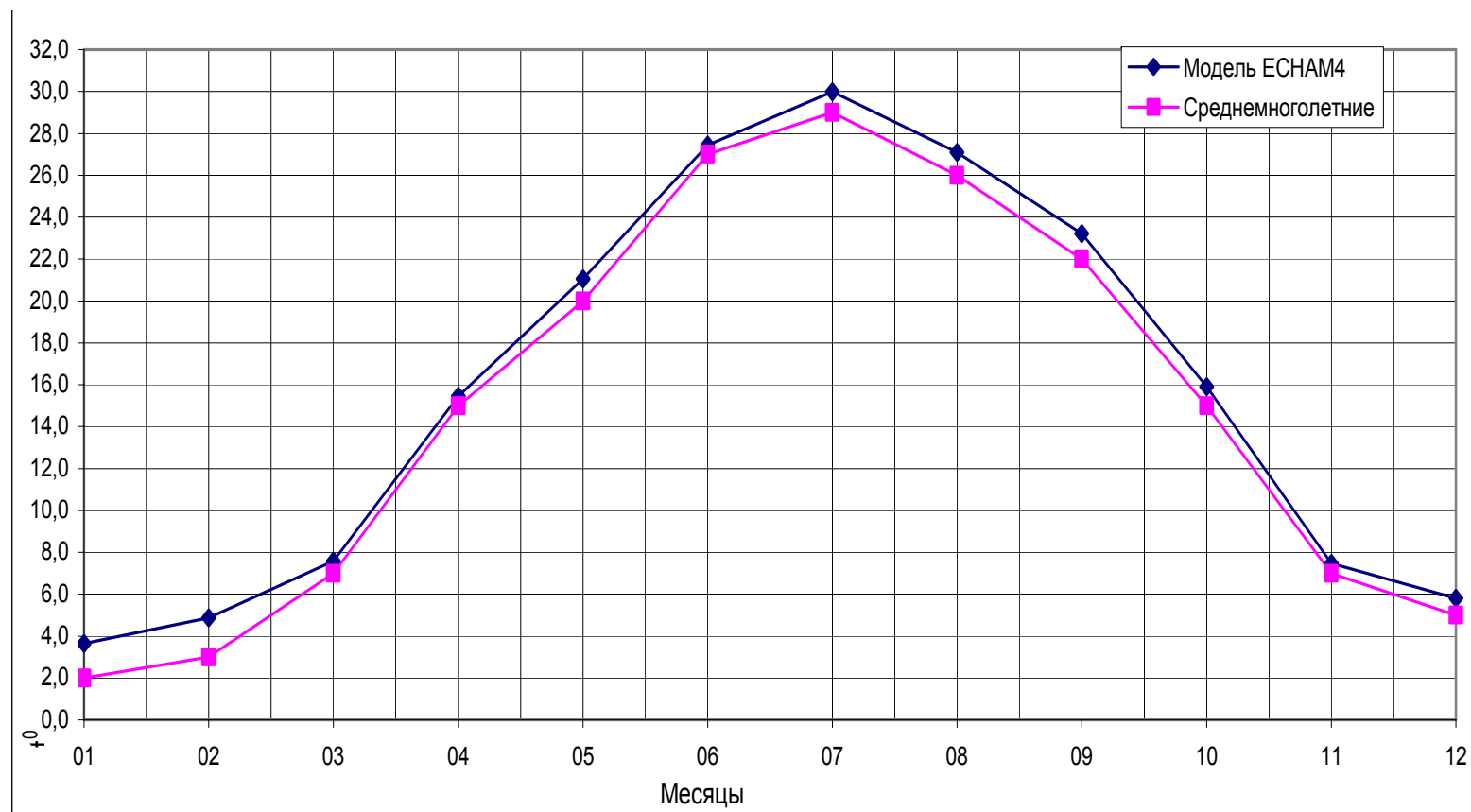


Рис. 6 | Температура воздуха, метеостанция "Джизак"

