



Проект PEER - "Адаптация управления  
водными ресурсами трансграничных вод  
бассейна Амударьи к возможным  
изменениям климата"



## **Research report**

### **2. Research**

#### **2.4 Modeling runoff series in light of CC**

Руководитель проекта, проф.

В.А.Духовный

Исполнители

А.Г.Сорокин

Д.А.Сорокин

Ташкент, сентябрь 2016 г

## Содержание

Введение

1. Построение рядов стока рек бассейна Амударьи на 2016-2055 гг без учета влияния климата

2. Влияние климатических изменений на сток рек

3. Построение рядов стока рек бассейна Амударьи на 2016-2055 гг : сценарий климатических изменений REMO 0406

Заключение

Приложение

## Введение

В отчете приводятся результаты исследований по формированию и оценке рядов стока рек бассейна Амударьи на 2016-2055 гг, оценке влияния климатических изменений на сток рек в естественном (не зарегулированном) режиме. Данная работа является частью раздела 2.4 “Modeling runoff series in light of CC ” второго этапа исследований по проекту PEER.

Исследования выполнены согласно разработанной методике (смотрите отчет по результатам PEER, позиция 1.2, А.Г.Сорокин) и соответствует предлагаемой схеме сценариев формирования и регулирования водных ресурсов бассейна Амударьи на 2016 – 2055 гг. Задача 1 в данной схеме сформулирована как задача “Оценки естественных (не зарегулированных) водных ресурсов бассейна Амударьи”; для ее решения предлагается исследовать два случая. Первый случай (1.1) предполагает оценку рядов стока рек бассейна Амударьи, построенных по методике аналогов исторических циклов-рядов, продолженных на будущее (НИЦ МКВК) в предположении отсутствия влияния климатических изменений на сток рек. Второй случай (1.2) предполагает учет климатических изменений по сценарию RCMO-0406; влияние климата учитывается посредством коэффициентов (поправок), рассчитанных по результатам оценок модели НИГМИ.

## 1. Построение рядов стока рек бассейна Амударьи на 2016-2055 гг без учета влияния климата

В данном разделе приводятся результаты построения рядов стока рек бассейна Амударьи на 2015/2016 – 2054/2055 гг. Ряды построены в результате исследований исторических циклов-рядов и выбора аналога (1958/1959 – 1997/1998 гг.), который спроектирован на период после 2014/2015 года.

В разделе 3 настоящего отчета будут показаны результаты корректировки выбранных рядов стока рек по фактору климатических изменений. Данный подход впервые был применен для сценариев комплекса моделей ASBmm [www.asbmm.uz], и адаптирован в проекте САВа для рек бассейна Сырдарьи для климатического сценария REMO 0406; он основан на концепции цикличности колебаний природных процессов, которая рассматривается не как простое периодическое повторение наблюдаемых явлений, а как поступательное развитие, на которое накладываются изменения, вызванные климатом.

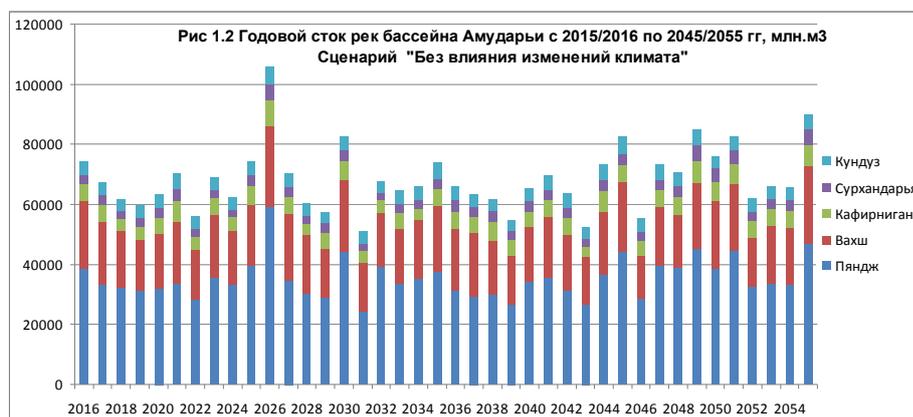
На рисунке 1.1 приводится сравнение циклов стока реки Амударья (естественный, не зарегулированный режим, не испорченный антропогенным влиянием водозаборов и сбросов КДС) по двум периодам: 1937/1938 – 1957/1958 гг. и 1994/1995 – 2014/2015 гг. Из сравнения видно, что динамика годового стока реки Амударья по этим периодам сопоставима и близка по циклам (n-леткам) маловодных и многоводных лет. Это дает возможность с определенной вероятностью ожидать после 2014/2015 года (аналог в ретро ряду - 1957/1958 г) ряда с характеристиками 1958/1959 – 1997/1998 гг.



