

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 сток 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 and 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 (м³/сек) основных рек бассейнов Сырдарьи и Амударьи – нормы и их значения по различным климатическим сценариям (ICNAM4, HadCM2, IS92ab) представлены в табл. 3.

Из табл. 1 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 незначительное 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	ICNAM4	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.

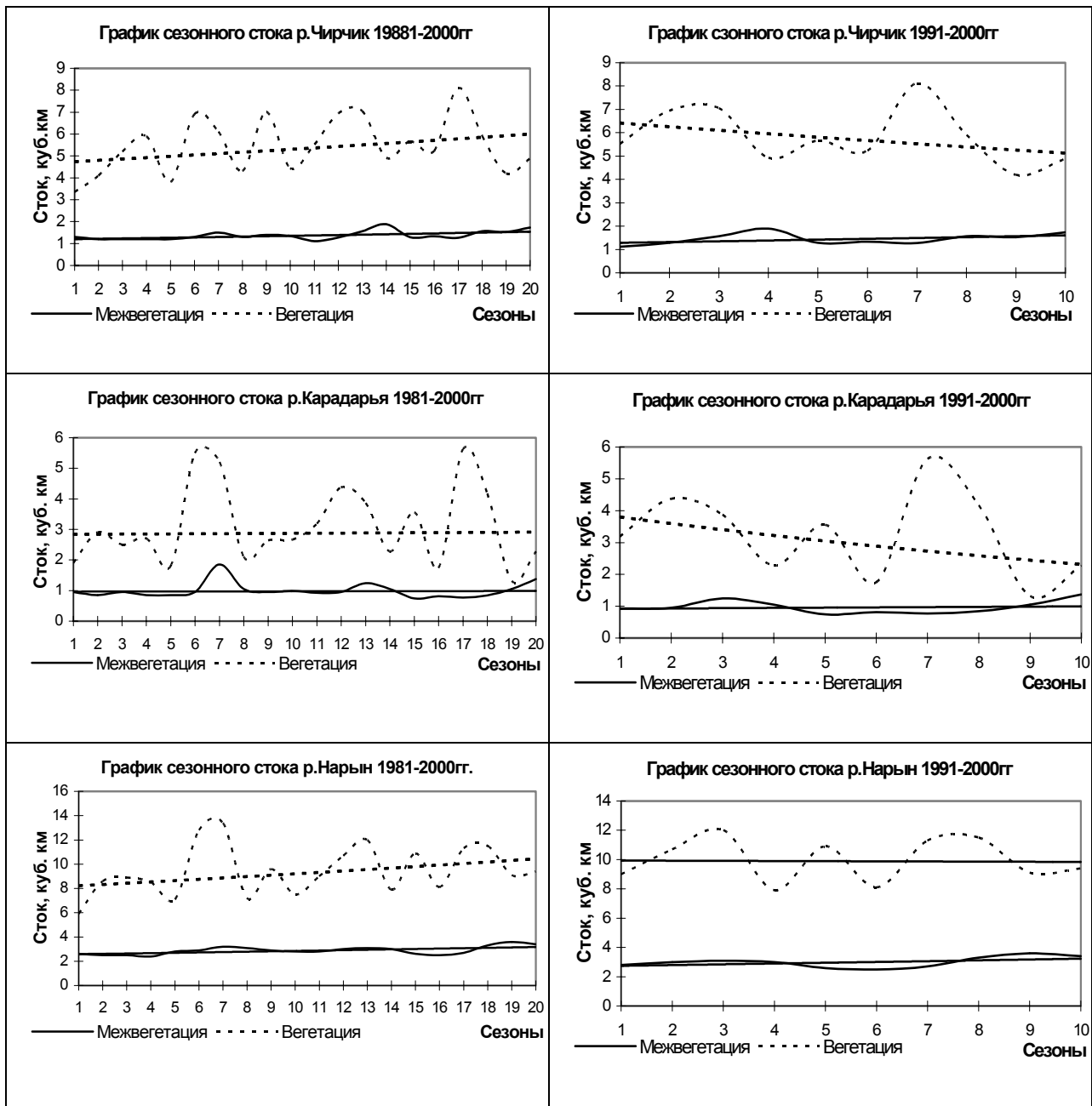


Рис. 1 | Гидрологические тренды наблюдаемых величин

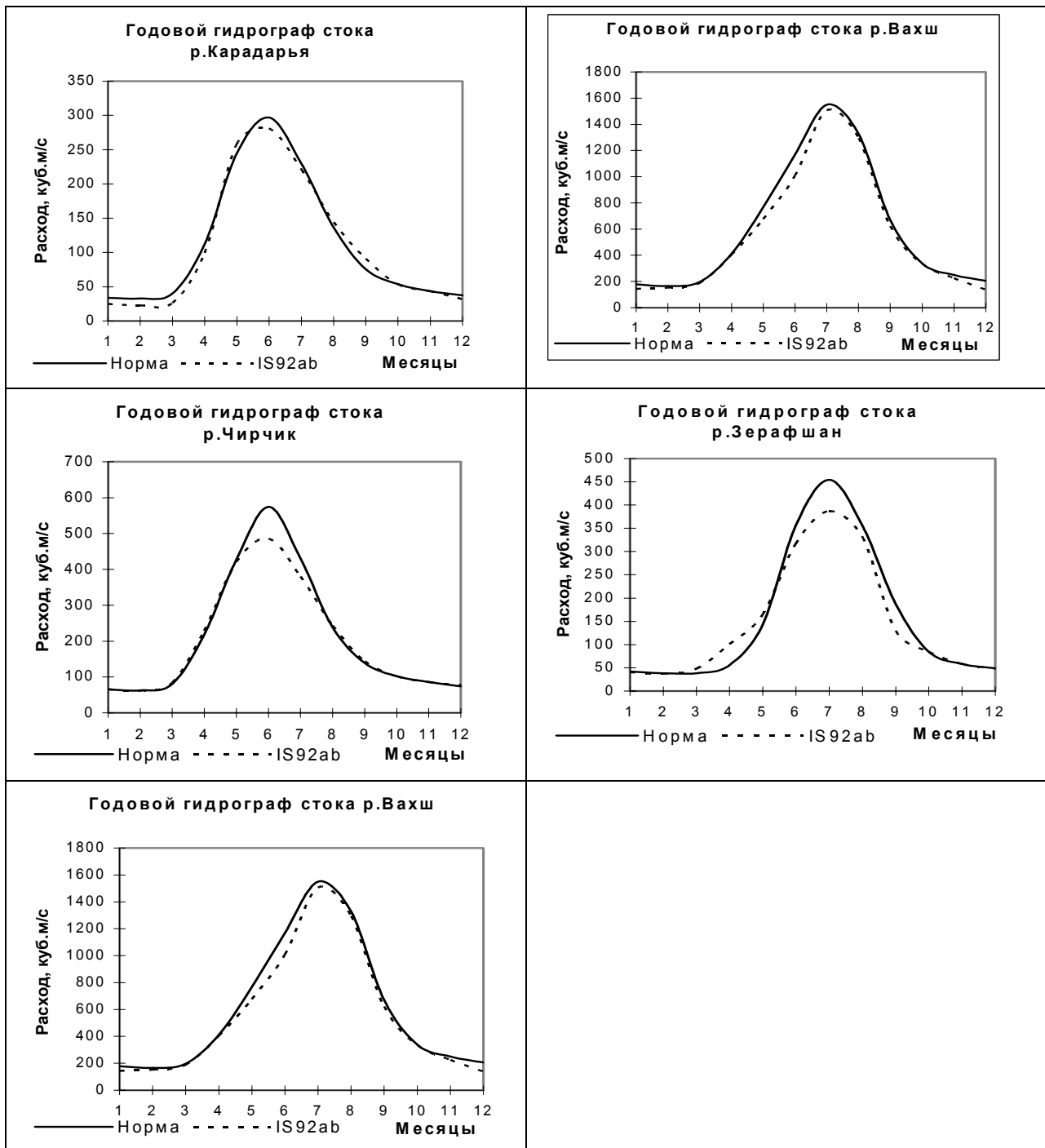


Рис. 2 | Сравнение наблюдаемых (норма) и расчетных гидрографов среднемесячных расходов рек для регионального сценария

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 (ICM4, 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.