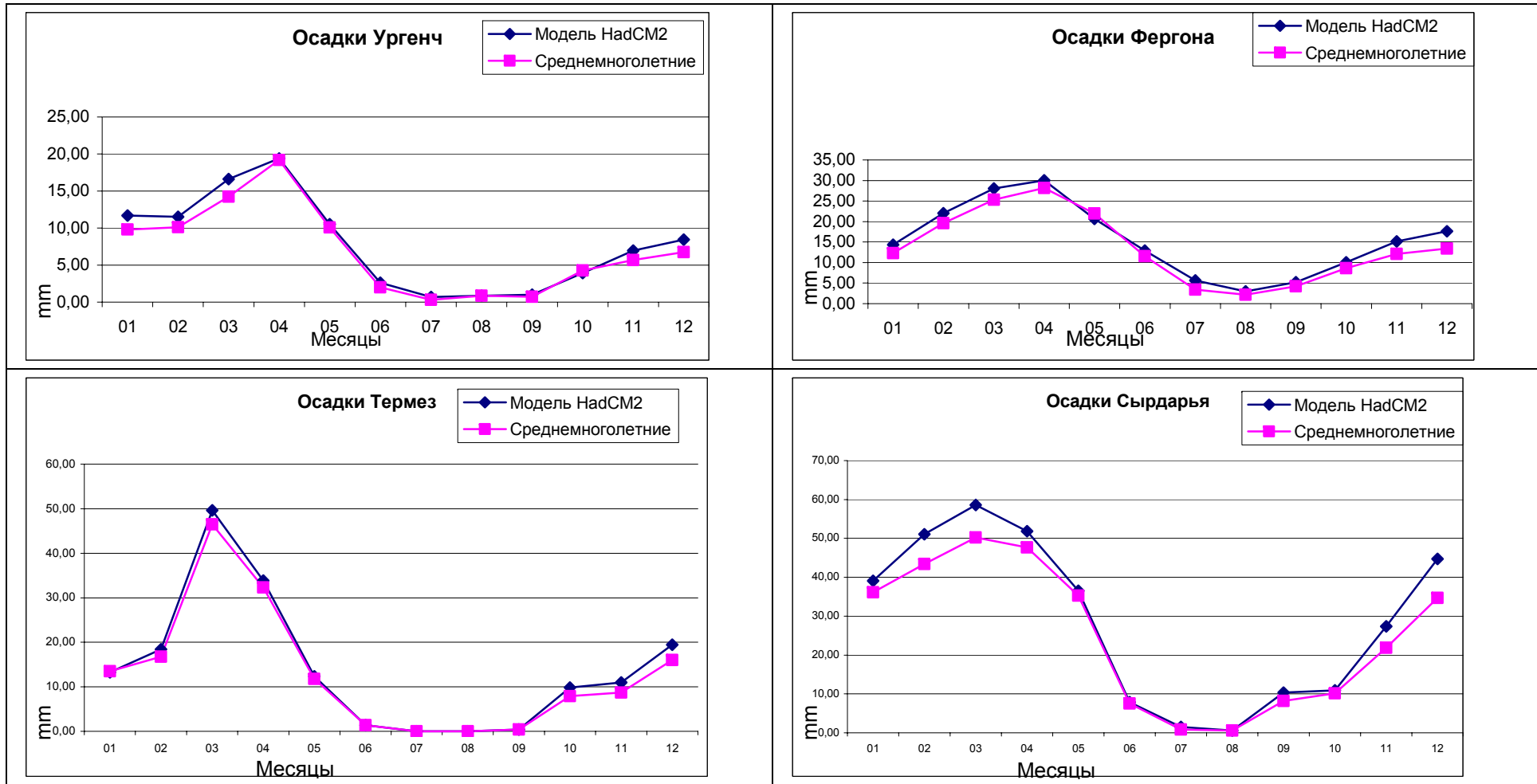


Рис. 7 | Данные по осадкам

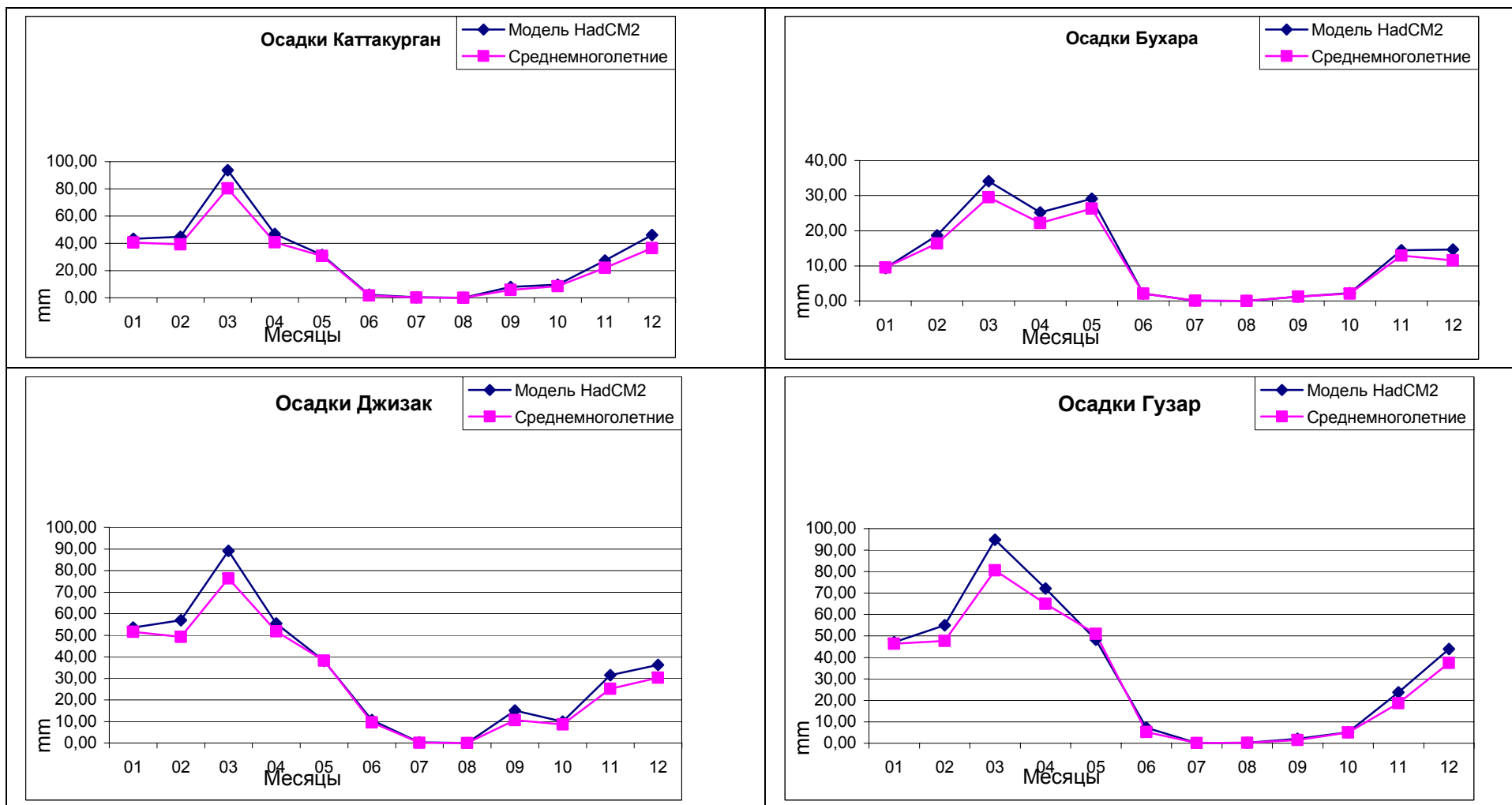


Рис. 8 | Данные по осадкам

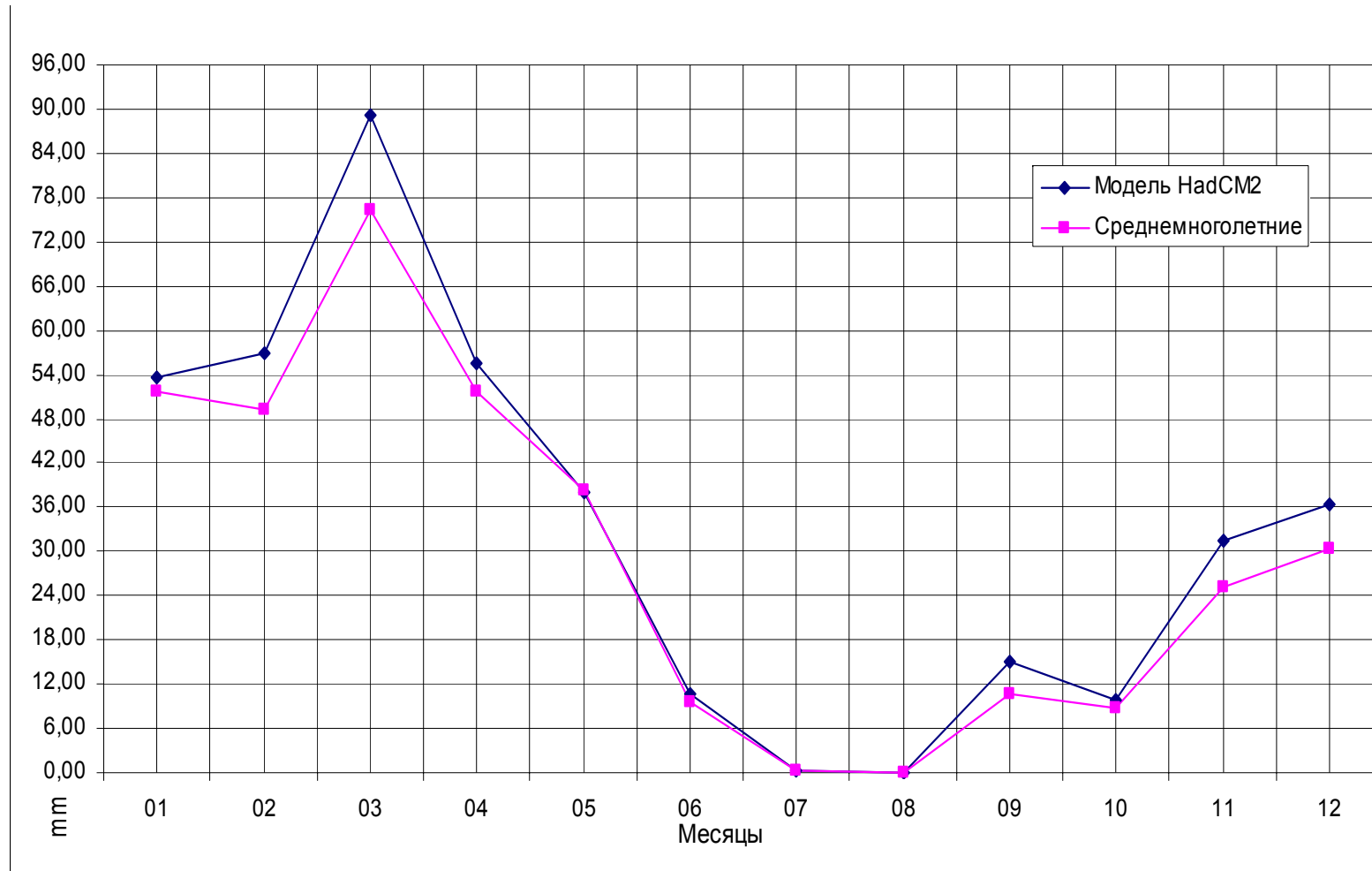


Рис. 9 | Осадки метеостанции Джизак

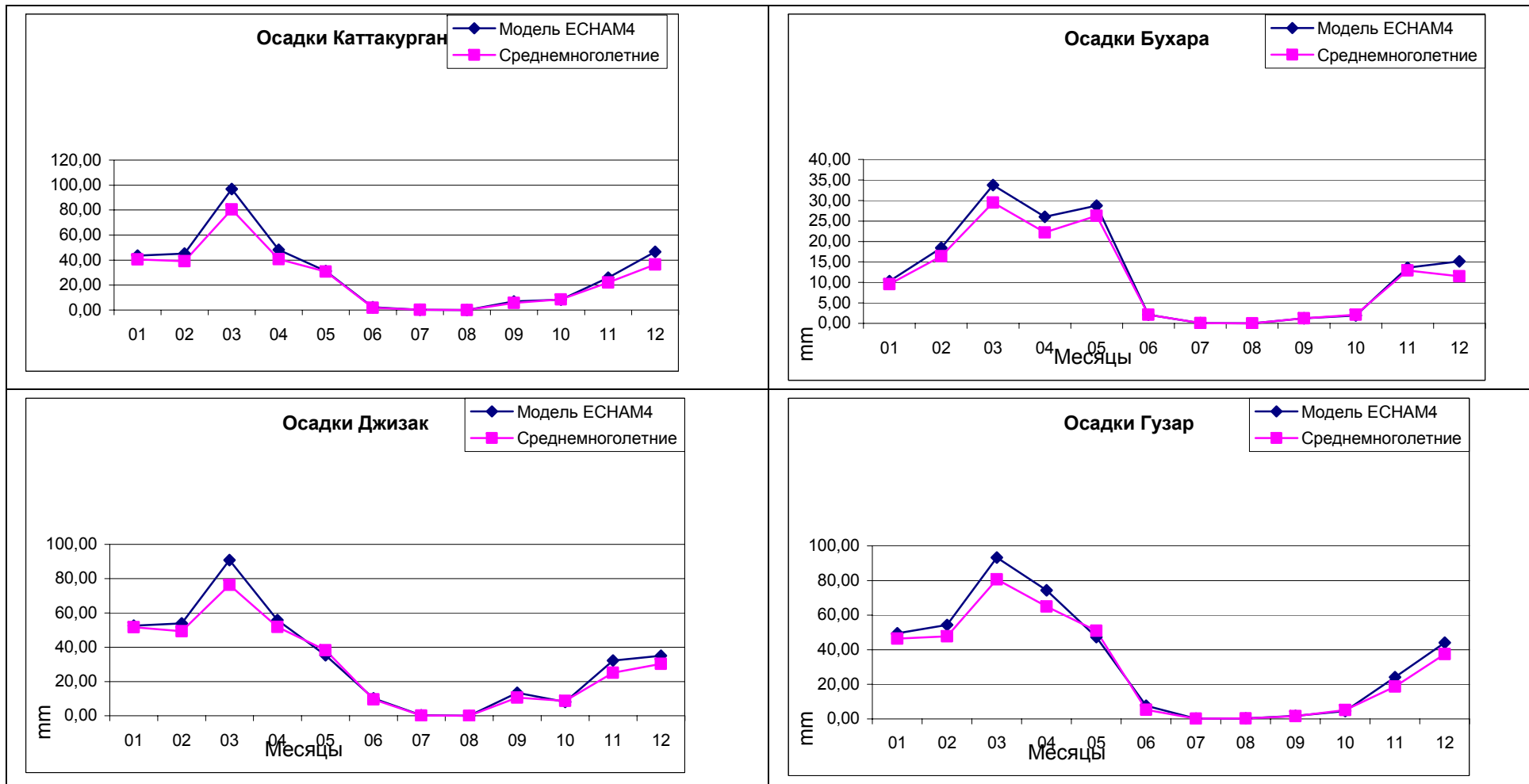


Рис. 10 | Данные по осадкам

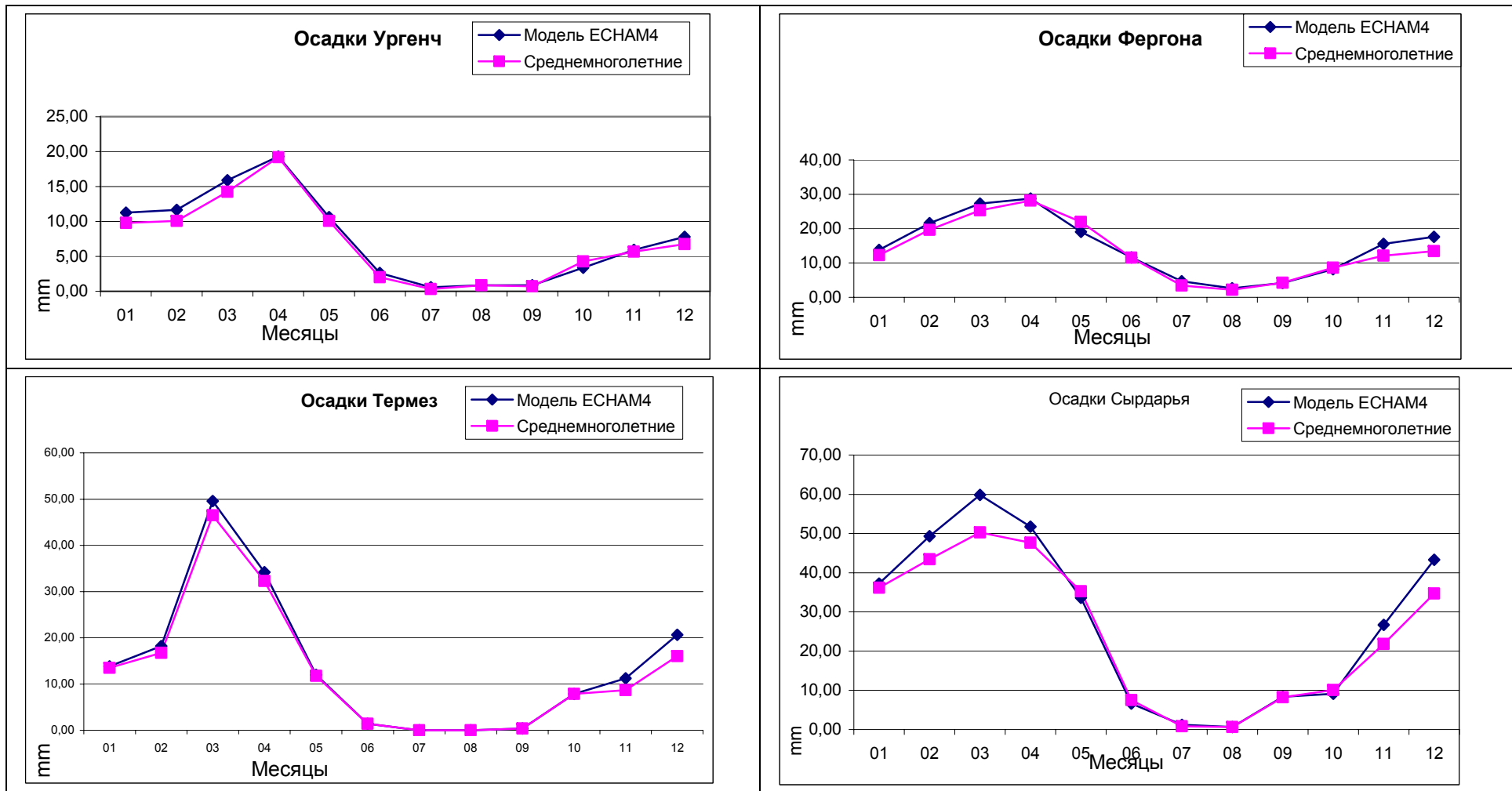


Рис. 11 | Данные по осадкам

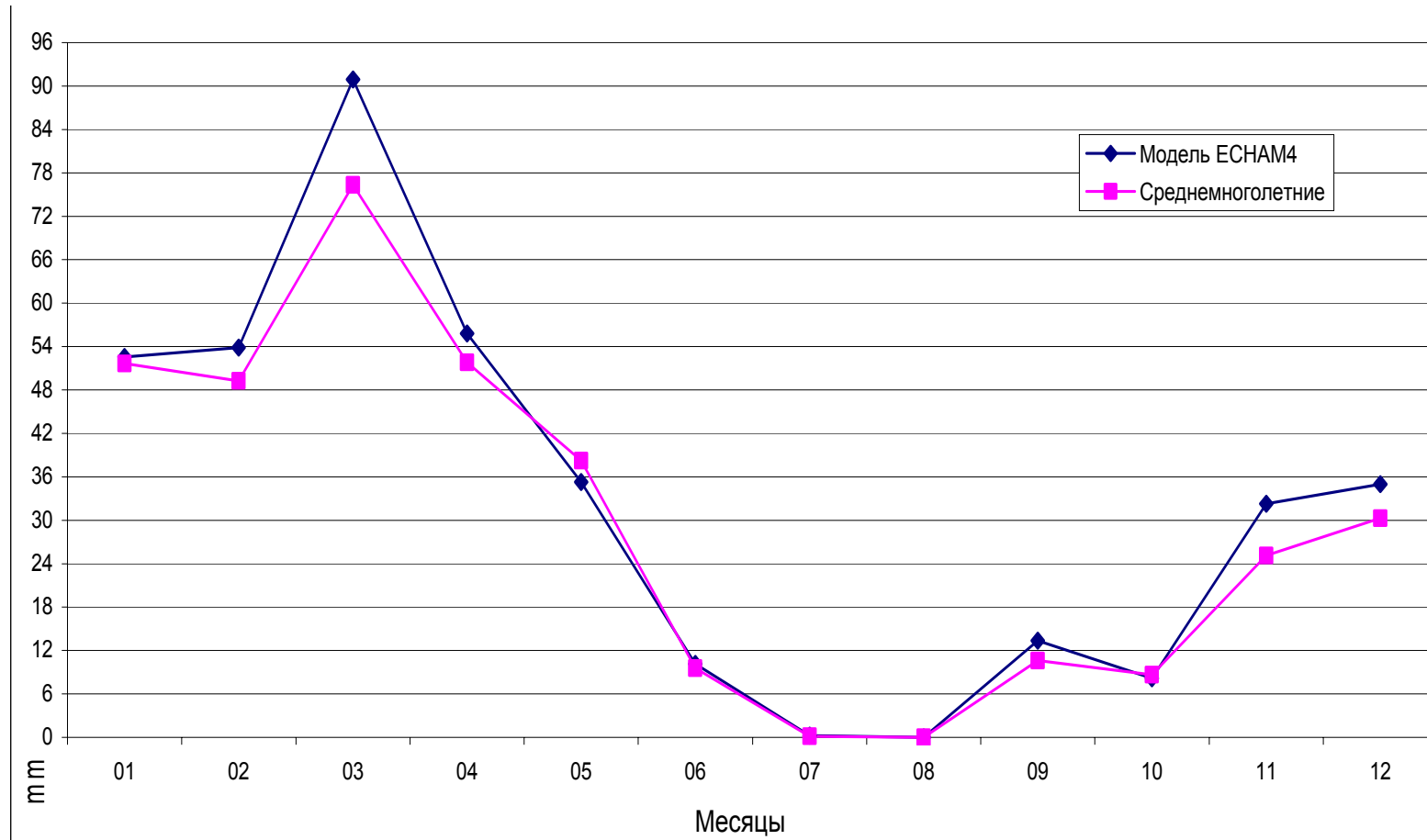


Рис. 12 | Осадки метеостанции Джизак

Таблица 8 | Снижение урожая хлопчатника (%) в зависимости от возможного увеличения количества дней с $t \geq 39^\circ\text{C}$ в июле – августе (в 1-3 раза)

Группа областей	Среднее число дней с $t \geq 39^\circ\text{C}$	Потери урожая (%)				
		1,0	1,5	2,0	2,5	$\geq 3,0$
Бухарская, Кашкадарьинская, Сурхандарьинская, Ташкентская	16 27 32 5	0	9	15	20	22
Каракалпакстан, Хорезмская, Самаркандская, Сырдарьинская, Андижанская, Наманганская, Ферганская, Джизакская	12 11 4 4 3 5 2 6	0	0	4	6	8

Таблица 9 | Снижение урожая овощных культур ($\Delta Y, \%$) в зависимости от числа дней с температурой выше определенных пределов (N)

Группа областей	Раннеспелые		Среднеспелые		Позднеспелые		
	N	ΔY	N	ΔY	N	ΔY	
Помидоры ($t=35-40^\circ\text{C}$)							
1	Ташкентская, Наманганская, Сырдарьинская, Каракалпакстан, Джизакская	10 20 30 40	10 18 27 37	10 20 30 40 50	12 20 30 40 46	10 30 40 50 60	15 23 30 38 45
2	Сурхандарьинская, Бухарская, Хорезмская	30 40 50 60 70	10 20 30 38 45	30 40 50 60 70	10 21 30 37 42	30 40 50 60 70 80	11 23 30 36 45 50
Капуста ($t > 25^\circ\text{C}$)							
1	Ташкентская, Наманганская, Сырдарьинская, Каракалпакстан, Джизакская	10 20 30 40 50	11 20 30 40 45	30 40 50 60 70 80 90	12 21 27 35 40 45 50	10 20 30 40 50 60 70	6 12/15 20/22 30/33 40/41 45/50 50/56

Примечание. В знаменателе дано снижение урожая для второй группы областей (Бухарской, Хорезмской, Сурхандарьинской)

Таблица 10 | Снижение урожая бахчевых культур (%) в зависимости от числа дней с температурой выше 40°C(N)

Область	Раннеспелые		Среднеспелые		Позднеспелые	
	N	снижение, (%)	N	снижение, (%)	N	снижение, (%)
Арбузы						
Ташкентская,	5	13	5	11	5	14
Наманганская,	10	20	10	21	10	21
Сырдарьинская,	15	30	15	30	15	32
Каракалпакстан,	5	10	5	10	5	12
Сурхандарьинская,	10	20	10	20	10	13
Бухарская,	15	31	15	30	15	26
Хорезмская	20	38	20	35	20	35
Дыни						
Ташкентская,	5	12	5	10	5	18
Наманганская,	10	20	10	18	10	16
Сырдарьинская,	15	30	15	25	15	24
Каракалпакстан,	5	9	5	10	5	12
Сурхандарьинская,	10	21	10	18	10	20
Бухарская,	15	30	15	29	15	25
Хорезмская	20	36	20	35	20	30

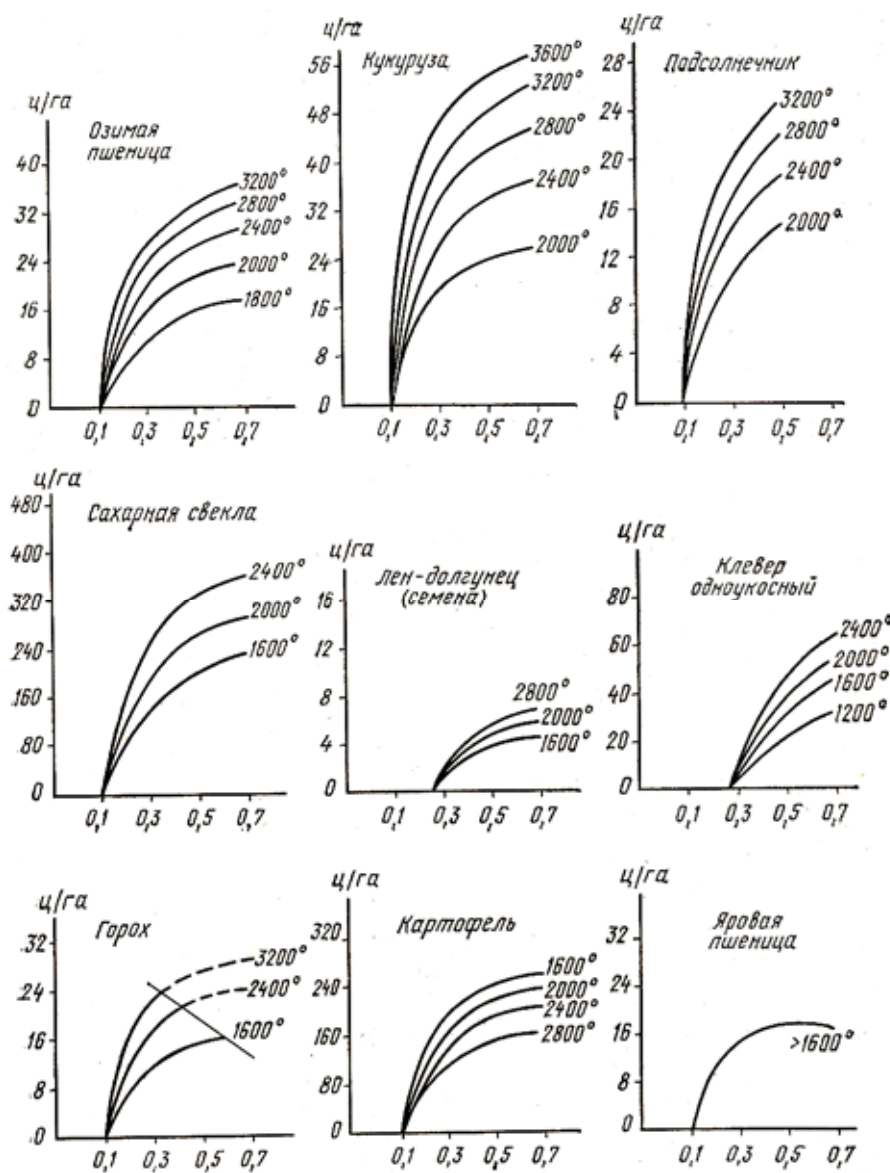


Рис. 13 | Связь урожая с влагообеспеченностью по температурным полум (Σt°>10°)

На оси ординат – урожайность, ц/га; на оси абсцисс – показатель увлажнения Md, по данным Госсортосети

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ БАССЕЙНОВ РЕК АМУДАРЬЯ И СЫРДАРЬЯ ПО ВАРИАНТАМ РАЗВИТИЯ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

А.Г. Сорокин, А.С. Никулин, Д.А. Сорокин

В представленных ниже результатах моделирования на модели управления бассейном Аральского моря (ASBMM) по оценке будущего распределения и использования водных ресурсов в регионе на основе прогноза климатических изменений и различных сценариев развития стран Центральной Азии (период 20 лет) освещаются вопросы:

- Анализ влияния изменений климата на формирование водных ресурсов и водопотребление в бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи.
- Моделирование режимов формирования и распределения трансграничного стока рек бассейнов Амударьи и Сырдарьи между странами и Приаральем. Учет климатических изменений.
- Анализ результатов численных расчетов по 20 летнему ряду. Оценка изменения притока воды в Приаралье по рекам Амударья и Сырдарья для выбранного климатического сценария и вариантов развития региона.

1. Анализ влияния изменений климата на формирование водных ресурсов и водопотребление в бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи

Влияние изменения климата на характер функционирования водохозяйственных систем бассейнов Амударьи и Сырдарьи может проявляться как через изменение условий формирования водных ресурсов, так и через изменение режима водопотребления. Данные процессы имеют взаимосвязь и во многом будут определять условия будущего развития региона.

Целью наших исследований является оценка возможных изменений в формировании водных ресурсов и водопотреблении на ближайшую перспективу (20 лет), которая не рассматривается нами как прогноз, поскольку оценка самих климатических условий будущего носит ориентировочный характер.

1.1 Влияние климата на формирование водных ресурсов бассейнов рек Амударьи и Сырдарьи

По данным экспертов [1, 2, 5] основными причинами изменений режимов естественных водных ресурсов бассейнов рек Сырдарьи и Амударьи на перспективу, вызываемых ожидаемым потеплением климата, являются тенденции увеличения температуры воздуха и изменения осадков (твердые, жидких). Важным фактором формирования стока рек ледниково-снегового и снегово-ледникового питания является состояние ледников и их реакция на изменение климатических параметров (имеющая инерционный характер).

При оценке влияния климатических факторов на формирование водных ресурсов существенное значение играет тип питания рек. Можно отметить следующие особенности.

Река Нарын может быть отнесена к рекам ледниково-снегового питания. Значительна доля ледниково-снегового питания реки Зеравшан. В питании основных притоков Амударьи – Вахша и Пянджа преобладает сток за счет таяния высокогорных снегов и ледников. Притоки Амударьи – Кафирниган и Сурхандарья относятся к рекам снегово-ледникового питания, но с более выраженной снеговой составляющей и более ранним сосредоточением паводка по сравнению с реками Пяндж и Вахш. Река Карадарья относится к рекам снегово-ледникового питания, однако роль ледников и снежников в формировании ее стока существенна только для части ее притоков (Каракульджа, Тар). В формировании притоков в Чарвакское и Андижанское водохранилища заметную роль

играют талые воды нижних ярусов и дожди. Река Ахангаран относится к рекам снегово-дождевого питания.

По рекомендациям САНИГМИ [1] в качестве основных климатических сценариев, используемых при оценочных расчетах изменения стока рек в бассейнах Сырдарьи и Амударьи, следует признать три сценария: (1) сценарий, рассчитанный по модели ICHAM4 (Germany, Max Planck Institute), (2) сценарий, рассчитанный по модели HadCM2, являющейся второй версией модели UKMO (UK, Hadley Centre), (3) региональный сценарий (IS92ab).

Согласно данным сценариям реки бассейнов Сырдарьи и Амударьи характеризуются на ближайшую перспективу (20 лет) как тенденциями к незначительному увеличению стока, так и уменьшению. Анализ данных показывает, что в целом по региону на ближайшую перспективу значительных изменений речного стока не произойдет, можно ожидать изменение межгодового колебания стока, при незначительном уменьшении нормы (не более чем на 10%). С потеплением ожидается изменение вклада составляющих формирования стока рек – увеличение ледниковой и дождевой, уменьшение талой снеговой. Ожидается сдвиг начала таяния снежного покрова.

Следует отметить, что существующие в научной литературе оценки влияния изменения климата на формирование водных ресурсов региона Центральной Азии часто публикуются в порядке обсуждения. К таким оценкам можно отнести работу Е.Г.Иванова и др. [5] посвященную бассейну р. Сырдарьи. Данная работа интересна с методической точки зрения и дает некоторые ориентиры по изменению нормы стока на 2020 год для рек Нарын (приток к Токтогульскому водохранилищу), Карадарья (приток к Андижанскому водохранилищу), Чирчик (приток к Чарвакскому водохранилищу), то есть точно по схеме, используемой нами при моделировании процессов формирования и распределения стока в бассейне Сырдарьи (модель ASBMM).

Приведем некоторые данные из этой работы и используем их для ориентировочных расчетов по оценке водных ресурсов бассейна Сырдарьи на перспективу (2020 год). В таблице 1 приводятся оценки среднего многолетнего стока рек бассейна (км³/год) на уровни 2000 и 2020 годов, а также процент уменьшения стока к 2020 году по сравнению с 2000 годом.

Таблица 1 | Стока рек бассейна Сырдарьи (км³/год) на расчетные уровни 2000 и 2020 гг. [5]

Приток по рекам в водохранилища	2000 год	2020 год	% уменьшения
Токтогульское	10,1	7,35	28
Андижанское	3,12	2,03	35
Чарвакское	5,52	4,50	18

Если учесть, что температура воздуха (t^0) по данной оценке [5] возрастает с 2000 года по 2020 год для бассейна реки Нарын на $0,8^0$, для бассейна реки Карадарья на $0,7^0$, для бассейна реки Чирчик на $0,7^0$, то можно рассчитать значения градиентов падения норм стока на 1 градус. Градиенты падения стока рек (в % уменьшения стока на 1^0 роста температуры воздуха) составят: для бассейна Нарына 35%, для бассейна Карадарья 50%, для бассейна Чирчика 36%, а в целом по бассейну Сырдарьи 35%.

Данные градиенты были использованы для переноса климатических тенденций регионального сценария (IS92ab) на изменение водности рек бассейна Сырдарьи (табл. 2).

Таким образом, по данной оценке к 2020 году следует ожидать уменьшение норм годового стока основных рек бассейна Сырдарьи в размере $2,2 \text{ км}^3$. Сравнение таблиц 1 и 2 показывает, что результаты наших расчетов отличаются от оценки, опубликованной в работе [5] и дают более низкие значения речного стока. К сожалению, выполнить подобные ориентировочные расчеты для бассейна Амударьи из-за отсутствия данных не представляется возможным.

Таблица 2 | Оценка годового стока рек бассейна Сырдарьи на уровне 2020 года

Показатель	Нарын	Карадарья	Чирчик
Увеличение температуры воздуха с 2000 по 2020 год по сценарию IS92ab (в градусах)	0.4	0.4	0.1
Градиенты падения норм на 1 градус (в % уменьшения стока)	35	50	36
Уменьшение норм годового стока с 2000 по 2020 год (в % от нормы)	14	20	4
Годовой сток рек на уровне 2000 года (км ³ /год) [5]	10.1	3.1	5.5
Уменьшение годового стока рек с 2000 по 2020 год (км ³ /год)	1.4	0.6	0.2
Годовой сток рек на уровне 2020 года (км ³ /год)	8.7	2.5	5.3

Следует отметить, что рассматриваемые оценки имеют ряд недостатков. Главная из них – оценка изменения стока дается только на момент времени к концу расчетного периода (2020 год), вопрос о динамике стока за 2000–2020 годы остается открытым. Предикторами перспективных гидрологических изменений выступает в основном лишь температура воздуха.

В разделе 2 описывается подход НИЦ МКВК к решению данной задачи, основанный на комплексном применении концепции цикличности колебаний гидрологических рядов, учитывающих климатические изменения.

1.2. Влияние климата на формирование водопотребления

Предмет исследований – оценка влияния изменчивости температуры воздуха и атмосферных осадков на показатели водопотребления в бассейнах рек Сырдарья и Амударья. В качестве показателей водопотребления, изменяющихся под воздействием климатических факторов, рассматриваются оросительные нормы и соответствующие им требуемые объемы водозабора на орошение.

Данные показатели используются в социально-экономической модели комплекса ASBMM [3] и наряду с требованиями на воду других отраслей, формируют суммарный требуемый водозабор для каждой страны региона, в том числе из трансграничных рек. Последняя составляющая взаимосвязана с гидрологической моделью ASBMM [6, 7] и корректируется (урезается) в зависимости от располагаемых водных ресурсов, которые в свою очередь также зависят от изменчивости температуры воздуха и атмосферных осадков.

В тоже время, потребный водозабор на перспективу определяется социально-экономическими показателями, которые планирует достичь каждое государство. Они непосредственно связаны (для сельскохозяйственного сектора) с планируемыми величинами площадей орошения и урожайностью культур, которая является функцией водообеспечения (подачи воды по нормам), а также той же температуры воздуха и атмосферных осадков.

Такое взаимодействие показателей, оценивающих формирование стока и его распределение по требованиям, позволяет подойти к управлению водными ресурсами в комплексе, когда речная сеть и водохозяйственные районы рассматриваются как единое целое, исключая грубые ошибки при оценочных расчетах на перспективу.

Можно утверждать, что растения в состоянии жить только в определенных пределах температуры и влажности воздуха. Вызываемое потеплением увеличение продолжительности вегетационного периода для большинства районов региона может привести к улучшению условий формирования, роста и созревания, прежде всего, хлопчатника и росту его урожайности. В тоже время для некоторых районов рост температуры (при отсутствии достаточных осадков) может привести к снижению влажности воздуха и увяданию растений. Чрезмерные осадки также могут уменьшить урожайность культур, поскольку высокая влажность воздуха приводит к замедлению роста растений. С изменением температуры воздуха и осадков изменятся оросительные нормы сельхозкультуры.

Рост температуры воздуха может привести к росту норм, а увеличение осадков – к их уменьшению. Все будет зависеть от величин изменения температуры воздуха и осадков, их соотношения и территориального распределения.

Для оценочных исследований влияния изменения климата на урожайность сельскохозяйственных культур и оросительные нормы необходимо специальное моделирование данных процессов. Но поскольку в рамках данного проекта такие работы не предусмотрены, оценка выполнена по ранее проведенным исследованиям [2, 4, 5]. Основу оценок составляют результаты расчетов по программе ФАО 'CROPWAT' [4].

Экспертные оценки [2, 4, 5] проводимые для региона, показывают, что при потеплении следует ожидать незначительное увеличение продолжительности вегетационного периода, рост весенних и осенних температур воздуха. Обращает на себя внимание то, что при переходе от предгорных районов к равнинным территориям происходит некоторое снижение интенсивности роста температуры. На фоне общего потепления холодного периода для равнинных территорий может наблюдаться сохранение или даже некоторое снижение температуры теплого периода. Однако можно предположить, что существующие в последние годы тенденции к росту температуры в ближайшей перспективе не могут исчезнуть, так как климатические системы обладают свойством инерционности в своем развитии. В хронологическом ходе осадков и увлажненности явные тренды не выявляются, однако и здесь большинство экспертов говорят о возможном незначительном росте осадков.