На рисунке 1.2 приводится динамика годового стока рек бассейна Амударьи на период 2015/2016 – 2054/2055 гг., построенного без учета влияния климата, а в таблице 1.1 - средний годовой сток рек по периодам.

**Таблица 1.1 Сток рек бассейна Амударьи по периодам, куб.км / год**

Период	Пяндж	Вахш	Кафирниган	Сурхандарья	Кундуз	Амударья
2016-2025	33.87	19.3	5.27	3.19	4.3	65.93
2026-2035	36.73	20.35	5.22	3.27	4.44	70.01
2036-2045	32.63	19.34	5.42	3.43	4.44	65.26
2046-2055	38.2	19.87	6.13	3.94	4.46	72.6
2016-2055	35.36	19.72	5.51	3.45	4.41	68.45



Если сравнить средние многолетние годовые объемы стока рек бассейна Амударьи двух периодов - 2015/2016–2045/2055 гг. и 1932/1933–2014/2015 гг, то можно отметить следующее:

- средний многолетний годовой сток Амударьи (как суммы рек) за 2015/2016–2045/2055 гг составил  $68.45 \text{ км}^3 / \text{год}$ , а сток за 1932/1933–2014/2015 гг –  $68.89 \text{ км}^3 / \text{год}$ ; снижение стока всего 0.6 %,
- по реке Пяндж наблюдается увеличение стока на 0.2 %, а по реке Вахш - снижение стока на 2.5 %,
- первые 10 лет (2015/2016–2024/2025 гг) характеризуются средним годовым стоком реки Амударьи в  $65.93 \text{ км}^3 / \text{год}$ , т.е ожидается маловодная 10-летка (95 % от среднего стока за 1932/1933–2014/2015 гг), вторые 10 лет будут выше по стоку и составят  $70.01 \text{ км}^3 / \text{год}$  (102 %), третья 10-летка будет меньше нормы –  $65.26 \text{ км}^3 / \text{год}$  (95 %), четвертая 10-летка –  $72.6 \text{ км}^3 / \text{год}$  (105 %),
- средний по 10-леткам годовой сток реки Вахш будет меньше нормы для всех 10-леток (95-98 %), за исключением второй 10-летки (101 %).

## 2. Влияние климатических изменений на сток рек

При оценке воздействия возможных изменений климата на водопотребление сельскохозяйственных культур и водных ресурсов, в проекте PEER используются результаты региональных моделей REMO-0406 с пространственным разрешением  $0,5^\circ$  и  $0,16^\circ$  основанные на сценарии развития концентрации парниковых газов CMIP3 SRES-A1B. В рамках проекта CAWa в University of Wurzburg были получены результаты моделирования регионального климата по REMO-0406 для Центральной Азии, покрывающие всю территорию бассейна Амударьи.

По данным Всемирной метеорологической организации, 2015 год вошел в историю как год, побивший температурные рекорды, с интенсивными волнами тепла, исключительным количеством осадков, опустошительными засухами и необычной активностью тропических циклонов. Такая тенденция к установлению рекордных значений сохранилась и в 2016 г. По условиям полученного климатического сценария REMO 0406 ожидается рост температуры воздуха в среднем на  $0,051^\circ\text{C}$  в год, осадки же изменятся незначительно, только усилятся их изменчивость, т.е. естественные колебания в диапазоне между минимальными и максимальными величинами.