Поскольку по большинству 'мягких' климатических сценариев на ближайшую перспективу ожидается незначительное повышение температуры воздуха во все сезоны года и одновременное увеличение осадков для зон распределения стока, однозначно сделать вывод о росте (или снижении) оросительных норм невозможно.

По данным работы [5] к 2020 году суммарное испарение в вегетационный период по районам Ферганской долины, ЧАКИРА и Среднего течения Сырдарьи не изменится.

Иная оценка приводится в работе [4]. При неблагоприятных климатических сценариях (UKMO, CCCM) расчеты по модели 'CROPWAT' показывают увеличение оросительных норм для разных культур региона на 25-45% (здесь UKMO – модель Метеорологического бюро Соединенного Королевства Великобритании, CCCM – модель Канадского климатического центра). Однако данные модели не могут быть взяты за основу при оценке на ближайшую перспективу, поскольку предполагают повышение температуры воздуха на 6–7 градусов и уменьшение осадков на 10%, что не соответствует современному представлению о росте температуры и осадков.

Более приемлемые результаты получаются при расчетах на модели 'CROPWAT', основанных на региональном климатическом сценарии. По сравнению с базовой нормой для бассейна Амударьи по этому сценарию следует ожидать роста требуемого водопотребления на 3%, а для бассейна Сырдарьи – его уменьшения на 4%. Однако и эта оценка основывается на несколько завышенных величинах увеличения температуры воздуха (на 1,5–2,5 градуса) и осадков.

Корректируя эту оценку для роста температуры на 0.5 градуса (последняя версия регионального сценария - IS92ab) получим лишь незначительный рост водопотребления по региону к 2020 году (не более 1%).

Используя оросительные нормы в социально-экономической модели ASBMM можно оценить требуемое водопотребление по странам, в разрезе бассейнов, рек, в увязке трансграничного и местного стока (см. разделы 2 и 3).

2. Моделирование режимов формирования и распределения трансграничного стока рек бассейнов Амударьи и Сырдарьи между странами и Приаральем под влиянием климатических изменений

2.1. Построение прогнозных рядов естественного стока рек бассейнов Амударья и Сырдарья по сценариям изменения климата (по 20-летнему ряду)

Некоторые выводы можно сделать при анализе многолетних гидрографов среднегодового стока отдельных рек бассейнов Амударьи и Сырдарьи по работам [1, 2, 5]. Можно отметить многолетнюю тенденцию к незначительному увеличению стока рек, для которых доля ледникового питания существенна (реки Нарын, Зеравшан). Для рек, формируемых стоком главным образом за счет сезонных осадков, тренды не выражены.

Подобные колебания водности формируют общий естественный фон многолетних изменений стока рек, характерный для рядов в 40–70 лет и более. На этот фон, как показывают наблюдения, накладываются более резкие короткопериодические колебания. Таким образом, гидрологические тренды построенные для периодов различной длины могут отличаться друг от друга.

Предлагаемый нами подход к построению рядов естественного стока рек бассейнов Амударья и Сырдарья на ближайшую перспективу (20 лет), учитывающий влияние возможного изменения климата, основывается на анализе исследований, выполняемых ранее [2, 5] и в рамках данного проекта [1]. Суть подхода заключается в следующем.

При построении гидрологических трендов на будущее будем придерживаться концепции цикличности колебаний природных процессов, используя наблюдаемые ранее ряды естественного стока рек. Цикличность рассматривается не как простое периодическое повторение наблюдаемых явлений, а как поступательное развитие, на которое накладываются климатические отклонения.

Мы отказались от применения стохастической концепции колебаний стока, исходящей из предпосылки, что процесс стока случаен и описать его можно с помощью методов теории вероятностей и математической статистики, поскольку точность таких прогнозов на краткосрочный период невысока.

Методология построения гидрологических рядов на краткосрочный период основывается на раздельном построении гидрологического тренда и отклонений от него, вызванных климатическим фактором.

$$W_t = K W_{t-dt}, t = 1, (t + dt)$$

где: W_t - прогностический гидрологический ряд стока реки, W_{t-dt} - наблюдаемый гидрологический ряд стока реки, предшествующий прогностическому, dt - период прогноза, совпадающий по длительности с предшествующим наблюдаемым, K - коэффициент, учитывающий влияние климатических факторов.

Гидрологическая основа прогнозных рядов – фактические гидрографы рек с шагом – сезон (вегетация: апрель-сентябрь, межвегетация: октябрь-март) за 1981/1982 – 2000/2001 годы.

Корректировка данных рядов осуществляется исходя из следующих предположений:

- Влияние климата будет осуществляться как на объемы годового стока, так и на внутригодовое его изменение.
- За ориентир возможного изменения стока рек на перспективу (уровень 2020 года) можно принять результаты исследований, выполненных по оценке изменения водных ресурсов к 2030 году [1], основанные на анализе климатических воздействий на водные ресурсы зон формирования. В качестве климатических воздействий могут быть приняты сценарии, основанные на моделях ICHAM4, HadCM2, IS92ab.
- Климатическое изменение стока для 2020 года можно выразить в виде характеристик (в относительных величинах к норме), 'поправляющих' (уменьшающих или увеличивающих) норму стока за расчетные сезоны.
- Интерполяция климатических поправок, корректирующих прогнозный ряд, на период 2001 – 2020 годы может осуществляться по принятому 'типовому распределению'.
- "Типовое распределение" климатических поправок может быть получена по анализу трендов изменения естественного стока рек характерного периода потепления (в качестве такого рекомендуется последнее десятилетие).

Среднесезонные расходы воды ($m^3/сек$) основных рек бассейнов Сырдарья и Амударья – нормы и их значения по различным климатическим сценариям (ICHAM4, HadCM2, IS92ab) представлены в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что возможные отклонения от норм стока основных рек к уровню 2020 года (в % от нормы) ожидаются в диапазонах: (1) для вегетационного периода от -7 % до 0 %, (2) для межвегетационного периода от -16 % до +6 %. Знак '+' означает увеличение стока, знак '-' его уменьшение.

Таким образом, по оценкам САНИГМИ [1], к 2020 году для всех рек региона ожидается незначительное уменьшение вегетационного стока (по сравнению с нормой). В межвегетационный период для некоторых рек (Чирчик, Зеравшан) следует ожидать не-

значительное увеличение стока, а для некоторых рек (Нарын, Карадарья, Вахш) уменьшение.

Таблица 3 | Среднесезонные расходы воды (м³/сек) рек бассейнов Сырдарьи и Амударьи по климатическим сценариям для 2020 года, для вегетации (IV-IX) и межвегетации (X-III), по материалам Н.А.Агальцевой [1]

Река, сумма рек	Сезон	Норма	ИНАМ4	HadCM2	IS92ab
Приток в Токтогульское водохранилище	IV-IX	595	590	586	581
	X-III	174	173	172	172
Приток в Андижанское водохранилище	IV-IX	183	176	179	182
	X-III	40	35	36	34
Приток в Чарвакское водохранилище	IV-IX	338	319	336	317
	X-III	79	83	82	80
Приток в Нурекское водохранилище	IV-IX	984	914	935	917
	X-III	223	204	198	197
Зеравшан – пост Дупули	IV-IX	258	256	250	237
	X-III	52	53	52	53

Климатический региональный сценарий (IS92ab) – один из сценариев, рассчитанных для региона Центральной Азии на основе модели общей циркуляции атмосферы, предложенных Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК). Сценарий характеризуется средней чувствительностью модели к повышению концентрации парниковых газов в атмосфере и поэтому наилучшим образом может оценивать перспективу на 20-30 лет.

Данный факт явился определяющим при выборе сценария “IS92ab” в качестве основного для дальнейших расчетов.

По данному сценарию отклонение стока от нормы за счет влияния климатического фактора (в % от нормы) к 2020 году для рек бассейнов Сырдарьи и Амударьи в вегетацию (IV-IX) и межвегетацию (X-III) составит (табл. 4).

Таблица 4 | Отклонение (в %) стока рек от нормы по региональному сценарию “IS92ab”. Уровень 2020 года

Река, сумма рек	IV-IX	X-III
Приток в Токтогульское водохранилище	-3	-1
Приток в Андижанское водохранилище	0	-16
Приток в Чарвакское водохранилище	-6	+1
Приток в Нурекское водохранилище	-7	-11
Зеравшан – пост Дупули	-7	+2

Анализ показывает, что при ожидаемом повышении температуры к 2020 году по сценарию “IS92ab” возможно уменьшение водности рек в вегетацию, особенно для рек с преобладанием снегового питания. Увеличение стока в вегетацию для рек с явно выраженной ледниковой составляющей (Нарын) менее выражено. Обращает на себя внимание ожидаемое значительное (16%) уменьшение межвегетационного притока к Андижанскому водохранилищу (видимо за счет потерь снежного покрова нижних ярусов). Незначительное увеличение межвегетационного стока Зеравшана можно объяснить некоторым сдвигом начала таяния снегов, а для притока в Чарвакское водохранилище – увеличением интенсивности дождевых паводков.

Для определения “Типового распределения” климатических поправок (отклонений стока) были изучены тренды поверхностных естественных ресурсов (реки Нарын, Чирчик, Вахш, Зеравшан и др.) за 1991/1992-2000/2001 годы, отдельно для вегетационных рядов и межвегетаций.

Линии трендов оценивались по стандартным типам линий регрессии (линейный, логарифмический, полиномиальный, степенной, экспоненциальный). Оценка данных линий (по R- квадратичному значению) показала, что для большинства рек тренды наилучшим образом описываются экспоненциальным уравнением (табл. 5).

$$y = ce^{bx},$$

где: c , b – константы, e – основание натурального логарифма.

Таблица 5. Уравнения экспоненциального тренда для различных сезонов основных рек региона (период 1991–2000 гг.)

Река	Вегетация (IV-IX)	Межвегетация (X-III)
Вахш	$18.47 e^{-0.025 t}$	$3.55 e^{0.005 t}$
Зеравшан	$4.82 e^{0.003 t}$	$0.82 e^{-0.01 t}$
Нарын	$9.95 e^{-0.001 t}$	$2.70 e^{0.018 t}$
Карадарья	$4.02 e^{-0.058 t}$	$0.91 e^{0.009 t}$
Чирчик	$6.58 e^{-0.025 t}$	$1.25 e^{0.025 t}$

Для иллюстрации на рис. 1, 2 приводятся некоторые многолетние тренды и гидрографы, в сравнении наблюдаемого и расчетного внутригодового распределения стока.

2.2. Учет климатического фактора в гидрологической модели

Гидрологическая модель (первая версия [6, 7]), входящая в состав модели управления бассейном Аральского моря (ASBMM), использовалась в качестве расчетного инструмента для оценки влияний климата на формирование и распределение стока в бассейнах рек Амударья и Сырдарья. В гидрологической модели (после ее корректировки) климатический фактор учитывается в двух аспектах:

- Влияние климата на объем и режим естественного стока,
- Влияние климата на требуемый водозабор из трансграничных рек.

Ввод климатических изменений на объем и режим речного стока осуществляется с помощью коэффициентов, уменьшающий (или увеличивающих) значения естественных гидрографов рек бассейнов Амударьи и Сырдарьи для каждого сезона (вегетация, межвегетация). Таким образом учитывается влияние климата на внутригодовую амплитуду и многолетнее изменение стока. Ввод коэффициентов осуществляется через интерфейс посредством назначения пользователем климатического сценария (ICHAM4, HadCM2, IS92ab и др.).

В таблице 6 для основных рек региона приводятся значения климатических коэффициентов, вводимых в гидрологическую модель при выборе пользователем сценария "IS92ab" (сценарий 3). В гидрологическую модель коэффициенты вводятся в виде рядов из 40 значений (для каждого сезона прогнозируемого периода в 20 лет), а в табл. 6 приводятся на моменты времени через 5, 10, 15 и 20 лет после 2000 года.

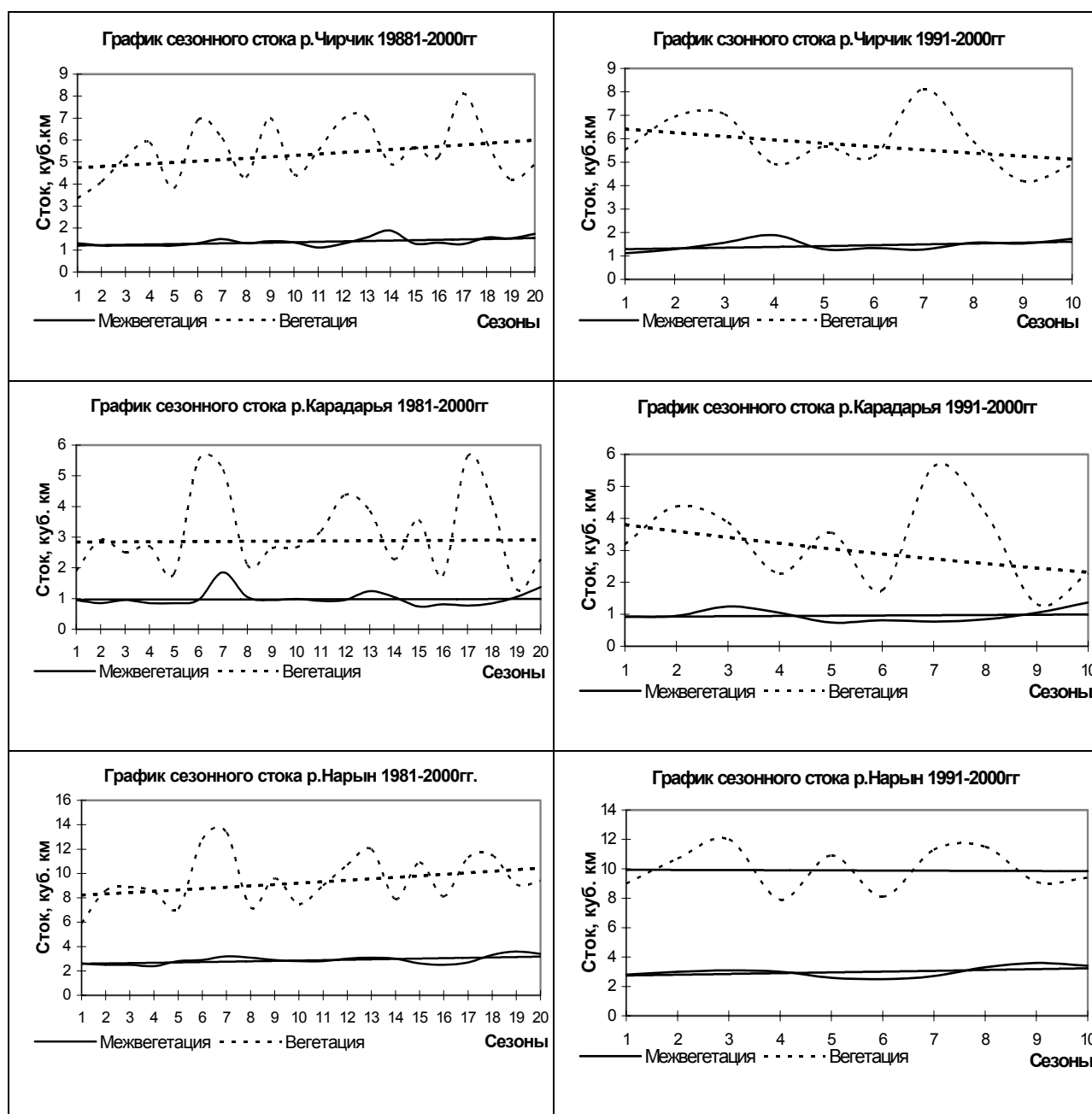


Рис. 1 | Гидрологические тренды наблюдаемых величин

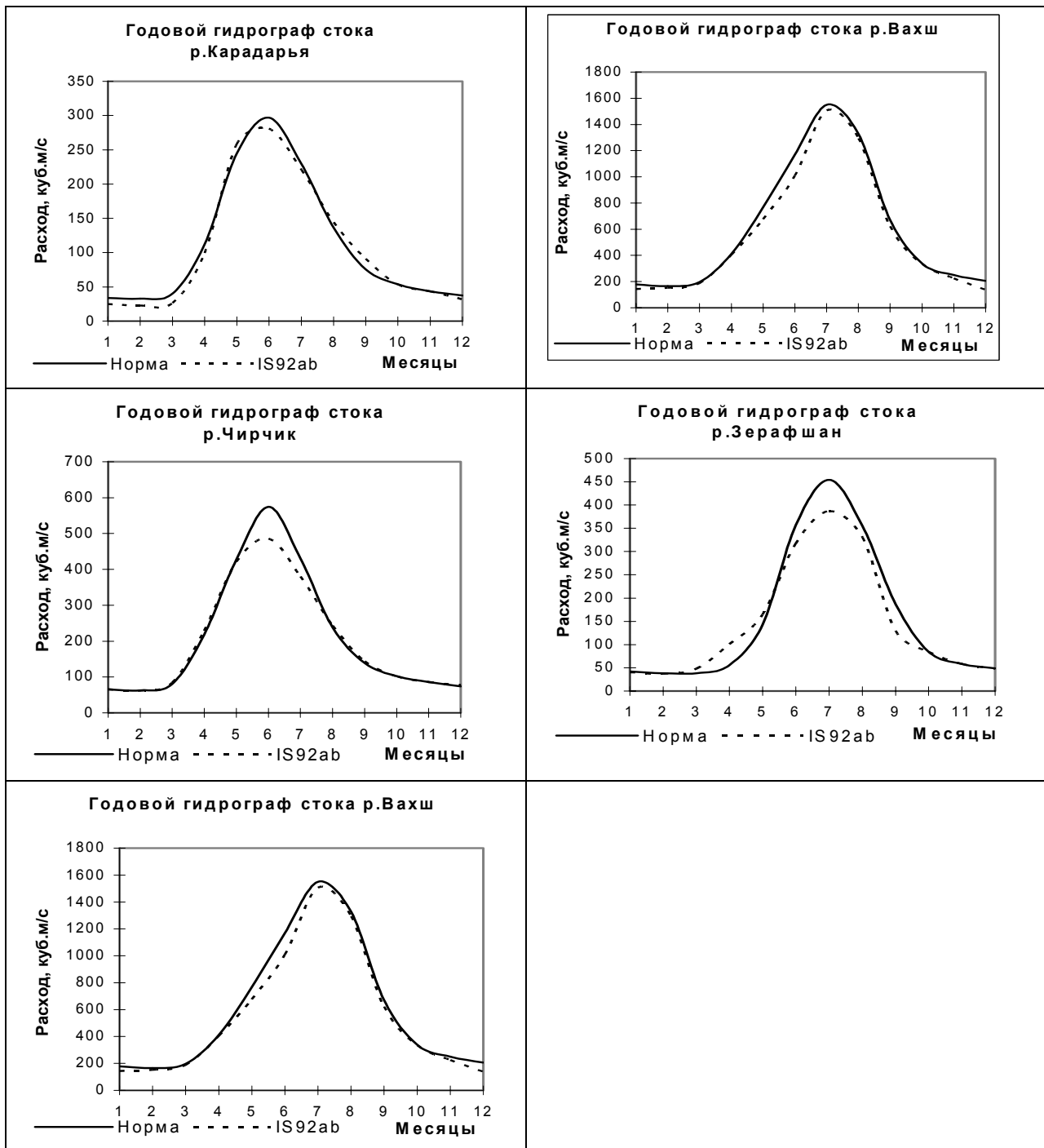


Рис. 2 | Сравнение наблюдаемых (норма) и расчетных гидрографов среднемесячных расходов рек для регионального сценария

Таблица 6 | Климатические коэффициенты для различных уровней (сценарий IS92ab)

Река	Сезон	2005 г	2010 г	2015 г	2020 г
Нарын	X-III	0.9989	0.9949	0.9909	0.9870
	IV-IX	0.9930	0.9851	0.9773	0.9695
Карадарья	X-III	0.9595	0.9187	0.8796	0.8421
	IV-IX	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Чирчик	X-III	1.0006	1.0041	1.0076	1.0112
	IV-IX	0.9844	0.9693	0.9544	0.9397
Вахш	X-III	0.9708	0.9421	0.9143	0.8873
	IV-IX	0.9830	0.9650	0.9473	0.9300

Ввод климатических изменений на объем и режим требуемого водозабора из трансграничных рек (по схеме гидрологической модели) осуществляется посредством импорта расчетной информации (учитывающей влияние климата) из социально-экономической модели, на период в 20 лет, с шагом - год:

- Водозабора из трансграничных рек,
- Сброса возвратного стока в трансграничные реки.

Управление водопотреблением осуществляется через интерфейс посредством назначения пользователем климатического сценария (ICHAM4, HadCM2, IS92ab и др.) и сценария развития стран региона.

Гидрологическая модель отражает процессы формирования, регулирования и использования водных ресурсов трансграничных рек бассейнов Сырдарьи и Амударьи, позволяет в имитационном и оптимизационном режимах на 20 лет вперед: (1) оценивать сценарии развития стран региона на соответствие "требования на воду – располагаемые водные ресурсы"; (2) проигрывать варианты управления водохранилищами по выбранным критериям и ограничениям; (3) рассчитывать водные балансы рек, водохранилищ, озёр.

Гидрологическая схема модели включает реки: Нарын, Карадарья, Ахангаран, Чирчик, Келес, Арысь, Сырдарья, Вахш, Пяндж, Кафирниган, Сурхандарья, Амударья, Заравшан. В гидрологическую схему модели не входят реки бассейна Кашкадарьи, реки Турмениистана (Мургаб, Теджен, Атрек), бесточные реки Афганистана, а также некоторые местные источники бассейна Сырдарьи (Исфара, Шахимардан, Сох и др.).

В таблице 7 приводится распределение водозабора из трансграничных рек бассейнов Амударьи и Сырдарьи по странам региона, соответствующее установленным лимитам, согласно схеме гидрологической модели.

Таблица 7 | Распределение водозабора из трансграничных рек по лимитам (км³/год)

№	Государство	В зоне управления БВО			Всего
		Сырдарья	Амударья	Сумма	
1	Казахстан	8.2	-	8.2	11.0
2	Киргизия	0.22	0.15	0.37	1.45
3	Таджикистан	2.0	8.3	10.3	10.7
4	Туркменистан	-	22.15	22.15	22.15
5	Узбекистан	11.15	22.65	33.8	45.5
	Всего	21.57	53.25	74.82	90.7

Данный водозабор отличается от водозабора, формируемого социально-экономической моделью по сценариям развития стран. Так по сценарию национального видения (National) требуемый водозабор превышает лимиты, а по оптимистичному сценарию (Optimistic) значительно ниже лимитов (раздел 3).

Расчеты показывают, что влиянием климатических факторов на данные варианты водопотребления на ближайшую перспективу (20 лет) можно пренебречь.

3. Оценка изменения притока воды в Приаралье по рекам Амударья и Сырдарья для выбранного климатического сценария и вариантов развития региона

В данном разделе приводятся результаты численных расчетов по 20 летнему ряду (шаг - сезон), выполненных на гидрологической модели, во взаимосвязи с социально-экономической моделью, с целью:

- Анализа влияния климатических и связанных с ним гидрологических изменений на сток, режим и управление рек Амударья и Сырдарья в внутригодовом и многолетнем разрезе, а также на требования водопотребителей (трансграничный водозабор), для выбранного климатического сценария и вариантов развития региона.
- Оценки на перспективу изменения притока воды в Приаралье для выбранного климатического сценария и сценариев развития стран региона (по 20 летнему ряду).

Основная входная информация для численных расчетов (период 20 лет):

- Гидрологические ряды водных ресурсов трансграничных рек в верхних створах ($\text{км}^3/\text{сезон}$),
- Требуемый водозабор из трансграничных рек по государствам - информация из социально-экономической модели ($\text{км}^3/\text{сезон}$),
- Возвратный (коллекторный) сток с водохозяйственных районов в трансграничные реки ($\text{км}^3/\text{сезон}$)
- Коэффициенты, учитывающие климатическое влияние на формирование стока рек.

Основная выходная информация (период 20 лет):

- Расчетный водозабор из трансграничных рек - откорректированные для социально-экономической модели требования на воду ($\text{км}^3/\text{сезон}$),
- Составляющие водных балансов рек, водохранилищ, включая приток поверхностного стока в Приаралье – по реке Сырдарья (пост Казалинск) и Амударья (пост Саманбай).

В качестве аналогов на прогнозный период 2001–2020 годов приняты фактические водохозяйственные (апрель-март) гидрографы за 1981/1982 – 2000/2001 годы, откорректированные с учетом возможного изменения климата по климатическим коэффициентам.

Водные ресурсы суммировались по следующим источникам.

Бассейн Сырдарья:

- (1) Река Нарын – суммарный приток к Токтогульскому водохранилищу,
- (2) Река Карадарья – суммарный приток к Андижанскому водохранилищу,
- (3) Боковая приточность к рекам Нарын и Карадарья,
- (4) Боковая приточность к реке Сырдарья (исключая реку Чирчик),
- (5) Река Чирчик – суммарный приток к Чарвакскому водохранилищу,
- (6) Река Арысь.

Бассейн Амударья:

- (1) Река Вахш – суммарный приток к Нурекскому водохранилищу,
- (2) Боковая приточность к реке Вахш,
- (3) Река Пяндж,
- (4) Боковой приток к Амударье – реки Кафирниган, Сурхандарья, Шерабад, Кундуз.

Критерий управления водохранилищами (Токтогульское, Андижанское, Чарвакское, Кайракумское, Чардаринское, Нурекское, Тюямуюнское) - максимум чистого дохода в орошаемой земледелии, при обязательной компенсации ущербов в гидроэнергетике.

Принятый в расчетах климатический сценарий – региональный (IS92ab). Гидрологические расчеты для сценариев "ICHAM4" и "HadCM2", дающих близкие с вариантом "SD92ab" характеристики климатического влияния на изменение естественных ресурсов рек (по отклонению от нормы) не проводились. Принятые в расчетах сценарии развития стран региона: (1) сохранения существующих тенденций (BAU), (2) национального видения (National), (3) оптимистичного (Optimistic). Гидрологические расчеты для сценария

рия "Real" (он практически повторяет сценарий " Optimistic " в части требуемого водозабора) и "Neutral" не проводились.

Расчеты выполнялись в итерационном режиме, предполагающем взаимосвязь гидрологической и социально-экономической моделей. Анализ выполненных расчетов приводится ниже (табл. 8–10, рис. 3–6).

Таблица 8 | Приток воды в Приаралье по рекам Амударья (пост Саманбай) и Сырдарья (пост Казалинск). Среднегодовые объемы (км³/год) по периодам лет. Результаты расчетов на гидрологической модели. Влияние климата не учитывается

№	Сценарий	Период	Амударья	Сырдарья	Всего
1	Сохранение существующих тенденций (BAU)	2000-2005	5.54	2.16	7.70
		2005-2010	8.56	6.08	14.64
		2010-2015	7.04	4.12	11.16
		2015-2020	7.82	7.16	14.98
2	Национальное видение (National),	2000-2005	4.58	1.98	6.56
		2005-2010	8.36	5.38	13.74
		2010-2015	5.82	3.86	9.68
		2015-2020	2.82	5.84	8.66
3	Оптимистичный (Optimistic)	2000-2005	5.80	2.34	8.14
		2005-2010	11.80	6.94	18.74
		2010-2015	14.90	9.14	24.04
		2015-2020	19.12	11.44	30.56

Таблица 9 | Приток воды в Приаралье по рекам Амударья (пост Саманбай) и Сырдарья (пост Казалинск). Среднегодовые объемы (км³/год) по периодам лет. Результаты расчетов на гидрологической модели. Влияние климата по региональному сценарию (IS92ab)

№	Сценарий	Период	Амударья	Сырдарья	Всего
1	Сохранение существующих тенденций (BAU)	2000-2005	4.56	1.96	6.52
		2005-2010	6.54	5.58	12.12
		2010-2015	4.38	3.86	8.24
		2015-2020	3.30	6.10	9.40
2	Национальное видение (National)	2000-2005	3.42	1.74	5.16
		2005-2010	6.00	5.18	11.18
		2010-2015	3.06	3.20	6.26
		2015-2020	1.02	5.36	6.38
3	Оптимистичный (Optimistic)	2000-2005	4.86	2.26	7.12
		2005-2010	9.06	6.66	15.72
		2010-2015	10.56	8.10	18.66
		2015-2020	13.04	10.16	23.20

Таблица 10 | Приток воды в Приаралье по рекам Амударья (пост Саманбай) и Сырдарья (пост Казалинск). Среднегодовые объемы (км³/год) за 2001-2020 годы. Результаты расчетов на гидрологической модели. Сравнение по вариантам

№	Влияние климата	Сценарий	Амударья	Сырдарья	Всего
1	Не учтено	BAU	7.2	4.9	12.1
		National	5.4	4.3	9.7
		Optimistic	12.9	7.5	20.4
2	По региональному сценарию (IS92ab)	BAU	4.7	4.4	9.1
		National	3.4	3.9	7.3
		Optimistic	9.4	6.8	16.2
3=2-1	Уменьшение стока	BAU	-2.5	-0.5	-3.0
		National	-2.0	-0.4	-2.4
		Optimistic	-3.5	-0.7	-4.2

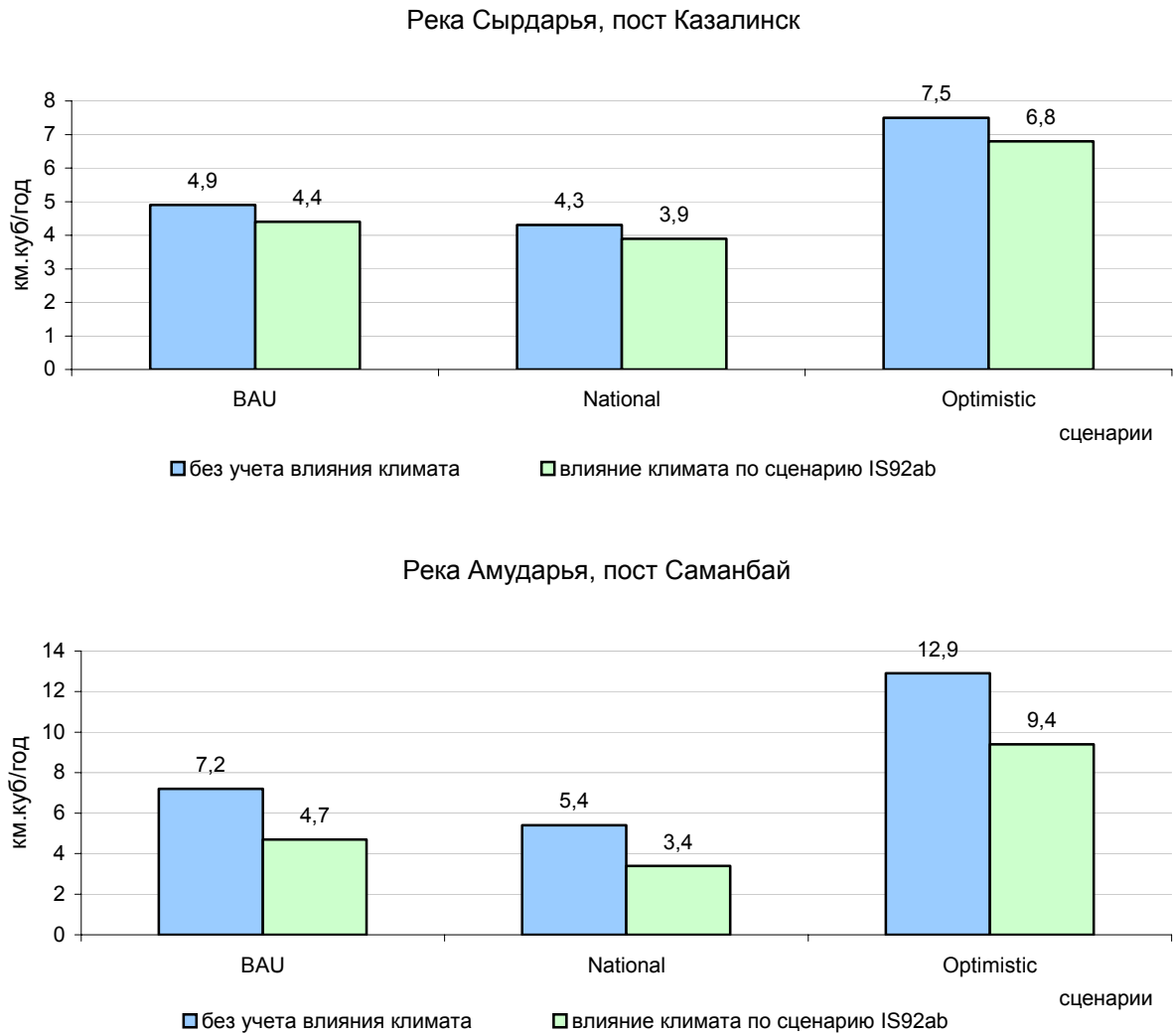


Рис. 3 | Гидрографы средних годовых стоков рек с учетом климата (сценарий IS92ab) и без него для трёх сценариев развития региона (BAU, National, Optimistic) за 2001-2020 гг.

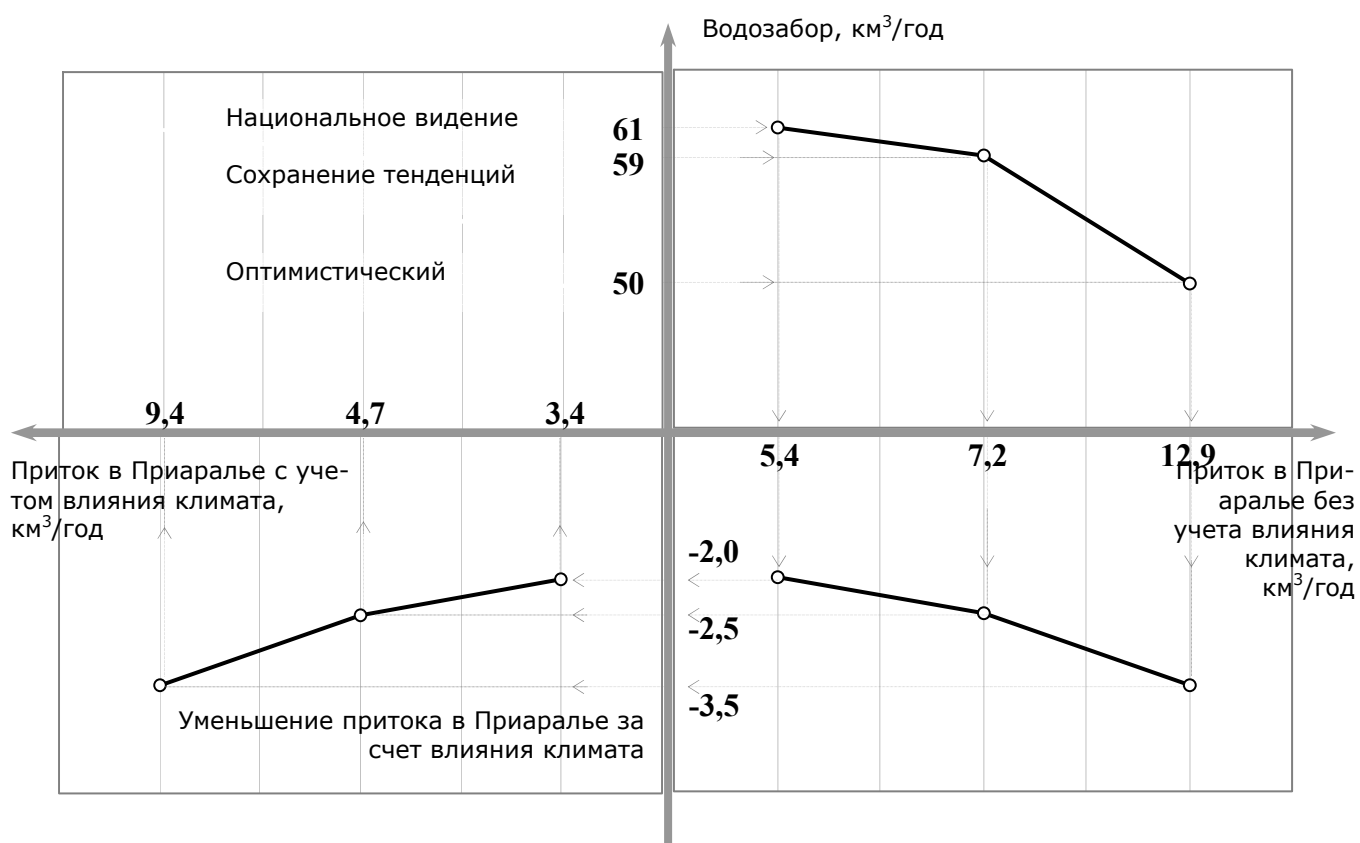


Рис. 4 | Река Амударья: водозабор и приток в Приаралье, км³/год. Среднегодовые значения за 2001-2020 гг. при различных сценариях развития государств

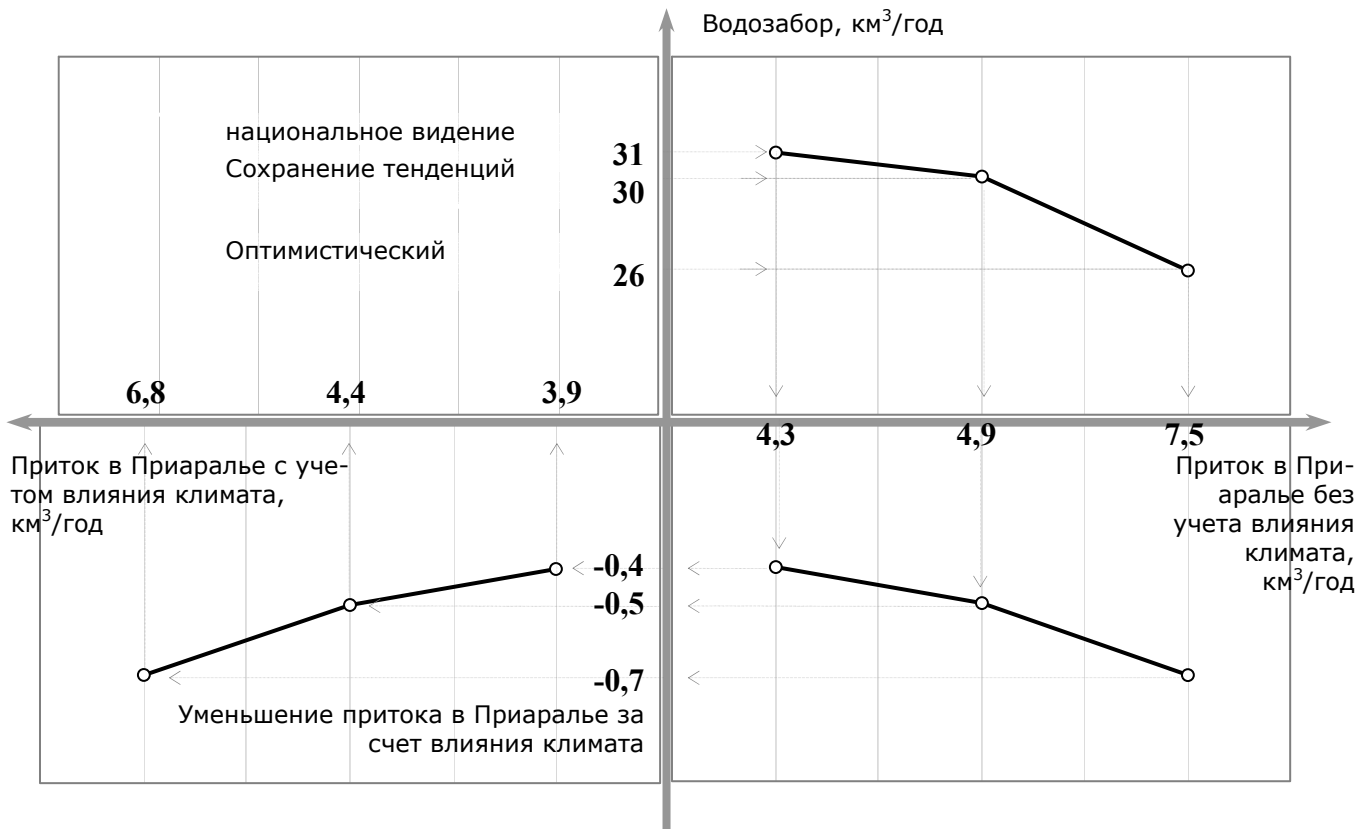


Рис. 5 | Река Сырдарья: водозабор и приток в Приаралье, км³/год. Средне-годовые значения за 2001-2020 гг. при различных сценариях развития государств

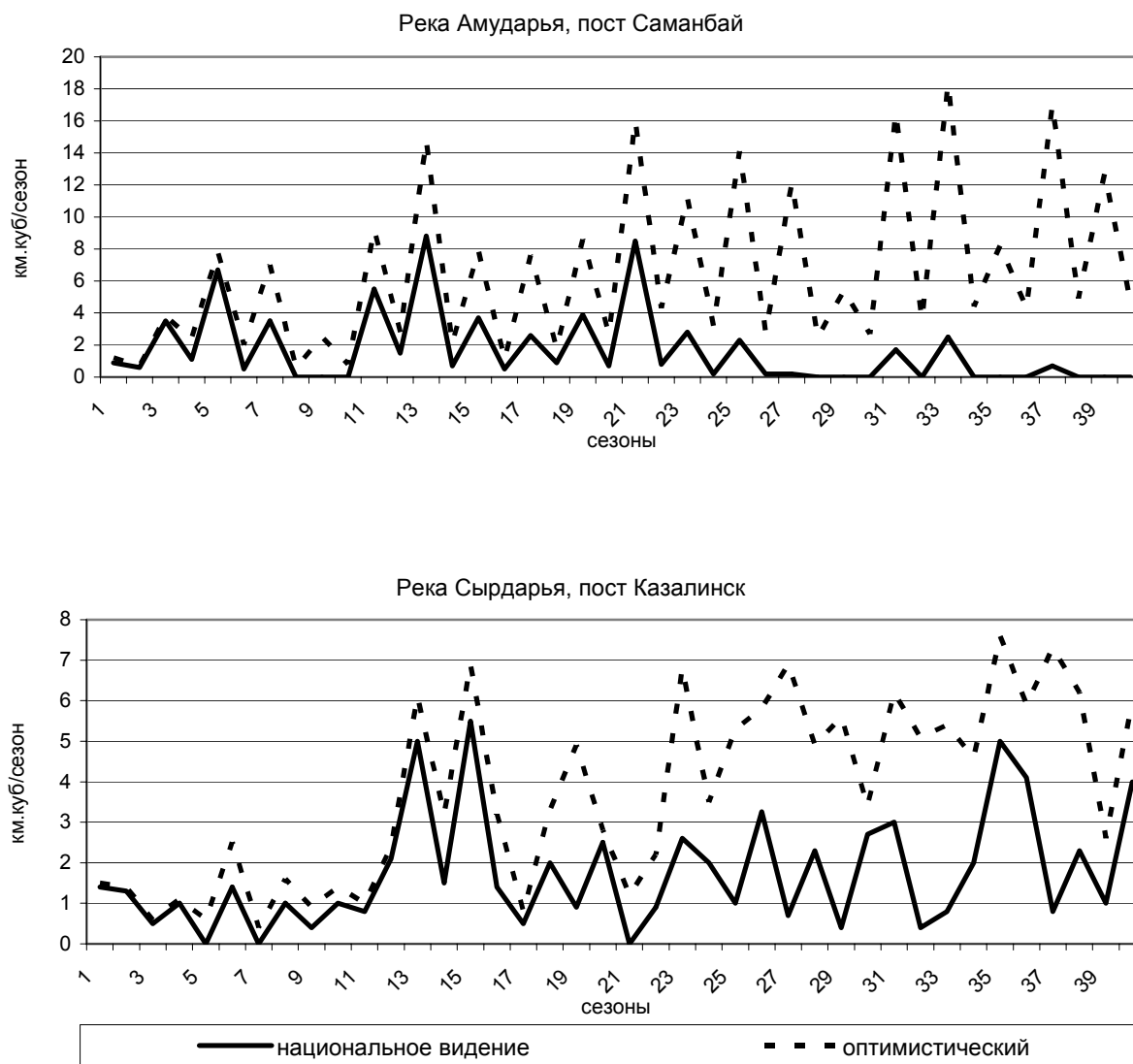


Рис. 6 | Гидрографы сезонных объёмов стока (км³/сезон) рек Амударья и Сырдарья (вегетация, межвегетация). Оценка на краткосрочный период 2001-2020 гг. Учет влияние климата по сценарию IS92ab

Расчеты показывают, что по всем вариантам развития стран региона за счет потепления климата ожидается уменьшение притока речного стока в Приаралье. Наиболее значительно оно ожидается по бассейну Амударьи - 2,5-3,5 км³/год в среднем за прогнозируемый период 2001-2020 гг. По бассейну Сырдарьи изменения незначительны - 0,5-0,7 км³/год.