Большинство моделей, формирующих водные ресурсы, основанных на умеренных, “мягких” климатических сценариях, не предполагают заметного снижения стока основных рек бассейна Амударьи до 2030 года. Но уже к 2030 году, по одной из оценок, сокращение водных ресурсов бассейна Амударьи возможно в пределах 5 - 8 % от нормы, а к 2050-2060 гг влияние климата (потепление) на объем годового стока будет еще более заметным – сокращение водных ресурсов для Амударьи ожидается в пределах 10-15 % (ЕАБР и ИК МФСА, 2009).

Проводимые ранее исследования показывают, что увеличатся отклонения годового стока от средних многолетних значений: “глубина” маловодных лет может превысить наблюдаемые ранее значения; увеличится частота появления маловодных лет с вероятностью превышения 75 % и более (Агальцева Н.А., Болгов М.В и др, 2011). Ожидается, что потепление вызовет во внутрigoдовом режиме рек сдвиги характерных дат половодья (начало, пик, продолжительность); пик половодья может быть перенесен на более ранние сроки (10-30 дней), увеличится продолжительность половодья (10-50 дней) (ЕАБР и ИК МФСА, 2009).

В проекте PEER при оценке воздействия возможных изменений климата на водные ресурсы, использовались результаты региональной модели REMO-0406, которая является проекцией для ЦА сценария среднего потепления, основанного на A1B, и рассчитанного по модели общей циркуляции ЕСНАМ 5. По оценке НИГМИ (2014) в соответствии с условиями сценария REMO-0406 следует ожидать сокращения снегозапасов в различных зонах формирования стока бассейна реки Амударья. Для решения этой задачи в качестве методической основы в Республике Узбекистан используется региональная гидрологическая модель, реализованная в виде автоматизированной информационной системы гидрологических прогнозов (АИСГП), которая позволяет решать широкий круг задач прикладной гидрологии, таких как расчет, прогноз, восстановление стока в неизученном створе, расчет притока в водохранилища и другие. АИСГП реализует математическую модель формирования стока в бассейне горной реки и позволяет оценивать запасы снега, ледниковую составляющую стока и сток реки в долгосрочном разрезе.

Система адаптирована к условиям современного обеспечения исходной гидрометеорологической информацией, а также настроена на усвоение климатических сценариев, что позволяет использовать этот инструмент для оценки современного и будущего состояния водных ресурсов рек бассейна Амударьи.

Модель разработана в САРНИГМИ и адаптирована в условиях информационного дефицита для будущей оценки климатических влияний на водные ресурсы в НИГМИ (Агальцева Н.А., Пак А.В., 2007).

Результаты моделирования рядов стока рек бассейна Амударьи в месячном и декадном временном масштабе, выполненные с использованием сценария REMO 0406 по модели НИГМИ показали, что изменение климата приведет к сокращению располагаемых поверхностных водных ресурсов в вегетационный период и некоторому увеличению в межвегетационный период; к 2060 году расчетное снижение вегетационного стока (по отношению к норме стока – среднему многолетнему значению) по рекам следующее: Пяндж – 6 %, Вахш – 5 %, Кафирниган – 8 %, Сурхандарья – 6 %. Ранее проводимые исследования (ЕАБР и ИК МФСА, 2009) дают такое снижение уже к 2030 году.

Модель НИГМИ / REMO 0406 к 2060 году дает наибольшее снижение стока (по отношению к норме) по июлю месяцу: для реки Пяндж на 14 %, реки Вахш на 19 %, реки Кафирниган – 25 %, реки Сурхандарья – 10 %. В тоже время ожидается повышение стока в межвегетацию и в начале вегетации, в апреле: для реки Пяндж на 6 %, реки Вахш на 6 %, реки Кафирниган – 18 %, реки Сурхандарья – 8 %.

Таким образом, можно констатировать, что оценки, выполненные по REMO 0406, характеризуют этот сценарий (в отношении влияния на сток рек) как “мягкий” сценарий, мало изменяющий естественный режим рек в годовом разрезе, но показывающий значительные снижения к 2060 году по отдельным вегетационным месяцам (июнь, июль).

Используя данные результаты в рамках проекта PEER были выполнены расчеты, позволяющие построить матрицу поправочных коэффициентов (уменьшающих или увеличивающих нормы стока) для каждой реки, по месяцам за период 2015/2016 – 2054/2055 годы. Ниже на рисунках 2.1 – 2.5 приводятся гидрографы, показывающие трансформацию стока рек бассейна на 2055 год по отношению к норме стока. В приложении к отчету в таблицах приводятся данные по изменению стока рек бассейна к 2020, 2040 и 2060 годам.

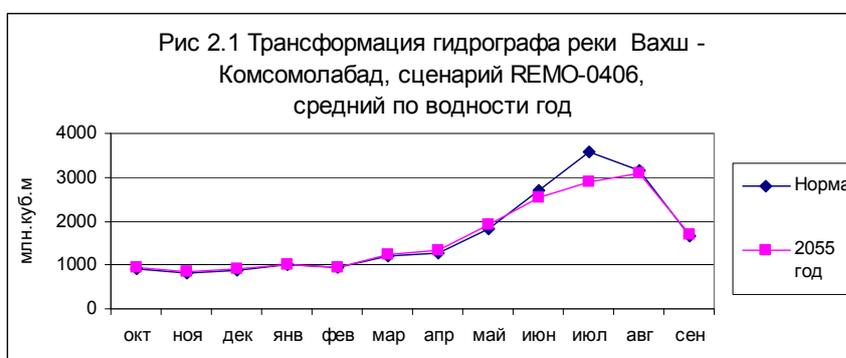


Рис 2.2 Трансформация гидрографа реки Пяндж - Нижний Пяндж, сценарий REMO-0406, средний по водности год

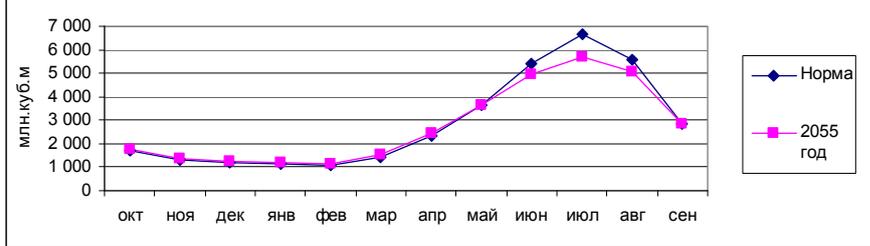


Рис 2.3 Трансформация гидрографа реки Кафирниган, сценарий REMO-0406, средний по водности год

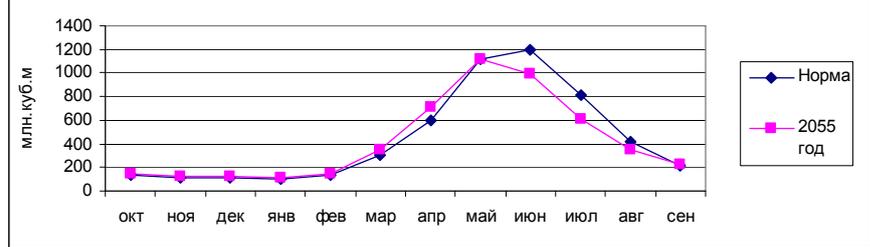


Рис 2.4 Трансформация гидрографа реки Сурхандарья, сценарий REMO-0406, средний по водности год