Наибольший приток в Приаралье ожидается по оптимистичному варианту развития государств региона (по Амударье - 9,4-12,9 км³/год, по Сырдарье - 6,8-7,5 км³/год), предполагающему мероприятия по достижению 80% потенциальной продуктивности земель, развитие аграрного сектора, водосбережение, минимизацию потерь воды и удовлетворение экологических требований, максимум инвестиций и как результата - уменьшение требуемого водозабора из трансграничных рек.

Наименьший приток в Приаралье ожидается по варианту National - по Амударье - 3,4-5,4 км³/год, по Сырдарье - 3,9-4,3 км³/год. Увеличится вероятность повторения экстремальных маловодных лет (по аналогам 2000-2001 гг.).

Заключение

Выполненные исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

- Влияние климата на функционирование водохозяйственных систем региона может проявляться через изменение условий формирования водных ресурсов и изменение режима водопотребления.
- В качестве основного климатического сценария можно рекомендовать региональный сценарий (IS92ab), который характеризуется средней чувствительностью модели к повышению концентрации парниковых газов в атмосфере и поэтому наилучшим образом может оценивать перспективу на 20 лет.
- При построении гидрологических рядов на ближайшую перспективу рекомендуется придерживаться концепции цикличности колебаний природных процессов, используя наблюдаемые ранее ряды естественного стока рек. Цикличность следует рассматривать как наблюдаемый тренд, на который накладываются климатические изменения будущего.
- Анализ показывает, что при ожидаемом повышении температуры к 2020 году по сценарию "IS92ab" возможно незначительное уменьшение водности рек региона в вегетацию (до 7% от нормы), а в межвегетацию следует ожидать как уменьшение (до 16%) , так и увеличение (до 2%) стока рек. Ожидается незначительный рост водопотребления (не более 1% от нормы).
- Наибольший приток в Приаралье за 2001-2020 годы ожидается по оптимистичному варианту развития государств региона - по Амударье - 9,4-12,9 км³/год, по Сырдарье - 6,8-7,5 км³/год, наименьший приток - по варианту National - по Амударье - 3,4-5,4 км³/год, по Сырдарье - 3,9-4,3 км³/год.

Список использованной литературы

1. Агальцева Н.А. Отчет о научно-исследовательской работе, выполненной в рамках проекта "Dialogue on Water and Climate Aral Sea basin Case Study", САНИГМИ, Ташкент, 2002.
2. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан, Ташкент, 2000.
3. Авакян И.С., Рузиев М.Т., Приходько В.Г. Социально-экономическая модель как система поддержки принятия решений. Интегрированное управление водными ресурсами. Сборник докладов из курса лекций Тренингового центра МКВК, Ташкент, 2001.
4. Чолпанкулов Э.Д., Инченкова О.П. Создание методики корректировки норм водопотребления сельхозкультур с учетом возможных изменений климата. Проблемы устойчивого управления водными ресурсами в бассейне Аральского моря на рубеже XXI века. Сборник научных трудов НИЦ МКВК, выпуск 6, Ташкент, 2002.
5. Иванов Е.Г., Исмайылов Г.Х., Федоров В.М. К оценке влияния изменения климата на формирование водных ресурсов и ирригационного водопотребления в бассейне р. Сырдарьи. Водные ресурсы. № 5, 1992.

6. Sorokin D., Sorokin A. Report on the work conducted for the application of the hydrological model to wards the assessment of scenarios of the Aral Sea basin development. UNDP and SIC ICWC. Tashkent, 2001.

7. Integrated Water Resources Management for Wetland Restoration in the Aral Sea Basin. NATO. Science for Peace Program. SFP 974357. Progress Report. May, 2001.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ БАССЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ (ASB-ММ) ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА НА ОСНОВЕ СОТРУДНИЧЕСТВА В УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ И КООПЕРАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

М.Т. Рузиев, В.Г. Приходько

Введение

Глобальное изменение климата, основными общепринятыми аспектами которого являются повышение температуры и увеличение концентрации CO₂ в атмосфере, - может иметь как отрицательные, так и положительные экологические последствия:

- изменение адаптационных способностей природных сообществ, например - способность лесов к миграции;
- повышение уровня мирового океана (современная скорость подъема вод составляет примерно 25 см за 100 лет) - за счет таяния Гренландского и Антарктического ледниковых щитов;
- увеличение интенсивности фотосинтеза, что может оказывать благоприятное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, на ведение лесного хозяйства и т. д.
- миграция сотен миллионов людей из-за наводнений в низких прибрежных зонах, в дельтах рек и на островах, увеличения среднегодовых температур;

Известно, что государства Центрально-Азиатского региона уже достаточно долгое время испытывают последствия катастрофы Аральского моря. Повышенное демографическое давление, обусловленное высокими темпами роста населения, а также трудности, наблюдаемые в экономическом развитии, после распада СССР определяют высокий уровень прессинга, как на экосистему, так и в социальной сфере. Здесь низкий показатель пахотных земель на душу населения, высокий индекс водного напряжения. В сельской местности, где проживает большая часть населения, имеет место избыток трудоспособного населения, поэтому в сельскохозяйственном производстве, как правило, занято гораздо больше человек, чем это необходимо.

Сегодня уже очевиден факт воздействия на устойчивость перспективного развития бассейна Аральского моря сегодня изменение климата. Основное направление этого воздействия оказывается на объем располагаемых водных ресурсов региона. Общие водные ресурсы бассейна Аральского моря - 130-135 км³. Из них приблизительно 10 км³ - потери и около 90% от общих доступных водных ресурсов составляет водозабор.

Поэтому вопрос оценки будущего, пусть даже приближенного, являющегося важным для планирования стратегии перспективного развития для каждого государства неразрывно связан с учетом влияния климатических изменений. Важным инструментом для такой оценки является математические модели демографического, экономического, экологического и т.п. процессов, а чаще всего их сочетание. Они не дают прямого ответа на вопрос хорошо или плохо мы будем жить в будущем, но могут дать значения индикаторов или критериев, которые помогут оценить экономическое, социальное и экологическое благосостояние государства.

Ниже рассматривается применение к сценариям перспективного развития центрально-азиатских государств модели Управления бассейном Аральского моря с учетом влияния климатических изменений.

1. Модель управления бассейном Аральского моря (ASB-MM) с учетом влияния климатических изменений

Модель ASB-MM была разработана НИЦ МКБК и Resource Analysis (Делфт, Нидерланды), под эгидой Проекта «Развитие потенциала бассейна Аральского моря» UNDP и программы WEMP МФСА.

Модель управления Бассейном Аральского моря – инструмент поддержки принятия решений позволяющий:

- Повысить понимание в кругу широкой общественности (студенты, ученые и т.д.) проблем стоящих перед бассейном Аральского моря и рассмотрения возможных решений;

- Лицам, принимающим решения, оценить правильность и своевременность принимаемого решения, а так же показать, к каким последствиям оно может привести.

Это достигается путем «проигрывания» различных сценариев перспективного развития, как отдельных стран бассейна Аральского моря, так и региона в целом, с целью определения возможности перспективного экономического и социального развития с учетом использования доступных водных ресурсов и удовлетворения экологических требований Арала и Приаралья.

Модель ASB-MM состоит из комплекса моделей, включающего социально-экономическую модель, гидрологическую модель и модель Аральского моря (рис. 1).

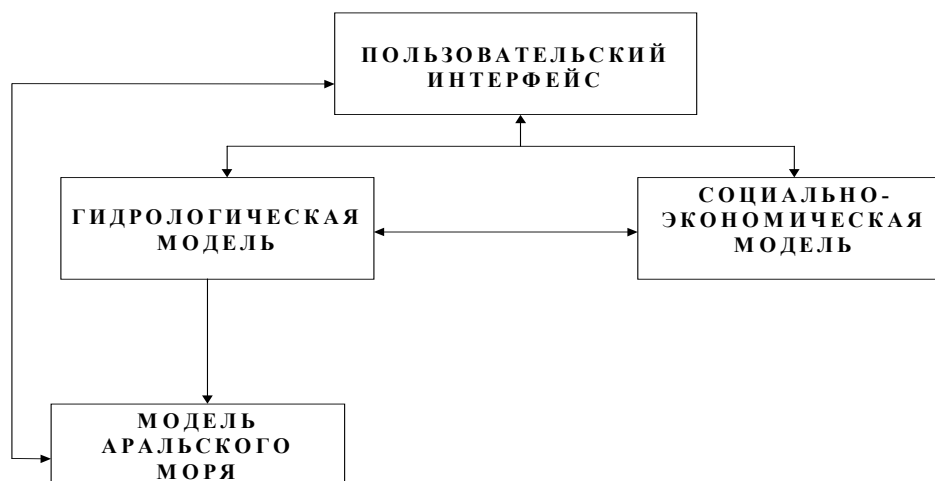


Рис. 1 | Структура ASB-MM

Социально-экономическая модель (рис. 2) пытается предсказать, что случится с социально-экономической системой. Модель делает это по следующим параметрам:

- население (сельское и городское)
- экономика (ВВП, ВВП на душу населения, вклад в ВВП по секторам производства)
- вода (потребность по секторам производства; наличие подсчитывается гидрологической моделью)
- сельское хозяйство (производительность орошаемых земель по с/х культурам с разбивкой на технические и продовольственные культуры)
- инвестиции (объем инвестиций в с/х, прямые иностранные инвестиции)
- энергетика (производство и потребление)
- продукты питания (производство и потребление в калориях, с учетом потребительской корзины)

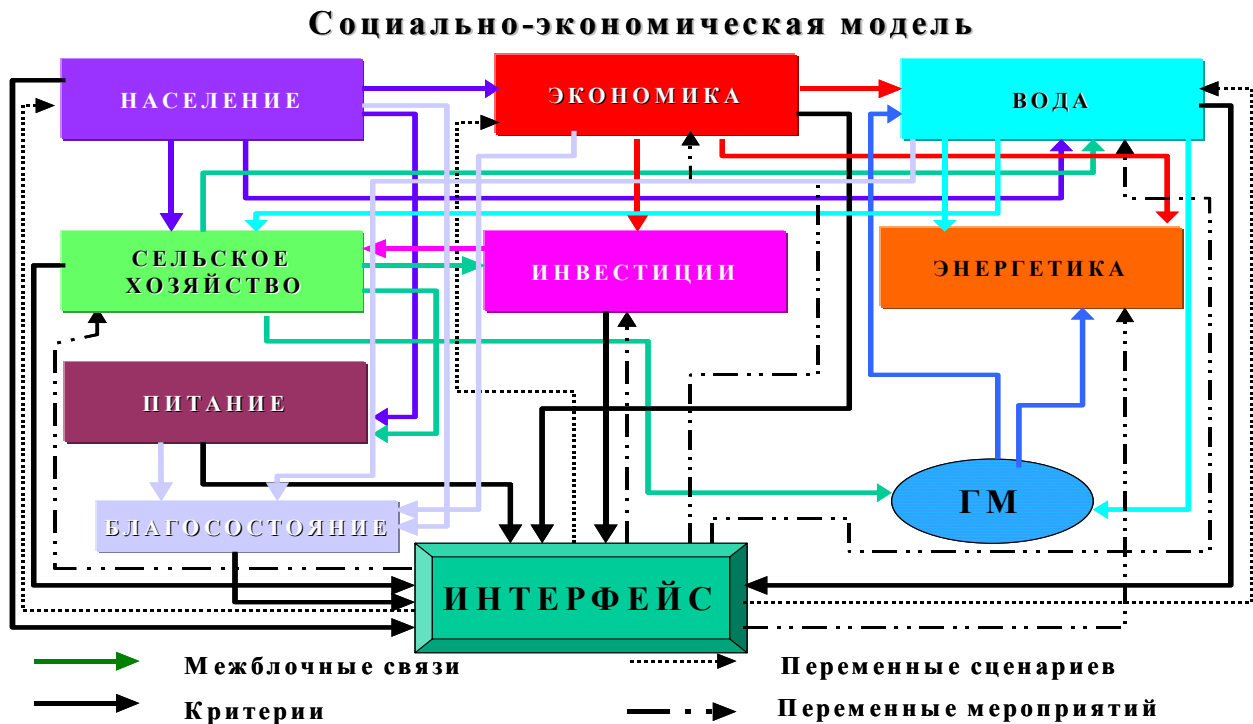


Рис. 2 | Структура социально-экономической модели

Гидрологическая модель отражает процессы формирования, регулирования и использования водных ресурсов трансграничных рек бассейнов Сырдарьи и Амударьи, позволяет в имитационном и оптимизационном режимах на 20 лет вперед:

- (1) оценивать сценарии развития стран региона на соответствие "требования на воду – располагаемые водные ресурсы";
- (2) проигрывать варианты управления водохранилищами по выбранным критериям и ограничениям;
- (3) рассчитывать водные балансы рек, водохранилищ, озёр.

Применения модели ASB-MM для поставленной задачи – учета влияния климатических изменений при рассмотрении различных сценариев перспективного развития – базовая модель требовала внесения изменений в алгоритмы и базу данных. В связи с этим в социально-экономической модели были преобразованы алгоритмы блоков «Вода» – для учета влияния климатических изменения на местные водные ресурсы – «Сельское хозяйство» для учета влияния климатических изменения на удельное водопотребление и урожайность сельскохозяйственных культур. В гидрологическую модель были внесены изменения для возможности оценки влияния климатических и связанных с ним гидрологических изменений на сток, режим и управление рек Амударьи и Сырдарья в многолетнем разрезе (по 20 летнему ряду), а также на Приаралье и Аральское море в каждом варианте развития региона.

2. Сценарии перспективного развития государств бассейна Аральского моря.

Для оценки устойчивости перспективного развития в модели ASB-MM были рассмотрены следующие сценарии:

2.1. Оптимистический

Численное описание оптимистического сценария базировалось на следующих предположениях.

1.1. Регион будет развиваться на основе улучшения тех интеграционных процессов, которые сегодня с надеждой разрабатываются и намечаются правительствами всех стран, включая:

- взаимовыгодное использование трансграничных водных ресурсов на основе водосбережения и единых природоохранных подходов;
- взаимовыгодное развитие сельскохозяйственного сектора с максимальным акцентом на региональную специализацию по производству сельскохозяйственной продукции;
- максимальное приближение к потенциальной продуктивности воды и земли
- экономический рост обеспечивается, в основном, за счет развития промышленности и сферы услуг.

1.2. Темпы роста населения уменьшаются и снизятся к 2020 г. до 0,98% в год, при этом численность населения будет составлять в регионе около 54 млн. человек; среднегодовой рост ВВП в период от 2000-2010 гг. будет – 4-6% в год, с 2010 до 2015 г. около 6% в год, с 2015 до 2020 г. не менее 5% в год. При этом ВВП в регионе ожидается около 86 млрд. \$, что составит более 1600 \$ на человека в год. Таким образом, в соответствии с этим сценарием, данный показатель будет увеличен почти в два с половиной раза по сравнению с 2000 годом.

1.3. Энергетика будет развиваться преобладающим образом на базе гидроэлектростанций и их совместного строительства с тем, чтобы создать устойчивый приоритет чистого экологического производства энергии.

1.4. Предполагается, что проводимой политикой водосбережения на уровне государств, будут достигнуты следующие показатели эффективности использования воды: удельное водопотребление на орошение составит 9,4 тыс.м³/га; удельное водопотребление для населения составит 0,08 м³/чел/год.

1.5. Комплекс мероприятий по сокращению водопотребления для ирригации позволит увеличить площадь орошаемых земель до 8,5 млн.га против 7,85 млн.га (современный уровень). Прирост орошаемых земель в основном предполагается после 2010 года, что связано с улучшением общей экономической ситуации в регионе к этому времени и появлением достаточных средств для внедрения крупномасштабных водосберегающих мероприятий. Проведение комплекса мероприятий по повышению продуктивности сельскохозяйственного производства до уровня 80% позволит улучшить обеспечение населения продуктами питания. Ожидается среднее производство 3500 ккал/чел/день при превалировании в рационе овощей и фруктов. Оптимальное сочетание производства продовольственных и непродовольственных культур при широком развитии региональной кооперации и интеграции позволит сократить импорт продовольствия зерна и мясомолочных продуктов, при увеличении экспорта овощей и фруктов и продуктов их переработки. При планируемой продуктивности земель и воды дефицита в обеспечении продовольствием не будет.

1.6. Значительный рост ВВП будет обеспечен за счет опережающих темпов роста промышленности. Учитывая, с одной стороны, развитие промышленности и, с другой стороны, внедрение оборотного водоснабжения на промышленных предприятиях, предполагается, что использование воды для промышленности достигнет 3,3 млрд. м³/год против 1,9 млрд. м³/год в 2000 г.

1.7. При намеченных рубежах эффективности использования воды в различных секторах экономики, общее потребление водных ресурсов составит 91,1 км³/год. При этом, на орошение будет использовано 80,1 км³/год, промышленности и ХПВ – 11 км³/год.

2.2. Вариант сохранения существующих тенденций

2.1. Развитие региона будет осуществляться при сохранении существующих тенденций в использовании трансграничных водных ресурсов, а также в области развития региональной интеграции аграрного сектора, как по производству сельскохозяйственной продукции, так и по ее переработке. Основные усилия государств будут направлены на водосбережение местных водных источников.

2.2. Темпы роста населения остаются постоянными на уровне 1,9% в год, при этом численность населения составит около 61 млн. человек; темп среднегодового роста ВВП

не будет превышать 4% в год. При этом ВВП в регионе ожидается 44,7 млрд. \$, что составит около 800 \$ на человека в год.

2.3 Показатели эффективности использования воды, в соответствии со сложившимися тенденциями ожидаются следующими: для орошения - 12 тыс.м³/га; для населения - 0,1 м³/чел/год.

2.4 Площадь орошаемых земель до 2020 г. практически остается неизменной.

2.5 Общее потребление водных ресурсов составит 108,4 км³/год. При этом на орошение будет использовано 96 км³/год, в промышленности – 3,05 км³ в год и в ХПВ – 6 км³.

2.3. Сценарий, основанный на национальных стратегиях/планах перспективного развития государств БАМ

Основные показатели национальных стратегий, видений, планов перспективного развития, использованных в расчетах на модели, приведены в таблице 1.

Таблица 1 | Основные показатели национальных стратегий, видений, планов перспективного развития

Показатель	Годы	Ед. изм.	Юж. Казахстан	Киргизстан	Таджикистан	Туркменистан	Узбекистан
Темп роста населения	2010	%	1.30	1.50	4.20	3.20	1.95
	2020		1.30	1.50	3.00	3.20	1.95
Население	2010	млн.чел	2.77	2.72	8.84	8.52	30.08
	2020		3.16	3.15	12.15	11.68	36.48
ВВП	2010	млрд. \$	6.5	2.4	2.9	12.2	33.8
	2020		11.3	4.2	5.5	64.1	65.2
Темп роста ВВП	2010	%	6.0	6.0	6.1	18.0	8.0
	2020		5.0	5.0	6.0	18.0	6.5
Вклад сельского хозяйства в ВВП	2010	%	34	50	30	15	24
	2020		32	50	30	15	24
Вклад промышленности в ВВП	2010	%	24	20	26	32	25
	2020		26	22	26	32	25
Орошаемые земли	2010	1000 га	809.5	447.5	822.6	1897.5	4712.9
	2020		881.8	479.7	959.7	2343.9	4915.0
Орошаемые земли на душу человека	2010	га/чел	0.29	0.16	0.09	0.22	0.16
	2020		0.28	0.15	0.08	0.20	0.13
Удельное потребление воды в КБХ	2010	1000 м ³ /чел./год	0.06	0.04	0.08	0.07	0.09
	2020		0.07	0.06	0.08	0.08	0.09

2.4. Реальный сценарий перспективного развития

Регион будет развиваться на основе трендов полученных в результате анализа последних 10-15 лет с учетом наметившихся социально-экономических тенденций, с улучшением интеграционных процессов. Основные предположения заложенные в реальный сценарий перспективного развития даны в таблице 2.

Таблица 2 | Основные показатели реального сценария перспективного развития

Показатель	Годы	Ед.изм.	Юж. Казахстан	Киргизстан	Таджикистан	Туркменистан	Узбекистан
Темп роста населения	2020	%	1.0	1.5	1.0	1.0	1.2
Темп роста ВВП	2020	%	5-6	4.0	7.0	8.0	3-3.5
Вклад сельского хозяйства в ВВП	2020	%	25.0	35.0	25.0	15.0	30.0
Доля прямых иностранных инвестиций	2020	%	10.0	15.0	12.0	14.0	15.0
Доля инвестиций от ВВП	2020	%	24.0	18.0	25.0	20.0	22.0

Учет влияния климатических изменений на урожайность принимался из расчета, что прогнозируются сокращение периода прохождения фенологических фаз, сроков созревания и рост продуктивности посевов. Рост урожайности хлопчатника ожидается в среднем на 11%, зерновых колосовых на 7-15%, овощных и бахчи, на 10-15% (Стулина Г.В., Усманов В.). При этом прогнозируется небольшой рост удельного водопотребления (не более 1 %) по региону в целом (Сорокин А.Г.) .