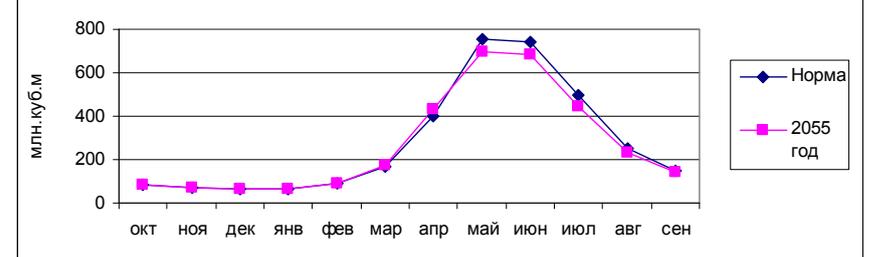
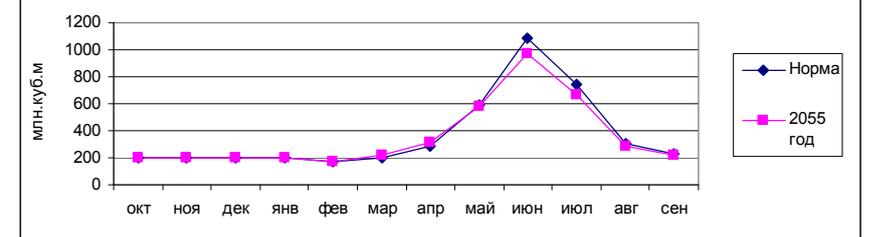


Рис 2.5 Трансформация гидрографа реки Кундуз, сценарий REMO-0406, средний по водности год

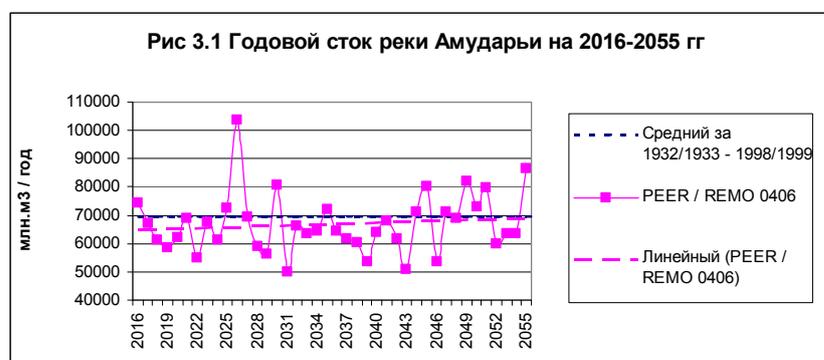


### 3. Построение рядов стока рек бассейна Амударьи на 2016-2055 гг по сценарию климатических изменений REMO 0406

Построение рядов стока рек бассейна Амударьи на 2015/2016 – 2054/2055 годы, учитывающих климатические изменения по сценарию REMO 0406, осуществлено на базе рядов стока рек, не затронутых антропогенным и климатическим влиянием, путем корректировки рядов.

Корректировка рядов происходила по коэффициентам, рассчитанным по результатам оценок модели НИГМИ, доступных в литературных источниках. Таким образом, концепция цикличности (где учтены все особенности местного формирования стока) усиливается гидрологическим моделированием, соответствующем климатическим сценариям. Используя данный подход в PEER, мы проектируем оценку НИГМИ (в виде отклонений от нормы стока к 2020–2060 гг), построенную на основе климатических сценариев REMO 0406, на естественные циклы гидрографов стока, имеющих продолжение в будущем и сохраняющих наблюдаемые тренды.

На рисунке 3.1 приводится динамика годового стока реки Амударья на период 2015/2016 – 2054/2055 гг, откорректированного по коэффициентам влияния климата; показан тренд на незначительное увеличение стока, который расположен ниже среднего многолетнего значения за 1932/1933 – 1998/1999 гг.



В таблице 3.1 приводятся данные о средних многолетних объемах стока рек бассейна Амударьи, построенных на 2015/2016 – 2054/2055 гг, по 10 леткам с учетом влияния климата, а в таблице 3.2 – сравнение данных этих данных с данными о средних многолетних объемах стока рек бассейна Амударьи, построенных без учета климатических изменений.

На рисунке 3.2 приводится динамика объемов стока реки Амударья по сезонам октябрь-март, апрель-сентябрь на период 2015/2016 – 2054/2055 гг, построенных с учетом влияния климата.

**Таблица 3.1 Сток рек бассейна Амударьи по периодам с учетом влияния климатических изменений (REMO 0406), куб.км / год**

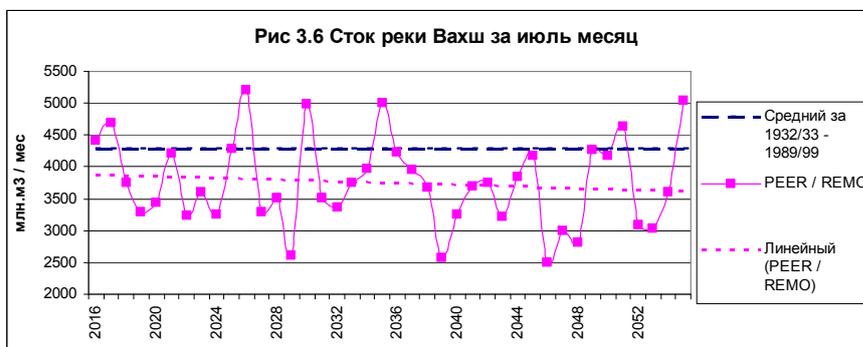
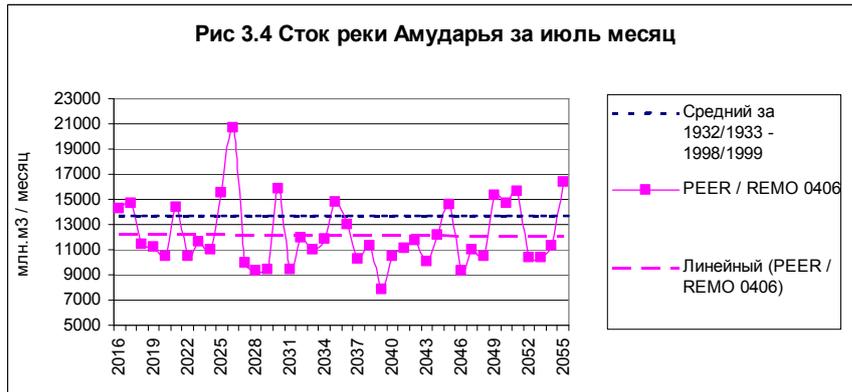
Период	Пяндж	Вахш	Кафирниган	Сурхандарья	Кундуз	Амударья
2016-2025	33.29	18.88	5.16	3.20	4.31	64.84
2026-2035	35.93	19.74	5.07	3.26	4.44	68.44
2036-2045	31.83	18.72	5.24	3.39	4.42	63.61
2046-2055	36.96	19.13	5.90	3.82	4.37	70.18
2016-2055	34.50	19.12	5.34	3.42	4.39	66.77

**Таблица 3.2 Сток рек бассейна Амударьи без и с учетом влияния климатических изменений (REMO 0406), в среднем за 2016-2055 гг, куб.км / год**

Период	Пяндж	Вахш	Кафирниган	Сурхандарья	Кундуз	Амударья
С учетом влияния климата	34.50	19.12	5.34	3.42	4.39	66.77
Без учета влияния климата	35.36	19.72	5.51	3.45	4.41	68.45
Разница	- 0.86	- 0.60	- 0.17	- 0.03	- 0.02	- 1.68



Наибольшее влияние климат будет оказывать на сток рек в июне-июле месяцах, когда объем стока Амударьи к 2055 году будет снижаться в августе до  $0.8 \text{ км}^3$ , в июнь до  $1.3 \text{ км}^3$ , в июле – до  $2.7 \text{ км}^3$ . Ниже на рисунках 3.3 – 3.7 показана динамика стока реки Амударья и ее притоков за отдельные месяцы, а на рисунке 3.8 - динамика снижения стока в августе, июне, июле с 2016 по 2055 гг.