3. Результаты тестирования сценариев перспективного развития с учетом влияния климатических изменений

Возможное суточное производство калорий на душу населения по оптимистичному сценарию уже после 2010 года достигает 3000 килокалорий в день, т.е. в регионе будет возможность самостоятельно производить продовольствие в объеме, превышающем требуемые нормы потребления. По сценарию сохранения существующих тенденций, возможное производство продовольствия будет способно удовлетворить только потребность в 1800 ккал. Такова ситуация в целом по региону. Однако, по отдельным странам, входящим в бассейн Аральского моря, ситуация несколько отличается от среднерегиональной. Так, в соответствии с выполненными расчетами Таджикистан в течение всего прогнозного периода не сможет сам обеспечить производство продовольствия на уровне 3000 ккал. в день, Киргизия - до 2015 года, Узбекистан – до 2014 года. Однако, в целом по региону, положительный баланс продовольствия начинается после 2010 г. Это говорит о том, что объемы производства продуктов питания в целом в регионе будут достаточны для удовлетворения нужд населения. Так, производя мясо с избытком в Казахстане, Киргизии и Туркмении можно полностью удовлетворить потребности в нем населения всего региона. При этом надо иметь в виду, что здесь учтен объем производства только на территории бассейна Аральского моря. Аналогичная ситуация с производством зерновых. Таким образом, расчеты, проведенные на модели, еще раз доказывают о необходимости интеграции сельскохозяйственного производства внутри региона.

Имеющийся в настоящее время потенциал развития орошения так и не сможет быть реализован до конца прогнозного периода ни по одному из сценариев. Однако можно сделать вывод, что даже при прогнозируемой продуктивности (по оптимистичному сценарию) потребности в продовольствии могут быть удовлетворены без масштабного развития орошения.

Наиболее устойчивым оказывается показатель орошаемых земель на душу населения. Хотя он снижается, что естественно, т.к. темпы роста населения превышают темпы роста орошаемых земель, но остается в обозначенных пределах.

В соответствии с оптимистичным сценарием объем расходуемых водных ресурсов (с учетом требований Арала) достигнет 93 км³.

По сценарию сохранения существующих тенденций водозабор составит порядка 102 км³ в год.

По национальным планам перспективного развития к 2020 году в численность населения в регионе достигнет порядка 65 млн. человек. Значительный прирост насе-

ния планируется в Таджикистане и Туркменистане – 8,9 и 11,4 млн. человек соответственно. Узбекистан планирует 37,4 млн. человек к 2020 г.

Валовой национальный доход на душу населения, в целом по региону, возрастет с 681 до 2300 долл./чел. Результаты расчета на основе национальных планов на уровень бассейна показывает, что уже с 2005 года суточное потребление калорий превышает 3000 килокалорий в день, т.е. в регионе будет возможность самостоятельно производить продовольствие в объеме, превышающем требуемые нормы потребления. Здесь следует отметить, что столь раннее достижение рациональной нормы питания по этим сценариям объясняется высокими темпами освоения новых орошаемых земель всеми государствами региона по национальным планам. Так в целом по региону за период с 2000 по 2020 гг. планируется освоить дополнительно около 3400 тыс. га орошаемых земель. Кыргызстан планирует освоить дополнительно 80 тыс. га к 2020 г., Узбекистан довести площадь орошаемых земель до 6000 тыс. га, Туркменистан до 2353 тыс.га, Таджикистан до 1185 тыс. га. С учетом того, что ввод новых земель колеблется от 5 до 7 тыс. \$/га, а экономическая эффективность достигается по прошествии 13 лет (по экспертным оценкам) потребуются инвестиции в экономику порядка 15 млрд. \$ за двадцатилетний период плюс реконструкция существующих земель (табл. 4). При этом требования к водным ресурсам достигнут 137 км³ в год! В бассейне Аральского моря доступные среднесуточные водные ресурсы составляют порядка 130 км³. Экологически допустимый уровень использования воды в бассейне Аральского моря оценен в 78 км³ - "экологически сбалансированный водозабор". Разница между экологически допустимым уровнем и требованиями на водные ресурсы составляет 54 км³!!!

Таблица 4

Государство	Ввод новых орошаемых земель	Капвложения	Доля капвложений от ВВП	ВВП	Средний рост ВВП (по отношению к базовому)
	1000 га	млн. \$	%	млрд. \$	%
Казахстан (Юж.)	114.6	573	5.1	11.3	17.7
Кыргызстан	78.5	392.5	9.3	4.2	14.0
Таджикистан	466	2330	37.6	6.2	16.3
Туркменистан	618	3090	4.8	64.1	97.1
Узбекистан	1872	9360	14.4	65.2	18.0
БАМ	3383.1	15745.5	10.4	151	27.1

В целом сравнение сценариев перспективного развития без учета и с учетом влияния климатических изменений показывает, что влияние климатических изменений благотворно скажется на степени обеспеченности продуктами питания порядка 5-7 % среднего роста, за счет наибольшего роста урожайности основных сельскохозяйственных культур, но при этом по всем сценариям наблюдается рост требований к водным ресурсам на 1-2 % в год.

Список использованной литературы

1. Uzbekistan, Economic Trends Quarterly Issue, Tashkent, 1999., 2000
2. Сорокин А.Г., Никулин А.С., Сорокин Д.А. "Управление водными ресурсами бассейнов рек Амударья и Сырдарья по вариантам развития с учетом изменений климата" (в этом сборнике), 2002 г.
3. Стулина Г., Усманов В. Что ждет сельское хозяйство в связи с изменением климата (в этом сборнике), 2002 г.
4. Ruziev M.T., Prikhodko V.G. "Implementation of the Aral Sea basin socio-economic model in assessment of opportunities to be gained through regional economic integration".

This article was reported on ICID 18th congress and 53rd International Executive Council Meeting on Young Professional Forum (July 21-28, 2002, Montreal, Canada)

5. Ruziev M.T., Prikhodko V.G. "Aral Sea Basin Management Model (ASB-MM) as decision support system (DSS) for assessment sustainability of perspective development of Aral Sea basin states". Central Asian water resources. 10 year annually of Interstate Coordination Water Commission Conference. (alma-aty 2002)

6. Ruziev M.T., Prikhodko V.G. Assessment of prospects of sustainable development of states in the Aral Sea basin with help of model calculations. Magazine "Melioration and Water Economy", № 1, 2002, Moscow, Russia

7. Avakyan I.S., Prikhodko V.G., Ruziev M.T. "Globesight" model as a decision support system for Aral Sea basin water vision in XXI century. Saniiri collection, Tashkent, 2000.

8. Dukhovny V.A., Avakyan I.S., Prikhodko V.G., Ruziev M.T. The Aral Sea basin and irrigated agriculture in Central Asia in XXI century. Magazine "Melioration and Water Economy", № 3, 2000, Moscow, Russia. (this article was also reported at II World Water Forum, Netherlands, Hague, March 2000).

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЯ НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ И ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

В.Т. Пиццатто (W.T. Pizzatto)

COPEL Geracao S/A

За последние сто лет вследствие активного использования ископаемого топлива в промышленности, сельском хозяйстве и транспорте увеличилась концентрация парниковых газов. Накопление этих газов, известных как парниковые (из-за поглощения ими тепла в атмосфере подобно стеклянным панелям парников), не допускает выхода радиации с поверхности Земли в космос. Как следствие – происходит процесс глобального потепления (повышение средней температуры Земли), подвергающий опасности хрупкий температурный баланс, обеспечивающий условия жизни на Земле. В данном исследовании планируется показать вкратце глобальные перспективы повышения спроса на энергию до 2100 года для различных источников энергии и соответствующие уровни эмиссии CO₂, который является главным виновником парникового эффекта. Будет также показан вклад Бразилии в данный процесс посредством возобновляемых источников энергии, таких как небольшие ГЭС.

Введение

Хотя климат всегда был изменчивым от природы, большинство ученых на данный момент уверены, что увеличение концентрации "парниковых газов" в атмосфере, в результате экономического и демографического роста, имеющего место в последние 200 лет со времени промышленной революции, опережает эту естественную изменчивость, приводя к необратимым климатическим изменениям. В 1995 году во втором оценочном отчете Межправительственной панели по климатическим изменениям (МПКИ) подтверждается, что: "факты указывают на заметное влияние человека на глобальный климат". Отчет прогнозирует, что средняя температура поверхности земли повысится к 2100 году на 1-3,5 °С, что соответствует наибольшему темпу изменения с конца последнего ледникового периода. К 2100 году также прогнозируется повышение среднего уровня океана на 15-95 см с затоплением некоторых прибрежных областей. Погодные условия также изменятся с повышением угрозы засухи, наводнений и ураганов в некоторых регионах.

Климатическая система является весьма сложной и ученым необходимо улучшить свое понимание размеров, ритма и эффектов этих климатических изменений. Тем не менее, данные, которыми мы уже располагаем, предупреждают о возможном отрицательном воздействии данного климатического изменения на здравоохранение, продовольственную обеспеченность, экономическую деятельность, водные ресурсы и инфраструктуру. Сельское хозяйство может серьезно пострадать от спада продуктивности культур в некоторых регионах. Могут распространиться тропические болезни; например, географическая область потенциального переноса малярии может вырасти ко второй половине нашего столетия с 45% населения мира до 60%. Повышения уровня океана и изменение климатической ситуации может привести к интенсивной миграции из наиболее серьезно пострадавших районов. Хотя никому не удастся избежать этих климатических изменений, бедные слои населения и страны пострадают значительно больше от отрицательного воздействия подобных изменений.

Согласно МПКИ, мировой уровень эмиссии углекислого газа (CO₂) в 1990 году составлял 7,4 млрд. тонн в год, из которых 6,0 млрд. относилось к выработке энергии, 1,2 млрд. к вырубке леса и пожарам, а 0,2 млрд. к производству цемента.

Мировой спрос на энергию

1,2 млрд. человек проживающих в промышленно развитых странах, что составляет около 20% населения мира, потребляют почти 60% энергоресурсов мира, в то время как 4,8 миллиарда используют оставшиеся 40%. Даже с учетом таких факторов, как низкие температуры и необходимость обогрева, эта разница весьма большая во многих из этих промышленно-развитых стран.

2 млрд. человек, которые составляют беднейшую часть населения мира (с доходом менее 1000 долл. США в год на душу населения), представляют малую, но растущую часть населения, проживающего в маленьких городах или в сельской зоне. Они потребляют только 0,2 ТУТ (тонн условного топлива в пересчете на нефть) на душу населения в год, в то время как в промышленно развитых странах это потребление может быть в 25 раз выше, в среднем составляя 5 ТУТ.

Таблица 1 | Глобальное потребление энергии

Страны/регионы	ТУТ	Население (млн.)	ТУТ на душу населения
США/Канада	2555	302	8.46
Япония/Австралия/ Новая Зеландия	680	148	4.59
Западная Европа	1660	385	4.31
СНГ и страны Восточной Европы (включая Иран)	1250	410	3.05
Ближний Восток	380	250	1.52
Латинская Америка (включая Мексику)	685	505	1.36
Китай	1230	1260	0.98
Оставшаяся часть Азии (включая Турцию)	890	910	0.8
Африка	480	760	0.63
Индия	590	980	0.60
ВСЕГО	10 400	5910	1.76

Источники: BP/Amoco Statistical Review of Energy, июнь 1999г.; УМ Population Fund, сентябрь 1999г.

Исходя из прогнозов, составленным такими международными финансовыми организациями, как Всемирный банк и Международный валютный фонд, в течение следующих десятилетий наибольшие показатели роста будут наблюдаться в Азии и Южной Америке. Население этих регионов будет продолжать быстро расти, по сравнению с другими странами и в то же время их условия жизни будут улучшаться, т.е. им потребуется больше бытовых электроприборов, производств и услуг, таким образом, вырастет потребление энергии. Транспортный сектор этих стран переживет революцию, поскольку число машин на жителей все еще слишком низкое по сравнению с развитыми странами, т.е. потребление нефтепродуктов также увеличится.

Рис. 1 показывает спрос на энергию трех экономических групп: OECD (промышленно развитые страны); СЕЕ+СИС (страны с переходной экономикой) и DC (развивающиеся страны, например Бразилия). Исследования, проведенные за последние несколько лет, указали на более быстрый рост потребления энергии в развивающихся странах, чем в развитых странах. Это показатель того, что в развивающихся странах больше потребности в энергии, поскольку население этих стран хочет пользоваться теми же привилегиями, что и население развитых стран. Согласно прогнозам, эта тенденция будет сохраняться, по крайней мере, до 2100 года.

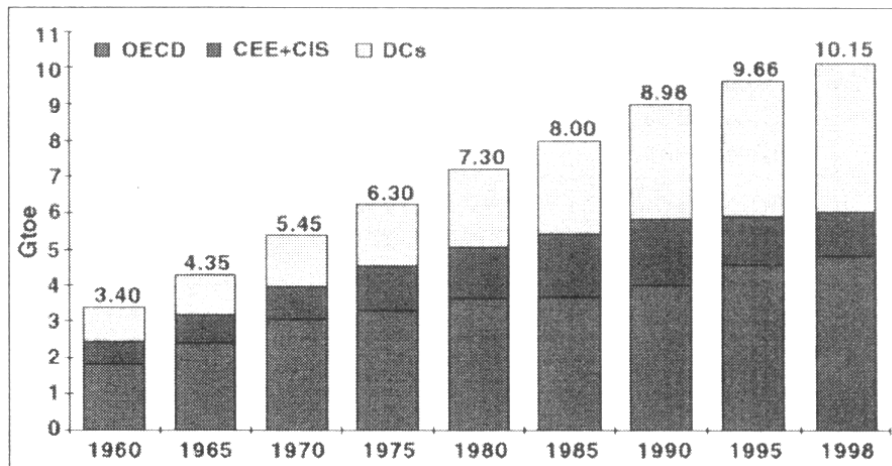


Рис. 1 | Эволюция потребления энергии по экономическим группам за период 1960-1998 гг.

Сценарий мирового спроса на энергию

В 1993 году Всемирный Энергетический Совет (ВЭС) опубликовал работу под названием "Энергия в свете завтрашнего дня". Эта работа была признана надежным источником прогнозов по энерговопросам и в последние годы она была пересмотрена и обновлена.

Анализы были выполнены на основе трех различных сценариев:

Сценарий А - высокий уровень экономического роста

Сценарий В - средний или опорный сценарий

Сценарий С - экологически ориентированный

По сценарию А предусматривается высокий экономический рост и соответствующее производство и потребление энергии.

Сценарий В представляет средний или опорный сценарий, при котором поддерживается текущий уровень экономического роста.

Сценарий С ориентирован на экологию, т.е. по данному сценарию прогнозируется сохранение эмиссии углекислого газа на уровне 1990 года за счет широкого использования возобновляемых источников энергии, а не ископаемого топлива.

Исходя из параметров, установленных для трех сценариев (таблица 2), можно составить несколько прогнозов спроса на энергию. На рис. 2 показана динамика спроса на энергию с 1850 по 1990 гг. и его прогноз до 2100 г в связи с тремя базовыми сценариями. На маленькой диаграмме показана оценка роста населения в млрд. чел.

Таблица 2 | Оценка трех сценариев на 2050 и 2100 гг.

	Сценарии		
	А	В	С
Население, млрд. чел.			
1990	5.3	5.3	5.3
2050	10.1	10.1	10.1
2100	11.7	11.7	11.7
ВВП, триллион долл.США (1990)			
1990	20	20	20
2050	100	75	75
2100	300	200	220
Удельное энергопотребление, доля ежегодного снижения			
1990 к 2050	-0.9	-0.8	-1.4
1990 к 2100	-1.0	-0.8	-1.4
Основной спрос на энергию, Gtep			
1990	9	9	9
2050	25	20	14
2100	45	35	21
Обеспеченность ресурсами			
ископаемые	высокая	средняя	низкая
неископаемые	высокая	средняя	высокая
Технологическая стоимость			
ископаемые	низкая	средняя	высокая
неископаемые	низкая	средняя	низкая
Передача технологий			
ископаемые	высокая	средняя	средняя
неископаемые	высокая	средняя	высокая
Налог на экологию	нет	нет	да
Ограничение эмиссии CO ₂	нет	нет	да
Эмиссия карбоновой жидкости, GtC			
1990	6	6	6
2050	9-15	10	5
2100	6-20	11	2

Сокращения: Gtep - гига тонн условного топлива в пересчете на нефть; GtC - гига тонн углерода

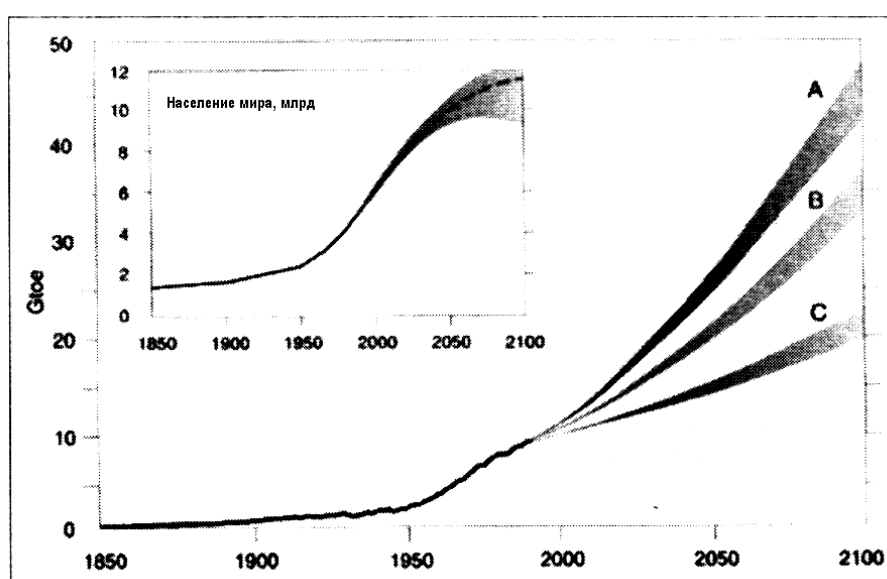


Рис. 2 | Прогноз спроса на энергию по сценариям А, В и С

В 1998 году Всемирный Энергетический Совет (ВЭС) совместно с Международным институтом прикладных систем пересмотрел и обновил данные работы "Энергия в свете завтрашнего дня". Из трех основных сценариев было сделано шесть новых: сценарий А был разделен на сценарии А1, А2 и А3, а сценарий С на варианты С1 и С2 с различными тенденциями с учетом динамики энергоматрицы, согласно табл. 3.

Таблица 3 | Прогнозы на 2050 г. по различным энергетическим сценариям

	1990	(Gtep) 2050					
		A1	A2	A3	B	C1	C2
Уголь	2.2	3.8	7.8	2.2	4.1	1.5	1.5
Масло горючее	3.1	7.9	4.8	4.3	4.0	2.7	2.6
Природный газ	1.7	4.7	5.5	7.9	4.5	3.9	3.3
Ядерное топливо	0.5	2.9	1.1	2.8	2.7	0.5	1.8
Гидроэнергия	0.4	1.0	1.1	1.1	0.9	1.0	1.0
Новые возобновляемые источники энергии	0.2	3.7	3.8	5.7	2.8	3.8	3.2
Биомасса	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
Всего	9.0	24.8	24.8	24.8	19.8	14.2	14.2
Эмиссия углерода (GtC)	6.0	11.7	15.1	9.2	10.0	5.4	5.0

В сценарии А1 большее ударение ставится на интенсивное использование горючего масла, природного газа и угля, поэтому он дает высокие показатели эмиссии загрязняющих веществ.

Сценарий С1 подчеркивает использование возобновляемых источников энергии и создание новых форм возобновляемой энергии.

Сценарий С2 также экологически ориентирован. Однако он рассчитывает на большее участие атомной энергии.

Все из этих сценариев указывают на тенденцию более интенсивного использования в 2100 атомной энергии и энергии из возобновляемых источников, а не ископаемого топлива. Это перемещение было особо отмечено в сценариях С1, С2 и А3, но в сценарии А2 это изменение не столь интенсивно, как показано на рис.4. Этот факт подтверждается растущими экологическими ограничениями и истощением природных источников этих ископаемых ресурсов.

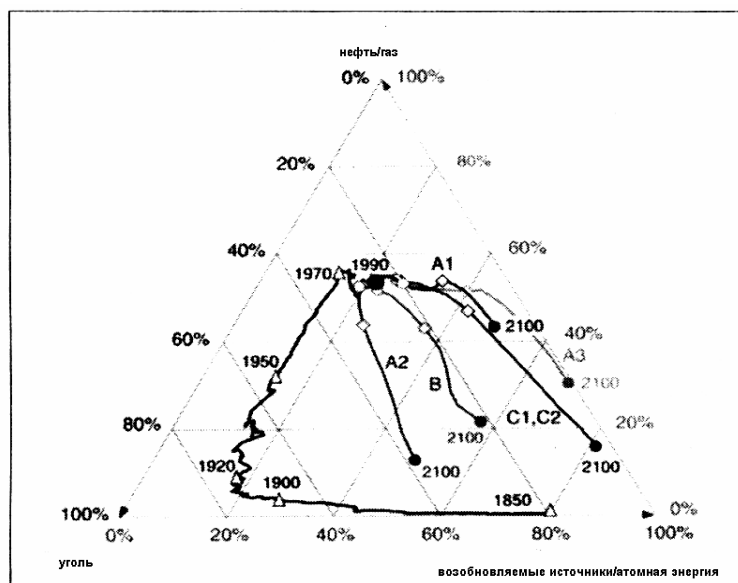


Рис.4 | Перспективы использования различных источников энергии

Общая эмиссия парниковых газов

Исходя из прогнозов по каждому сценарию спроса на энергию, мы можем оценить общую эмиссию углекислого газа для каждого из суб-сценариев на 2100 год (рис. 5):

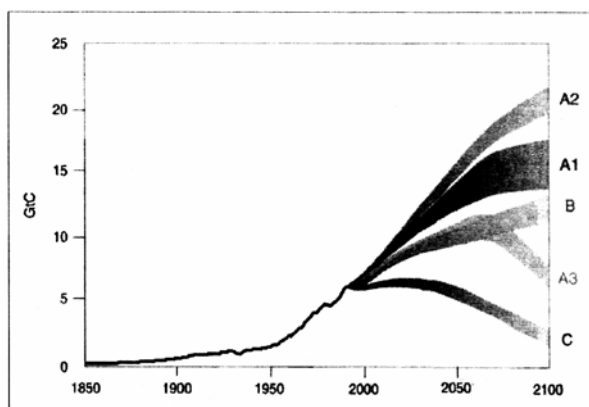


Рис.5 | Общая эмиссия углерода до 1990 года и прогноз на 2100 год

Изменение средней глобальной температуры на поверхности земли непосредственно связано с концентрацией углекислого газа в атмосфере. На рисунке 6 показаны концентрации углекислого газа в ppmv (части на миллион в объеме) с 1950 года и их прогнозы по нескольким сценариям до 2100 года и соответствующее повышение глобальной температуры. Все эти данные базируются на 1990 г.