## Заключение

Влияние климатических изменений на сток рек бассейна Амударьи, возникающих по сценарию RЕМО 0406, неоднозначно по сезонам, отдельным месяцам и рекам. Сценарий RЕМО 0406 следует отнести к “мягким” сценариям, которые реально могут возникнуть.

Влияние на годовой сток рек незначительно: ожидается снижение среднего многолетнего значения годового стока Амударьи за период 2015/2016 – 2054/2055 гг по сравнению с периодом 1932/1933 – 2014/2015 гг на  $1.68 \text{ км}^3 / \text{год}$ , реки Вахш – на  $0.6 \text{ км}^3 / \text{год}$ , реки Пяндж – на  $0.86 \text{ км}^3 / \text{год}$ . Влияние возрастает за период 2015/2016 – 2054/2055 гг.; за последние 10 лет (2045/2046 – 2054/2055 гг) снижение стока составит: для реки Амударья –  $2.42 \text{ км}^3 / \text{год}$ , реки Вахш –  $0.75 \text{ км}^3 / \text{год}$ , реки Пяндж – на  $1.24 \text{ км}^3 / \text{год}$ .

Влияние на объемы стока рек за отдельные месяцы более значительно: ожидается снижение стока рек в июне-августе, рост в апреле и в отдельных месяцах межвегетационного периода. Максимальной снижение стока Амударьи в июле к 2055 году может составить (по отношению к среднему стоку за период 1932/1933 – 2014/2015 гг)  $2.8 \text{ км}^3$  в месяц.

Если проследить динамику стока рек бассейна Амударьи за 2015/2016 – 2054/2055 гг , то можно отметить ряд маловодных лет, которые приходятся на следующие годы: 2022 год –  $54.98 \text{ км}^3 / \text{год}$  (80 % от нормы), 2031 год –  $49.89 \text{ км}^3 / \text{год}$  (73 % от нормы), 2039 год –  $53.67 \text{ км}^3 / \text{год}$  (78 % от нормы), 2043 год –  $50.98 \text{ км}^3 / \text{год}$  (74 % от нормы). В июле сток будет снижаться до следующих объемов: 2027, 2028, 2029 года –  $9.9 \text{ км}^3$  (74 % от нормы),  $9.3 \text{ км}^3$  (69 %),  $9.4 \text{ км}^3$  (70 %), 2039 год –  $7.8 \text{ км}^3$  (58 % от нормы).

Выполненные исследования позволили создать ряды водных ресурсов бассейна Амударьи, которые станут основой численных экспериментов, намеченных проектом PEER на третьем этапе (конец 2016, начало 2017 года).

## Приложение к разделу 2.4 Modeling runoff series in light of CC

Вахш: изменение нормы стока по сценарию REMO 0406							
Месяцы	Норма	2020 год		2040 год		2060 год	
	млн.м3	%	млн.м3	%	млн.м3	%	млн.м3
окт	915.5	100	916	102	934	103	943
ноя	813.6	99	805	101	822	102	830
дек	891.1	98	873	100	891	101	900
янв	1012.3	98	992	100	1012	101	1022
фев	932.9	99	924	101	942	102	952
мар	1213.1	100	1213	102	1237	103	1249
апр	1262.9	102	1288	105	1326	106	1339
май	1833.4	101	1852	101	1852	104	1907
июн	2711.3	96	2603	94	2549	93	2522
июл	3572.1	89	3179	88	3143	81	2893
авг	3163.6	100	3164	98	3100	98	3100
сен	1648	101	1664	102	1681	103	1697
окт-мар	5779	99	5723	101	5839	102	5896
апр-сен	14191	97	13750	96	13651	95	13458
окт-сен	19970	98	19473	100	19490	99	19354

Пяндж: изменение нормы стока по сценарию REMO 0406							
Месяцы	Норма	2020 год		2040 год		2060 год	
	млн.м3	%	млн.м3	%	млн.м3	%	млн.м3
окт	1 698	101	1715	103	1749	104	1766
ноя	1 300	101	1313	103	1339	104	1352
дек	1 196	100	1196	102	1220	103	1232
янв	1 136	100	1136	102	1159	103	1170
фев	1 075	102	1096	104	1117	105	1128
мар	1 445	102	1474	104	1503	105	1517
апр	2 323	105	2439	105	2439	106	2462
май	3 623	102	3695	102	3695	101	3659
июн	5 385	95	5116	94	5062	92	4954
июл	6 637	93	6172	91	6039	86	5708
авг	5 572	95	5293	94	5238	91	5071
сен	2 868	101	2897	101	2897	100	2868
окт-мар	7849	101	7930	103	8087	104	8165
апр-сен	26407	97	25612	96	25370	94	24721
окт-сен	34256	98	33541	100	33456	98	32886

<b>Кафирниган: изменение нормы стока по сценарию REMO 0406</b>							
Месяцы	Норма	2020 год		2040 год		2060 год	
	млн.м3	%	млн.м3	%	млн.м3	%	млн.м3
окт	133	103	137	107	142	111	147
ноя	117	103	120	106	124	110	128
дек	111	102	113	104	116	108	120
январь	107	102	109	105	112	108	115
фев	136	103	140	107	146	110	150
мар	300	105	315	110	330	115	345
апр	602	105	633	110	663	118	711
май	1115	100	1115	103	1148	100	1115
июнь	1201	94	1128	88	1056	83	996
июль	811	90	730	81	657	75	608
авг	423	88	373	85	360	84	356
сентябрь	213	103	220	105	224	107	228

окт-мар	904	103	935	107	969	111	1006
апр-сен	4365	96	4197	94	4107	92	4013
окт-сен	5268	97	5132	96	5077	95	5020

<b>Сурхандарья: изменение нормы стока по сценарию REMO 0406</b>							
Месяцы	Норма	2020 год		2040 год		2060 год	
	млн.м3	%	млн.м3	%	млн.м3	%	млн.м3
окт	85	102	87	105	89	101	86
ноя	73	102	74	105	76	100	73
дек	66	101	66	104	68	100	66
январь	67	101	68	104	70	100	67
фев	89	102	90	105	93	101	89
мар	165	104	172	105	173	104	172
апр	401	103	413	101	405	108	433
май	757	102	772	100	757	92	696
июнь	743	99	735	97	720	92	683
июль	495	98	485	95	470	90	445
авг	250	97	243	94	235	92	230
сентябрь	146	101	148	100	146	95	139
окт-мар	544	102	557	105	570	102	553
апр-сен	2791	100	2795	98	2733	94	2627
окт-сен	3336	100	3352	99	3303	95	3179

<b>Кундуз: изменение нормы стока по сценарию REMO 0406</b>							
Месяцы	Норма	2020 год		2040 год		2060 год	
	млн.м3	%	млн.м3	%	млн.м3	%	млн.м3
окт	198	102	202	105	208	101	200
ноя	201	102	205	105	211	100	201
дек	204	101	206	104	212	100	204
янв	197	101	198	104	204	100	197
фев	169	102	173	105	178	101	171
мар	202	104	210	105	212	106	214
апр	288	104	300	106	306	109	314
май	590	102	602	100	590	99	584
июн	1081	99	1070	97	1049	90	973
июл	739	99	732	95	702	90	665
авг	309	97	300	95	294	92	285
сен	229	101	231	100	229	97	222
окт-мар	1170	102	1194	105	1225	101	1186
апр-сен	3237	100	3235	98	3169	94	3043
окт-сен	4407	100	4429	100	4394	96	4229