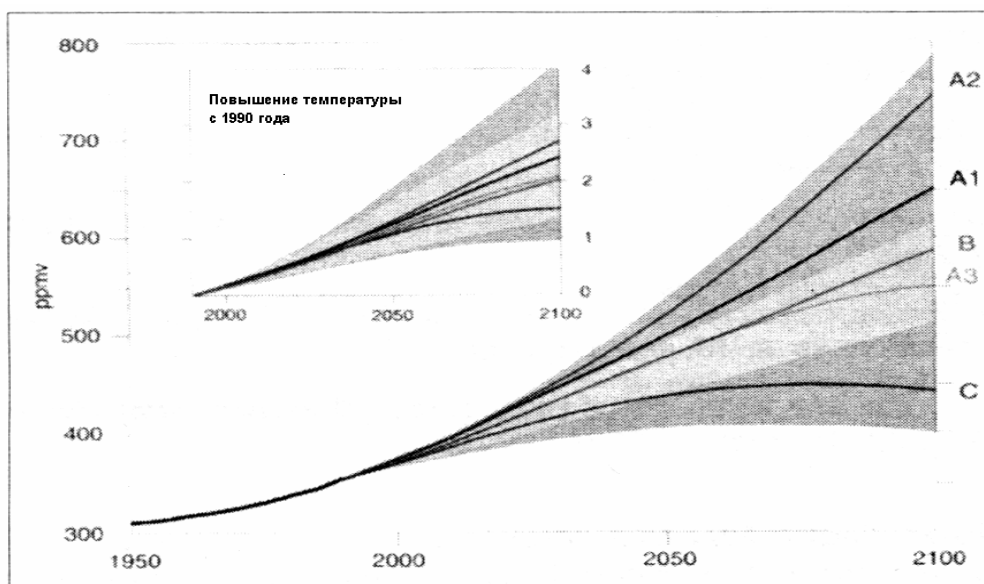


Рис.6 | Динамика концентрации CO₂, выраженной в ppmv и глобальная средняя температура

Бразильская энергетика

Страна имеет крупную гидроэнергетическую систему, которая обеспечивает около 95% национального спроса. В настоящее время это составляет 75778 МВт энергии, распределенной по 1055 действующим станциям. Из этого общего объема 855 МВт приходится на долю небольших гидроэлектростанций (НГЭС), что составляет 1,13%.

Что касается парниковых газов, которые являются следствием растительного распада в водохранилищах и водо-углеродной смеси в водозаборе, то производство гидро-

электроэнергии представляет больше преимуществ, чем использование термоэлектричества.

С другой стороны почти полная зависимость от одного источника энергии, который зависит от гидрологического режима, заставила правительство сделать инвестиции в расширение энергоматрицы. Наличие новых частных фирм в энергетическом секторе ведет к строительству тепловых установок, которые не смотря на более высокие затраты производства энергии, требуют меньших инвестиций. Кроме того, возврат инвестиций происходит скорее. Помимо этого, большая часть бразильского гидроэлектрического потенциала расположена в районе Амазонки и интенсивная программа развития гидроэлектростанций может привести к необратимым последствиям в лесах, включая их биологическую вариативность.

В Бразилии эмиссии углекислого газа от сжигания ископаемого топлива в энергетике выросли с 55,2 млн. тон углерода в 1990 году до 64,5 млн. тонн в 1994 году. Это дает увеличение приблизительно на 16,6% и ясно указывает на усиление использования ископаемого топлива, а не топлива из возобновляемых источников.

Использование этилового спирта, производимого из сахарного тростника, является другим преимуществом Бразилии. Он может быть использован в чистом виде или добавляться в бензин. Поскольку спирт возобновляем, его чистая эмиссия CO₂ практически равна нулю. Кроме того, в процессе производства спирта вырабатывается жмых сахарного тростника, который в прошлом считался побочным продуктом и выбрасывался. В настоящее время этот жмых служит важным источником энергии, который используется при выработке тепла и электричества.

Топливная древесина, не смотря на недавнее снижение в ее потреблении, все еще составляет значительную долю в бразильской энергосистеме (непосредственное сжигание древесины или ее преобразование в древесный уголь). Хотя повышенное использование бутана вытесняет топливную древесину в сельской зоне, она все еще используется для приготовления пищи и нагрева воды.

Древесный уголь все еще широко используется в энергетике, однако в настоящее время в черной металлургии и сталелитейном производстве его заменяют импортируемым углем.

Эти факты объясняют текущую выгодную позицию Бразилии в отношении общего уровня эмиссии парниковых газов. С 1950 года общая эмиссия CO₂ в Бразилии составила 6,6 млрд. тонн против 186,1 в США, 127,8 в Европейском Союзе и 68,4 млрд. в бывшем Советском Союзе.

Структура бразильской энергетической матрицы переживает изменения ввиду дальнейшего продолжения своего социально-экономического развития. Будущие правительственные меры, которые урегулируют экспансию спроса на энергию в Бразилии, должны не допустить перехода страны на тот же путь, с которого в настоящее время пытаются сойти развитые страны.

Комментарии и заключение

В мире все больше повышается спрос на энергию. К 2030 г. он увеличится почти вдвое, а без электричества и топлива нет экономического роста, поэтому не удастся уничтожить нищету и уровень жизни растущего населения развивающихся стран невозможно будет улучшить.

Основными факторами, определяющими темпы роста мирового спроса на энергию и ее использование в следующем веке, являются:

- темпы роста населения
- показатели социально-экономического развития
- условия финансирования и организационная политика в энергетике
- динамика экологических ограничений
- уровень эффективности производства и использования энергии
- технологические исследования и проектно-конструкторские разработки относительно производства и использования энергии

Всемирный Энергетический Совет (ВЭС) на своем конгрессе, проведенном в Хаустоне в 1998 году, показал, что необходимыми условиями для устойчивого развития будут расширение выгод, получаемых от использования энергии, таких как транспорт,

обогрев, приготовление пищи и освещение, для населения, которое до сих пор не получило доступа к этим услугам.

В 2100 году страны, которые сегодня считаются развивающимися, будут отвечать за 80% от общего потребления энергии, даже если обеспеченность энергией на душу населения в этих странах будет меньше, чем во всем остальном мире.

Любой прогноз по использованию энергии до 2100 года вероятно станет попросту гипотетическим, единственно необходимо помнить о том насколько изменился мир после промышленной революции. В этот период человек изобрел автомобиль и самолет, полетел на Луну, создал интернет, нашел лекарства от нескольких болезней и увеличил продолжительность жизни. Тем не менее, некоторые показатели, которые наблюдались за последние несколько десятилетий, позволяют нам оценить направление в развитии энергетических вопросов, например, почти линейное соотношение между устойчивым ростом ВВП и спросом на энергию.

Истощение имеющихся ресурсов нефти и природного газа с одновременным давлением на использование возобновляемых источников энергии, которые более приемлемы с экологической точки зрения, определяют энергетическую матрицу этого века. Повышение мирового спроса на энергию будет компенсировано использованием различных источников энергии, поступающей, с ускоряющимся темпом, от возобновляемых источников энергии, таких как малые ГЭС.

При обеспечении безопасной работы атомных станций и при нахождении приемлемого решения по размещению ядерных отходов, огромные резервы атомной энергии обеспечат значительное количество энергии на будущее.

Если тревога в отношении изменений общего климата подтвердится, то оценки о том, что текущая эмиссия углекислого газа от сжигания ископаемых видов топлива утроится к 2050, будут недопустимы.

Изменение климата угрожает человечеству, и никто не знает, какие последствия будет оно иметь и насколько оно серьезно. Тем не менее, если страны решат подождать до получения полной уверенности, то, вероятно, будет слишком поздно что-либо предпринимать.

ТРЕТЬЯ ОЦЕНКА МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННОГО СОВЕТА ПО ГЛОБАЛЬНЫМ КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ (ИПСС): НАУКА

Tiempo | Issue 38/39 June 2001

Роль Межправительственного Совета по глобальным климатическим изменениям (ИПСС) заключается в обеспечении международного сообщества экспертным управлением по научным и техническим аспектам проблем климатических изменений.

С 1990 года ИПСС раз в пять лет давал оценку и составлял отчет о современном состоянии знания и понимания вопроса изменений климата.

Эти отчеты обеспечивают политическим деятелям объективную оценку и обзор информации по глобальным изменениям климата.

Третья Оценка состоит из трех частей.

- Рабочая Группа I ИПСС отчитывается в современном понимании теоретической науки климатических изменений.
- Рабочая Группа II сообщает о воздействиях, мерах адаптации, а также уязвимости под влиянием глобального потепления климата.
- Рабочая Группа III дает отчет о научном, техническом, экологическом и социальном аспектах вместе с вариантами смягчения глобального потепления.

Учитывая важность отчетов ИПСС как всемирный научный консенсус в области понимания проблемы глобального потепления, мы считаем ее актуальным и полезным то, что Tiempo представляет резюме отчета каждой из рабочих групп.

Отчет Рабочей Группы I ИПСС был утвержден в январе 2001 года, когда делегаты из 99 стран встретились в Шанхае, КНР. В этом выпуске представлены выборочные отрывки из резюме Рабочей Группы I для политических деятелей о теоретической науке вопроса глобального потепления климата. В дальнейших выпусках бюллетеня будут представлены отрывки из отчетов других рабочих групп.

Следующий текст взят дословно из Резюме для политиков. Даются все главные выводы, хотя некоторые объяснительные детали опущены.

Резюме для политиков

Третья Оценка Рабочей Группы 1 Межправительственного Совета строится на предыдущих оценках и вводит новые результаты за последние пять лет исследования глобального потепления. Многие сотни ученых из разных стран участвовали в ее подготовке.

Это Резюме для политиков, которое было утверждено правительствами-членами ИПСС, Шанхае в январе 2001 года, описывает современное состояние понимания климатической системы и дает оценки прогнозируемой в будущем эволюции и неопределенности.

Растущее число наблюдений дает собирательную картину потепления мира и других изменений в климатической системе

С момента выхода второй оценки дополнительные данные из новых исследований современного климата и палеоклимата, улучшенный анализ наборов данных, более строгая оценка их качества, а также сопоставления данных из различных источников привели к более глубокому пониманию глобального потепления.

Глобальная средняя температура поверхности Земли увеличилась на 0,6 °C

- Глобальная средняя температура поверхности Земли выросла с 1861 г. В течение 20 века увеличение было равно $0,6 \pm 0,2$ °C. Это значение на $0,15$ °C выше, чем температу-

ра, отмеченная SAR, за период по 1994 год, благодаря относительно высоким температурам дополнительных лет (1995-2000 гг.) и усовершенствованным методам переработки данных. Эти числа учитывают различные поправки, включая влияние «теплого купола» над городом. Запись показывает сильную изменчивость: например, самое сильное потепление произошло в 20 веке, в два периода, с 1910 по 1945 гг. и с 1976 по 2000 гг.

- В глобальном аспекте вполне вероятно, что 90-е годы были самой теплой декадой, а 1998 г. - самым теплым годом с 1861 г.
- Новые анализы достоверных данных северного полушария указывают, что повышение температуры в 20 веке было самым большим повышением за прошедшие 1000 лет. В северном полушарии 90-е годы были самой теплой декадой, а 1998 г. - самым теплым годом. Поскольку имеется мало данных, мало известно о среднегодовых температурах в течение 1000-летнего периода до настоящего времени, а также об условиях, преобладающих в большей части южного полушария до 1861 г.

Температуры поднялись за последние четыре десятилетия в самом нижнем 8 км слое атмосферы

Со второй половины 50-х годов (период необходимых наблюдений с помощью зондов) общая глобальная температура выросла в самых нижних 8 км слоях атмосферы и на поверхности температура поднималась на 0,1 °C в десятилетие!

- С начала спутниковой съемки в 1979 г. и измерения спутника, и измерения метеозонда показывают, что глобальная средняя температура самого нижнего 8 км слоя атмосферы изменилась на $+0,05 \pm 0,10$ °C за десятилетие, однако, глобальная средняя температура поверхности выросла значительно – на $+0,15 \pm 0,05$ °C за десятилетие. Разница в темпах потепления статистически значительна. Эта разница в первую очередь появилась в тропических и субтропических регионах.
- Самые нижние 8 км слои атмосферы и поверхность земли по разному подвергаются влиянию факторов, таких как истощение озонового слоя в стратосфере, атмосферные аэрозоли, а также феномен Эль-Ниньо. Следовательно, можно ожидать, что через короткий период времени (например, 20 лет) могут появиться различия в температурных трендах. Кроме того, пространственные методы отбора образцов могут также объяснить некоторые различия в трендах, но эти различия разрешены не полностью.

Покров снега и льда сократился

- Спутниковые данные показывают, что со второй половины 60-х годов снежный покров сократился примерно на 10%, а наземные наблюдения показывают, что сокращение происходило около двух недель в годовой продолжительности стояния озерного и речного покрова льда в средних и высоких широтах северного полушария в течение 20 века.
- В течение 20 века горные ледники отступили в неполярные регионы.
- С 50-х годов покров морского льда весной и летом в северном полушарии сократился от 10 до 1-5%.

Глобальный средний уровень моря поднялся и теплосодержание океана увеличилось

- Данные измерения прилива показывают, что в 20 веке глобальный средний уровень моря поднялся на 0,1-0,2 метра.
- Теплосодержание мирового океана выросло со второй половины 50-х годов – период, за который проводились необходимые наблюдения подводных температур океана.

Изменения произошли и в других важных, климатических аспектах

- Количество осадков увеличилось на 0,5-1% за десятилетие в 20 веке на большинстве средних и высоких широтах континентов северного полушария и похоже, что количество осадков выросло на 0,2-0,3% в десятилетие на территориях тропической суши (10°N - 10°S). Увеличение количества осадков в тропиках последние несколько десятилетий незначительно. Количество осадков снизилось на большой территории субтропиков се-

верного полушария (10°N - 30°N) в 20 веке примерно на 0.3% за десятилетие. Составляя контраст северному полушарию, в южном полушарии не были обнаружены сравнимые систематические изменения широтных средних показателей температур.

- Теплые периоды явления Эль-Ниньо - южное колебание ... стали более частыми, устойчивыми и интенсивными с середины 70-х годов в сравнении с предыдущими 100 годами.
- В некоторых регионах, таких как части Азии и Африки, наблюдалось усиление частоты и интенсивности засух за последние десятилетия.

Климатическими изменениями в понимании IPCC является любое изменение климата в течение какого-то времени, произошедшее либо благодаря природной изменчивости, либо в результате человеческой деятельности. Это понятие отличается оттого, что употребляется в Рамочной Конвенции по климатическим изменениям, где климатические изменения относятся к изменениям климата, которые приписываются прямо или косвенно человеческой деятельности, изменяющей состав атмосферы земного шара, и которая, кроме природной изменчивости климата, наблюдается через соизмеримые периоды времени.

Некоторые важные аспекты климата не изменились

- За последние десятилетия немногие уголки земного шара избежали потепления, в основном, некоторые части океанов южного полушария и части Антарктики.
- Глобальные изменения интенсивности и частоты тропического и внетропического шторма подавляются междекадными и мультидекадными изменениями с незначительными тенденциями, очевидными в 20 веке. Спорные анализы затрудняют достижение определенных выводов об изменениях в активности шторма, особенно вне тропиков.

Выбросы тепличных газов и аэрозолей вследствие человеческой деятельности продолжают изменять атмосферу, что может повлиять на климат

Изменения климата происходят в результате как внутренней изменчивости в климатической системе, так и под влиянием внешних факторов (природных и антропогенных). Влияние внешних факторов на климат можно в широком смысле сравнивать, используя идею радиационной силы. Положительная радиационная сила, например, произведенная растущими концентрациями тепличного газа, имеет тенденцию нагревать поверхность Земли. Отрицательная радиационная сила, которая происходит в результате увеличения содержания некоторых видов аэрозолей (микроскопические частицы в воздухе), охлаждает Землю. Природные факторы, такие как изменения интенсивности солнечного излучения или взрывоопасной вулканической деятельности, тоже могут произвести излучающую силу.

Концентрации атмосферных тепличных газов и их радиационная сила продолжают увеличиваться в результате человеческой деятельности

- Атмосферная концентрация двуокиси углерода (CO₂) с 1750 г. выросла на 31%. Современная концентрация CO₂ не изменялась за прошедшие 420 000 лет и, вероятно, даже за прошедшие 20 миллионов лет. Современные темпы роста беспрецедентны, по крайней мере, за последние 20 000 лет.
- Около трех четвертей антропогенных выбросов CO₂ в атмосферу за последние 20 лет происходит в результате сжигания ископаемого горючего. Остальные выбросы происходят, в основном, благодаря переменам в землепользовании, особенно вырубке лесов.
- В настоящее время океан и суша вместе принимают около половины всех антропогенных выбросов CO₂. На суше прием антропогенных выбросов CO₂ превышает выброс CO₂ в результате вырубки лесов в 90-е годы.
- Атмосферная концентрация метана (CH₄) выросла на 1060 мг/л (151%) с 1750 г. и продолжает расти. Современная концентрация CH₄ не изменялась в течение последних 420 000 лет.. Чуть больше половины современных выбросов CH₄ являются антропогенными (например, использование ископаемых горючих, скота, рисовой, сельского хозяй-

ства и мусорных свалок). Кроме того, выбросы однооксида углерода (CO) были определены недавно как причина увеличения концентрации CH₄.

- Атмосферная концентрация закиси азота (N₂O) с 1750 г. выросла на 46 мг/л (17%) и продолжает расти. Современная концентрация N₂O не превышалась, по крайней мере, за последнюю тысячу лет. Около трети выбросов закиси азота являются антропогенными (например, с/х почвы, силос и химическая промышленность).
- С 1995 г. атмосферные концентрации многих из этих галоуглеродных газов, которые как истощают озоновый слой, так и являются тепличными газами (например, CFCl₃ и CF₂Cl₂) либо увеличиваются медленнее, либо уменьшаются, реагируя на сокращение выбросов в результате соблюдения положений Монреальского протокола и его поправок...
- Наблюдаемое истощение озонового (O₃) слоя в стратосфере с 1979 по 2000 гг. оценивается как причина, вызывающая негативную излучающую силу (-0,15 Вт·м⁻²). Учитывая полное соответствие с современными положениями о галоуглеродах, их позитивная радиационная сила уменьшится, как и величина негативной радиационной силы, вызванной истощением стратосферного озонового слоя, когда слой восстановится в течение 21 века.
- Общее количество O₃ в тропосфере с 1750 г. увеличилось на 36%, в первую очередь благодаря антропогенным выбросам нескольких газов, формирующих O₃...

Сценарии выбросов IPCC

A1

Сюжетная линия и ряд сценариев A1 характеризует мир будущего стремительного экономического роста: численность мирового населения, которая достигнет пика в середине века, а потом будет падать, а также быстрое внедрение новых и более эффективных технологий. Самые главные темы включают конвергенцию регионов, создание организационного потенциала и усилившиеся культурные и социальные взаимодействия при существенном сокращении разницы подушного налога между регионами.

Ряд сценариев A1 разделяется на три группы, которые характеризуют альтернативные направления технологического изменения в энергетической системе. Три группы A1 различаются по технологическому акценту:

- акцент на интенсивном использовании ископаемого горючего (A1F1),
- акцент на не ископаемых энергетических источниках (A1T),
- или балансе всех источников (A1B) (где баланс не определяется как усиленный упор на один конкретный источник энергии, исходя из предположения, что подобные темпы улучшения можно применить ко всему энергоснабжению и прекратить использовать технологии).

A2

Сюжетная линия и ряд сценариев A2 характеризуют крайне неоднородный мир. Основной темой является самостоятельность и сохранение местных индивидуальных особенностей. Схемы плодородия по регионам сходятся в одной точке очень медленно, что приводит к непрерывному росту населения. Экономическое развитие в первую очередь ориентировано региональный рост экономики на душу населения, и технологические изменения более фрагментированы и происходят медленней, чем другие сюжетные линии.

B1

Сюжетная линия и ряд сценариев описывают конвергентный мир с такой же численностью мирового населения, которое достигает пика в середине века и снизится после, как в сюжетной линии A1, но это будет сопровождаться быстрым изменением экономических структур в отношении услуг и информационной экономики, с сокращениями материальной интенсивности и внедрения чистых и эффективных по ресурсам технологий! Акцент падает на глобальные решения экономической, социальной и экологиче-

ской устойчивости, включая усовершенствованное равенство, но без дополнительных инициатив по климатическим изменениям.

B2

Сюжетная линия и ряд сценариев B2 описывают мир, в котором акцент падает на местные решения по экономической, социальной и экологической устойчивости. Это мир с непрерывно растущим мировым населением, темпы роста которого ниже, чем в A2, с промежуточными уровнями экономического развития, и менее быстрым и более разнообразным технологическим изменением, чем в сюжетных линиях B1 и A1. Так как сценарий также ориентирован на экологическую защиту и социальное равенство, он фокусируется на местном и региональном уровнях.

Иллюстративный сценарий был выбран для каждой из шести групп сценариев A1B, A1F1, A1T, A2, B1 и B2. Все должно учитываться одинаково тщательно. Сценарии SRES не включают дополнительных инициатив по климатическим изменениям, что означает, что ни один сценарий не включен, что явно подразумевает воплощение Рамочной Конвенции ООН по климатическим Изменениям или цели выбросов Киотского протокола.

Антропогенные аэрозоли недолговечны и в основном производят негативную радиационную силу

- Главными источниками антропогенных аэрозолей является сгорание ископаемого горючего и биомассы. Эти источники связаны с ухудшением качества воздуха и кислотным осадком.
- С момента второй оценки, значительный прогресс был сделан в характеристике прямых радиационных ролей различных типов аэрозолей. Прямая радиационная сила оценивается как $-0,4 \text{ Wm}^{-2}$ для сульфата, $-0,1 \text{ Wm}^{-2}$ для ископаемого органического углерода и $+0,2 \text{ Wm}^{-2}$ для аэрозолей ископаемого черного углерода. Намного меньше уверенности в отношении способности выразить количественно общее прямое влияние аэрозоля и его эволюции во времени, чем в отношении газов, перечисленных выше. Аэрозоли также значительно изменяются по регионам и быстро реагируют на изменения выбросов.
- Кроме прямой радиационной силы, аэрозоли обладают косвенной радиационной силой через воздействие на облака. В настоящее время существует больше доказательств негативного косвенного влияния, хотя оно имеет очень неопределенную величину.

Природные факторы в течение прошлого века принимали незначительное участие в создании радиационной силы

- Радиационная сила благодаря изменениям интенсивности солнечной радиации за период с 1750 г. оценивается примерно $+0,3 \text{ Wm}^{-2}$, большинство из которых произошли в первой половине 20 века. Со второй половины 70-х годов спутниковые инструменты наблюдали малые колебания благодаря 11-летнему солнечному циклу. Были предложены механизмы уточнения солнечных воздействий на климат, однако, к настоящему времени отсутствует серьезный теоретический или наблюдательный базис.
- Стратосферные аэрозоли из взрывных вулканических извержений приводят к негативной силе, которая длится несколько лет. Несколько крупных извержений произошли в периоды 1880-1920 гг. и 1960-1991 гг.
- Комбинированное изменение радиационной силы двух основных природных факторов (солнечные изменения и вулканические аэрозоли) оценивается как негативное последние два, возможно четыре, десятилетия.

Растет способность моделей прогнозировать будущий климат

Сложные физические климатические модели необходимы для обеспечения детальных оценок обратных связей и региональных особенностей. Такие модели еще не могут имитировать всех аспектов климата (например, они не могут полностью учитывать наблюдаемое направление разницы поверхностно-тропосферных температур с 1979 г.), и существуют конкретнее неопределенности, связанные с облаками и их взаимодействием

с излучением и аэрозолями. Тем не менее, уверенность в способности этих моделей обеспечить полезные прогнозы будущего климата увеличилась благодаря выполнению демонстрируемому в диапазоне пространственных и временных шкал.

- Имитации, которые включают оценки природной и антропогенной силы, воспроизводят наблюдаемые крупномасштабные изменения поверхностной температуры в течение 20 века. Однако некоторые дополнительные процессы и силы не могут быть включены в модели. Тем не менее, крупномасштабная согласованность между моделями и наблюдениями может быть использована, чтобы обеспечить независимую проверку спрогнозированных темпов потепления в течение ближайших десятилетий по данному сценарию выбросов.
- Улучшены некоторые аспекты модельных имитаций ENSO, муссоны и Северо-Атлантическое колебание, а также избранные периоды прошлого климата.

Есть новое и более сильное доказательство того, что самое сильное потепление, наблюдаемое последние 50 лет, является результатом человеческой деятельности

В отчете второй оценки делается вывод: "Равновесие доказательств предполагает различное влияние человека на глобальный климат". В этом отчете также отмечено, что антропогенный сигнал все еще поступает в силу природной изменчивости климата прошлых лет. С момента второй оценки был сделан прогресс в сокращении неопределенности, особенно что касается различия и количественного определения силы реакций на различные внешние влияния. Хотя многие источники неопределенности, описанные во втором отчете, все еще в некоторой степени существуют, новое доказательство и улучшенное понимание поддерживают последнее заключение.

- Существует более длительная и ближе рассмотренная запись температуры и новые модельные оценки изменчивости. Потепление за последние 100 лет не могло происходить только по причине внутренней изменчивости, как определили современные модели. Восстановления климатических данных за последние 1000 лет также указывают, что потепление было необычным и не могло быть полностью природного происхождения.
- Появились новые оценки реакции климата на природную и антропогенную силу, и применялась новая техника обнаружения. Исследования по обнаружению и классификации последовательно находят доказательство антропогенного сигнала в записи климата за последние 35-50 лет.
- В свете нового доказательства и, учитывая остающиеся неопределенности, большая часть потепления за последние 50 лет, возможно, происходила благодаря росту концентрации тепличного газа.
- В дальнейшем, вероятно, что потепление 20 века внесло свой значительный вклад в наблюдаемый подъем уровня моря путем теплового распространения морской воды и широкие потери ледяного покрова суши. При настоящих неопределенностях наблюдения и модели последовательны при недостатке значительного ускорения подъема уровня моря в 20 веке.

Влияние человеческой деятельности будет продолжать изменять атмосферный состав на протяжении 21 века

Модели использовались для прогнозирования атмосферных концентраций тепличных газов и аэрозолей, а, следовательно, будущего климата, на базе сценариев выбросов из специального отчета сценариев выбросов (SRES) IPCC.

- Выбросы CO₂ в результате сгорания ископаемого горючего фактически доминируют, влияя на тренды в атмосферном содержании CO₂ в 21 веке. К 2100 г. модели углеродного цикла прогнозируют атмосферное содержание CO₂ от 540 до 970 мг/л для иллюстративных сценариев SRES (на 90-250% относительно концентрации 280 мг/л в 1750 г.) Эти прогнозы включают взаимосвязи климата суши и океана. Неясности, особенно в отношении величины климатической обратной связи земной биосферы, вызывают изменение около -10 до +30% вокруг каждого сценария. Общий диапазон составляет 490-1260 мг/л (на 75-350% относительно концентрации 1750 г.).
- Чтобы стабилизировать радиационную силу потребуются сокращения выбросов тепличного газа и газов, которые изменяют свое содержание. Например, что касается важ-

ного антропогенного тепличного газа, модели цикла углерода указывают, что стабилизация атмосферного содержания CO_2 равного 450, 650 или 1000 мг/л потребует глобальных антропогенных выбросов CO_2 с целью опустить показания ниже уровня 90-х годов в течение нескольких декад, около века или двух, соответственно, и продолжают постоянно уменьшать их в дальнейшем. В конце концов, выбросы CO_2 должны сократиться до очень малой доли современных выбросов.

- Сценарии SRES включают возможность, как увеличения, так и уменьшения количества антропогенных аэрозолей (например, аэрозоли сульфата, аэрозоли биомассы, черные и органические углеродные аэрозоли) в зависимости от степени использования ископаемого горючего и стратегий уменьшения загрязняющих выбросов. Кроме того, прогнозируется, что природные аэрозоли (например, морская соль, пыль и выбросы, приводящие к образованию сульфатных и углеродных аэрозолей) увеличатся в результате климатических изменений.

- Что касается иллюстративных сценариев SRES, относительно 2000 г., глобальная средняя радиационная сила благодаря тепличным газам продолжает расти в 21 веке одновременно с долей содержания CO_2 , которая, составляя чуть больше половины, достигнет примерно трех четвертей. Ожидается, что изменение прямой и косвенной аэрозольной радиационной силы будет меньше изменения содержания CO_2 .

Ожидается, что средняя температура земного шара и уровень моря поднимутся согласно сценариям IPCC SRES

Чтобы составить прогнозы будущего климата, модели объединяют прошлые и будущие выбросы тепличных газов и аэрозолей. Следовательно, они содержат оценки потепления ду настоящего времени и влияние предыдущих выбросов на будущее потепление

Предполагается, что за период 1990-2100 г. г. по всему земному шару осредненная поверхностная температура увеличится на 1,4-5,8 °С. Эти результаты для полного ряда 35 сценариев SRES, основанных на большом количестве моделей климата. Прогнозируемые темпы потепления намного выше, чем изменения, наблюдаемые в 20 веке, и не имеют прецедента в течение, по крайней мере, 10 000 лет согласно палеоклиматическим данным.

Опираясь на последние глобальные имитации моделей, возможно, что почти вся площадь суши будет нагреваться быстрее, чем будет подниматься средняя температура земно! шара, в частности, на северных высоких широтах в холодный сезон Наиболее примечательным является потепление в северных регионах Северной Америки, а также северной и центральной Азии, которое превышает потепление в среднем по земному шару в каждой модели более чем на 40%. Темпы потепления ниже, чем темпы изменений в среднем по Земному шару на юге и юго-востоке Азии летом и юге Южной Америки зимой.

Ожидается, что последние тенденции становления поверхностной температуры более схожей с явлением Эль-Ниньо в тропическом тихоокеанском регионе, в большей степени с восточным тропическим тихоокеанским потеплением, чем западным при соответствующем смещении осадков в восточном направлении, сохранятся во многих моделях.

- Основываясь на имитациях моделей земного шара и для широкого ряда сценариев, содержание водяного пара в среднем по Земному шару и количество осадков в 21 веке вырастут. Ко второй половине 21 века количество осадков может увеличиться на северных средних и высоких широтах и в Антарктике зимой. На низких широтах суши происходят как увеличения количества осадков, так и его спады по регионам. Большие изменения количества осадков из года в год вероятны на большинстве территорий, где ожидается рост среднего количества осадков.

- Таблица 1 представляет оценку достоверности наблюдаемых изменений максимальных показателей погоды и климата во второй половине 20 века (левый столбец) и надежность прогнозируемых изменений в 21 веке (правый столбец). Эта оценка опирается на наблюдательные и модельные исследования, а также на физическое правдоподобие будущих прогнозов по общераспространенным сценариям, и базируется на решении специалистов.

- Что касается других чрезвычайных явлений, многие из которых могут серьезно влиять на окружающую среду и общество, к настоящему времени существует недостаточно информации для оценки последних тенденций, а климатическим моделям недостает пространственного подробного описания, необходимого для надежных прогнозов. Например, незначительные явления, как грозы, торнадо, град и молния, не имитируются в климатических моделях.
- Надежность прогнозов изменений будущей частоты, амплитуды и пространственной схемы явлений Эль-Ниньо в тропическом тихоокеанском регионе характеризуется некоторыми недостатками того, насколько хорошо имитируется Эль-Ниньо в сложных моделях. Современные прогнозы показывают небольшое изменение или малый рост амплитуды колебаний Эль-Ниньо за ближайшие 100 лет.
- Даже с небольшим изменением или без него в амплитуде Эль-Ниньо глобальное потепление может привести к значительным уникальным явлениям повышения засушливости и обильным осадкам, а также увеличению риска засух и наводнений, которые происходили во время явлений Эль-Ниньо во многих различных регионах.
- Вероятно, что потепление, связанное с увеличивающимся содержанием тепличного газа, вызовет усиление изменчивости количества осадков Азиатского летнего муссона. Изменения средней продолжительности и силы муссона зависят от деталей сценария выбросов. Достоверность таких прогнозов также ограничена тем, насколько хорошо модели климата имитируют детальную сезонную эволюцию муссонов.
- Большинство моделей показывают ослабление термохалинной циркуляции океана, которая ведет к сокращению подачи тепла в высокие широты северного полушария. Однако, даже в моделях, где термохалинная циркуляция слабеет, все еще продолжается потепление в Европе благодаря возросшему количеству тепличных газов. Современные прогнозы, используя модели климата, не предсказывают полную остановку термохалинной циркуляции к 2100 г. После 2100 г. термохалинная циркуляция может прекратиться полностью и, возможно необратимо, в любом полушарии, если изменение радиационной силы достаточно велико и достаточно долго использовалось!
- Снежный покров и покров морского льда северного полушария будут сокращаться в дальнейшем.
- В 21 веке продолжится широкомасштабное отступление ледников и ледяных шапок.
- Пласт антарктического льда будет набирать массу, благодаря большему количеству осадков, в то время как ледяной покров Гренландии будет терять массу из-за того, что увеличение объема стока превысит рост количества осадков.
- Глобальный средний уровень моря поднимется на 0,09-0,88 метров в период 1990-2100 гг. согласно полному ряду сценариев SRES. Это произойдет в первую очередь, благодаря распространению тепловой энергии и потере массы ледников и ледяных шапок. Диапазон подъема уровня моря, представленный во второй оценке, равен 0,13-0,94 метров, согласно сценариям IS92. Несмотря на прогнозы изменения более высокой температуры, представленные в этой оценке, прогнозы уровня моря немного ниже, в первую очередь, благодаря использованию улучшенных моделей, которые меньше воздействуют ледники и ледяные пласты.

Таблица 1 | Оценки достоверности наблюдаемых и прогнозируемых изменений чрезвычайных погодных и климатических явлений

Достоверность наблюдаемых изменений (вторая половина 20 века)	Изменения явлений	Достоверность прогнозируемых изменений (в течение 21 века)
вероятно	Выше показатели максимальных температур и больше жарких дней почти на всей площади суши	Весьма вероятно
Весьма вероятно	Выше показатели минимальных температур, меньше холодных дней и морозных дней почти на всей площади суши	Весьма вероятно
Весьма вероятно	Уменьшенный диапазон дневной температуры на большинстве территорий суши	Весьма вероятно
Вероятно, на многих территориях	Рост показателя тепла на суше	Весьма вероятно, на большинстве территорий
Вероятно, на многих территориях суши средней и высокой широте северного полушария	Более интенсивное выпадение осадков ¹	Весьма вероятно, на большинстве территорий
Вероятно, на нескольких территориях	Возросшее летнее континентальное высыхание и риск засухи	Вероятно, на большинстве среднеширотных континентальных внутренних территориях
Не наблюдаемые в нескольких существующих анализах	Увеличение максимальной силы ветра тропического циклона ²	Вероятно, на некоторых территориях
Данные недостаточные для оценки	Увеличение средней силы тропического циклона и максимальной интенсивности осадков	Вероятно, на некоторых территориях

¹ Для других территорий или недостаточно данных, или спорные анализы.

² Прошлые и будущие изменения расположения и частоты тропического циклона неопределенны.

Согласно IPCC термины оценки достоверности означают:

Фактически достоверно	- результат верен с вероятностью более 99%;
Весьма вероятно	- 90-99% вероятности;
Вероятно	- 66-90% вероятности;
Средняя вероятность	- 33-66% вероятности;
Маловероятно	- 10-33% вероятности;
Весьма маловероятно	- 1-10% вероятности;
Исключительно маловероятно	- менее одного 1% вероятности.

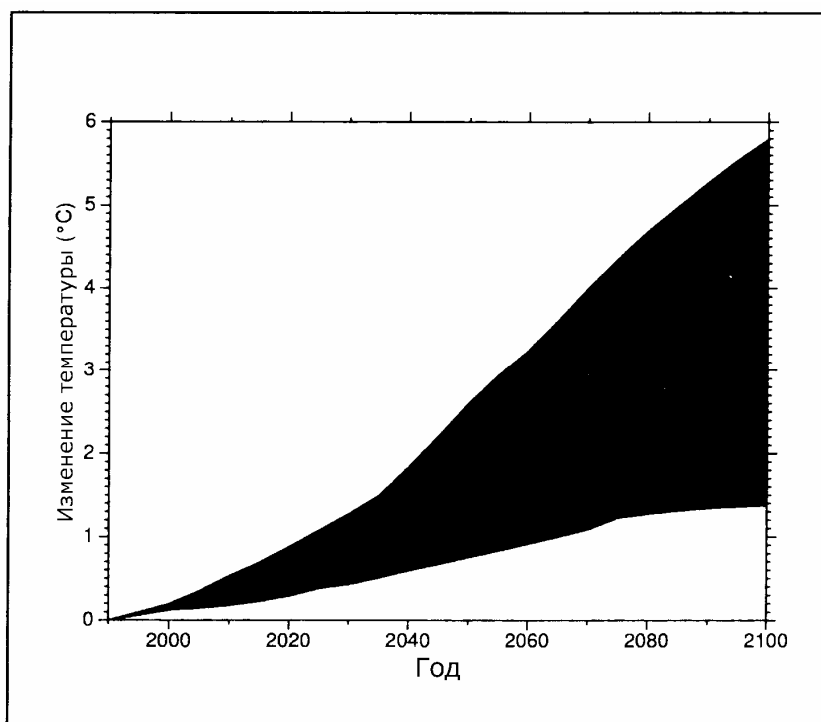


Рис. 1 | Диапазон прогнозируемых реакций средне глобальной поверхностной температуры воздуха с учетом основных неясностей в научном понимании и будущих выбросах

Результаты берутся из простой модели климата, настроенной на ряд более сложных моделей с диапазоном климатической чувствительности по полному ряду 35 сценариев SRES выбросов тепличного газа. График исправлен в соответствии с Резюме для политиков рабочей группы 1.

Антропогенное изменение климата будет продолжаться много веков

- Выбросы долговечных тепличных газов (CO_2 , N_2O , PFC_2 , SF_6) имеют длительное влияние на атмосферный состав, радиационную силу и климат. Например, через несколько веков после выбросов CO_2 около четверти прироста содержания CO_2 , вызванного этими выбросами, все еще присутствует в атмосфере. После стабилизации содержания тепличного газа глобальные температуры поверхности скорее будут подниматься на скорости несколько десятых градусов за один век, чем несколько градусов в течение века согласно прогнозу на 21 век без стабилизации. Чем ниже уровень, на котором стабилизировалось содержание, тем меньше изменение общей температуры.
- Ожидается, что увеличения поверхностной температуры в среднем по земному шару и уровень моря, поднимающийся по причине распространения тепла океана, будут продолжаться сотни лет после стабилизации содержания тепличного газа (даже на современных уровнях), благодаря большим временным масштабам, по которым глубокий океан подстраивается под изменения климата.
- Пласты льда будут продолжать реагировать на потепление климата и участвовать в подъеме уровня моря еще тысячи лет после того, как стабилизируется климат. Климатические модели указывают, что локальное потепление в Гренландии, вероятно, будет происходить от одного до трех раз больше, чем в среднем по Земному шару. Модели ледяных пластов прогнозируют, что локальное потепление более, чем на $3\text{ }^\circ\text{C}$, если удержится на протяжении тысячелетия, приведет к фактически полному таянию гренландского ледяного пласта и в результате к подъему уровня моря примерно на 7 метров. Глобальное потепление на $5,5\text{ }^\circ\text{C}$, сохраняющееся на протяжении тысячелетия, может привести к тому, что лед Гренландии будет содействовать подъему уровня моря на 3 метра.

- Современные модели динамики льда предполагают, что ледяной пласт западной Антарктики может содействовать подъему уровня моря на 3 метра в ближайшие 1000 лет, но такие результаты сильно зависят от предположения моделей в отношении сценариев климатического изменения, динамики льда и других факторов.

Дальнейшее действие необходимо для того, чтобы заняться проблемой остающихся пробелов в информации и понимании

Чтобы улучшить способность обнаруживать, объяснять и понимать климатическое изменение, сократить число неясностей и прогнозировать будущие изменения климата, необходимо дальнейшее исследование. В частности, существует необходимость дополнительных систематических и устойчивых наблюдений, исследований моделирования и процесса. Серьезной заботой является спад работы наблюдательных сетей.

Следующие области являются высоко приоритетными:

Систематические наблюдения и реконструкции:

- Обратить вспять процесс упадка наблюдательных сетей во многих частях мира.
- Стабилизировать и расширить наблюдательный фонд исследований климата, обеспечивая точные, долгосрочные, последовательные данные, включая выполнение стратегии комплексных глобальных наблюдений.
- Увеличить разработку реконструкции предыдущих климатических периодов.
- Улучшить наблюдения пространственного распределения тепличных газов и аэрозолей.

Исследования моделирования и процесса:

- Улучшить понимание механизмов и факторов, ведущих к изменениям радиационной силы.
- Понять и охарактеризовать важные неразрешимые процессы и связи, как физические, так и биохимические, в климатической системе.
- Улучшить методы количественного определения неясностей климатических прогнозов и сценариев, включая долгосрочные групповые имитации, используя комплексные модели.
- Улучшить комплексную иерархию глобальных и региональных климатических моделей с акцентом на имитации изменчивости климата, региональных климатических изменений и уникальных явлений.
- Связать более рационально модели физической климатической и биохимической системы, а также, в свою очередь, усовершенствовать связь с характеристиками человеческой деятельности.

Анализ акцентов является серьезной необходимостью, связанной с укреплением международного сотрудничества и координации, чтобы лучше использовать научные, вычислительные и наблюдательные ресурсы. Он также содействует свободному обмену данными в кругу ученых. Особая нужда заключается в увеличении наблюдательных и исследовательских потенциалов во многих регионах, особенно в развивающихся странах. Для оценки необходимо поддерживать связь с достижениями исследования в условиях, важных для принятия решений.

СОДЕРЖАНИЕ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РАСПОЛАГАЕМЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В БАССЕЙНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ Н.А. Агальцева	3
ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ БАССЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА М.Г. Хорст.....	60
ЧТО ЖДЕТ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА Г.В. Стулина, В. Усманов	91
УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ БАССЕЙНОВ РЕК АМУДАРЬЯ И СЫРДАРЬЯ ПО ВАРИАНТАМ РАЗВИТИЯ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА А.Г. Сорокин, А.С. Никулин, Д.А. Сорокин	122
ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ БАССЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ (ASB-MM) ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА НА ОСНОВЕ СОТРУДНИЧЕСТВА В УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ И КООПЕРАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ М.Т. Рузиев, В.Г. Приходько	140
ГЛОБАЛЬНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЯ НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ И ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ В.Т. Пиццатто.....	148
ТРЕТЬЯ ОЦЕНКА МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННОГО СОВЕТА ПО ГЛОБАЛЬНЫМ КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ (IPCC): НАУКА.....	156

Подготовлено к печати и отпечатано
в Научно-информационном центре
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии