

PN-ACB-105  
94756

# Environmental Policy and Technology Project

Contract No. CCN - 0003 - Q - 3165

## NEW INDEPENDENT STATES FINAL PROJECT REPORT SUMMARY

**“Probability Forecast for Aral Sea Levels”  
Applied Demonstration Project No. 6**

Shivaryova S.P., September 1996  
Delivery Order 08, Task B

Prepared for:  
Central Asia Mission  
**U.S. Agency for International Development**

Prepared by:  
Central Asia Regional EPT Office in Almaty, Kazakstan  
Environmental Policy and Technology Project  
For the New Independent States of the Former Soviet Union  
A USAID Project Consortium Led by CH2M HILL

This is the English translation of the summary from an applied demonstration project report. The original full-length report is in Russian and follows the English report.

## Acknowledgements

**Paul Dreyer, Barbara Britton, Brian Bushley, Alexandra Terninko, and Tim Bondelid,**  
all of Environmental Policy and Technology Project, USAID

**Nina Kavetskaya,** USAID

**Atamurat Shamen,** the head of Kazgidromet

**Amirkhan Kenshimov,** State Committee on Water Resources of the republic of Kazakstan;

**Nikolay Gorelkin,** SANIGMI of the Republic of Kazakstan.

## About the Authors

**Dr. Svetlana Pavlovna Shivaryova** (Engineering) - project manager, Assistant Professor of Hydrology; works at KazNIIMOSK (Kazakh Scientific Research Institute of Environment and Climate Monitoring) as the head of contracting group of International Kazakh-Danish Project on the Caspian Sea. Ms. Shivaryova has been studying the problems of the Aral Sea for 10 years and has 20 published articles and two monographs dedicated to the Aral Sea:

1) "USSR's Seas" project; Hydrometeorology and hydrochemistry of USSR's seas.

Volume VII. Aral Sea, Leningrad, Gidrometeoizdat 1990

2) "Hydrological Problems of the Priaralie." The results of the Project was published in "Hydrology and Ecology" magazine of Kazgidromet, No.3, 1996

**Boris Afanasievich Smerdov** - project researcher, works at KazNIIMOSK, has 10 publications on level regimes of the Aral Sea, successfully models sea levels on a personal computer. Mr. Smerdov developed the program "ARALUR" for calculation of the sea level and took part in expeditions to the Aral Sea. The results of the project were reported at the CIS - USA conference "Water - Critical Resource: Problem of Preservation, Use and Management," Tashkent, October 1996.

**Elena Vladislavovna Bolshakova** - project researcher, engineer at TSAI (The Center of Automate Information), has 10 published articles on estimation of economical activity influence on water resources of Kazakstan.

# Summary Report

## Purpose

The purpose of the project is to develop a scientifically-based probability prognosis for the level of the Aral Sea, including both the big and small seas. The project includes three stages: development and perfection of the author's program for estimating the Aral Sea levels, preparation of files containing archive hydro-meteorological information, calculation of model parameters and creation of a probability prognosis.

## Project Results and Findings

With the help of the "ARALUR" program, the future Aral Sea levels modeling has been made. The level calculations were made based on the observed combination of natural water levels, evaporation and precipitation for the period of 1932 - 1994. The selected data is representative for average long-term conditions. The model includes:

- methodology for an estimate of evaporation from water and snow-ice Sea surfaces
- methodology for calculating the amount of atmospheric precipitation falling in the Sea area
- calculation methodology for the Amu Darya and Syr Darya rivers, including water amount differences for the whole extent of the river and amount of water flowing into the Sea
- calculation methodology for the levels of the Aral Sea, including the separate levels of the big and small seas

Level modeling was made for four types of anthropogenic pressures in river basins. The results of calculations showed that it is possible to make the Aral Sea a single water body with a level of 44 m, if beginning in 1996 and continuing for 50 years, the man-made impact on the Aral Sea would not exceed that of the period before 1960.

It is quite doubtful that in the near future, even with the years of abundant water, it will be easy to cut down consumptive water use in the river basins. If the man-made impact in the Amu Darya basin is retained at 23.7 km<sup>3</sup> and in the Syr Darya basin at 9.68 km<sup>3</sup> annually, the irrigation level in the seventies, then the Small Aral level might be kept on the existing check point of 40.2 m, but the level of the Big Aral will continue to fall down. The Big Aral will split into two water bodies by the year 2030. This option seems to be the most workable, as in the Syr Darya and the Amu Darya basins measures to reduce consumptive losses are currently being carried out.

Hydro-meteorological files were set up to confirm the reliability of the model. The files contain monthly information on wind velocity, wind direction, air temperature and humidity, cloudiness, amount of atmospheric precipitation, and information on Aral Sea levels and the Amu Darya and Syr Darya flows.

Based on the methodology, water layers evaporated from water and ice-snow surfaces were calculated for the Small Aral in 1941-1994 and for the Big Aral in 1950-1994. The results are presented on the graph as probability (occurrence) curves. At the probability of once every hundred years, the evaporation from the Small Aral may approach, but go no lower than 883 mm, while the depth of evaporation from the Big Aral can approach but go no lower than 898 mm. The average annual evaporation from the Small Aral surface is 960 mm, and from the Big Aral, 966 mm. In abnormally cold and warm years the maximum difference in evaporation between the Small and Big Aral seas is 36 mm.

Calculated results addressing annual precipitation falling in the area of the Small Aral and the Big Aral are also presented as probability curves. Once in a hundred years 335 mm of annual precipitation is likely to fall on the surface of the Small Aral and 328 mm on the Big Aral surface. Precipitation proposed to be the norm corresponds to the theoretical curve of 50% probability. For the Small Aral it makes up 194 mm a year and for the Big Aral, 174 mm a year. Average long term precipitation for the Small Aral was 198 mm for 53 years, and around the Big Aral, 181 mm for 43 years. This amount is very close to the norm. During the last decade atmospheric precipitation exceeded the norm seven years out of ten. 10-20 mm more precipitation falls in the area of the Small Aral, which is situated north from the Big Aral.

In 1987 the Aral Sea was divided into the Big and Small Aral Seas. In 1995 the difference in the sea levels reached 3.2 m. The Small Aral became a flow-through water body and the Big Aral became closed.

Water balance calculations for the Small and the Big Aral were made for the period of 1988-1994. With the Aral Sea being divided into two seas, equal in-flow and out-flow components are representative for the Small Aral's water balance. The amount of water overflow from the Small Aral into the Big Aral is the resulting figure for the water balance. In 1993 and 1994, which are considered to be years with abundant water, the water overflow was 66% of the Syr Darya flow into the Sea. The water balance of the Big Aral in 1987 - 1994 remained negative, as the water out-flow exceeded the in-flow. As a result, the water level of the Big Aral dropped from 40.5 to 36.6 m. In 1994, the recession intensity decreased because of the increased overflow from the Small Aral into the Big Aral. The highest water balance discrepancy ( $17.67 \text{ km}^3$ ) manifested itself in 1990, when it made up 5,8% of the Big Aral water mass which equaled  $302.9 \text{ km}^3$  in the beginning of this year. The least discrepancy ( $0.06 \text{ km}^3$ ) was 0.025% of the  $243.5 \text{ km}^3$  water volume in this part of the Sea in 1992.

These water balance discrepancies allow us to assume that the water balance calculation method is acceptable and might be implemented for calculations given the current deficiency of the Small Aral level observation data and limited information for the Big Aral.

## **Application of Results**

The developed model allows us to calculate sea levels, taking into account different Amu Darya and Syr Darya water diversion options. The results might be used when projecting water and engineering measures in the Aral Sea basin. The obtained sea level forecast is necessary when solving the problems addressing future strategy for population planning in the region surrounding the Aral Sea. The probability forecast might be useful for the Aral Sea regional oblast administrations, agricultural companies, water organizations, design and prospecting organizations, planning departments, scientific institutions and mass media.

## **Policy Recommendations**

The methodology developed for the sea level prognosis is based on the quantitative evaluation of water resources and water flow losses in the river basins. Thus, it is necessary to develop some international agreements on optimal water allocation, (i.e. on the river flow volumes in the formation zone). To keep the present level of the Aral Sea, regional activities to address decrease in consumptive use are necessary. Efficient republic-level decisions to decrease water withdrawals for irrigation and energy purposes need to be undertaken. Otherwise the Small Aral will be isolated from the Big Aral, and the Big Aral will be split into two parts.

## **Potential Impact**

Partial results of the project were used by the State Committee of Water Resources in working out Stage 1 of the Feasibility Report (F.R.) "Development of Measures for Ecological Rehabilitation of the Kazakstani Priaralye Part." The probability prognosis of the sea level derived from the project will promote a more better-founded economic estimation when working out the F.R. Stage II. The Stage-I results were presented in the International Seminar in April 1996. The scientific basis and findings were published in the journal "Hydro Meteorology and Ecology," Vol. 3, 1996. This article will help specialists to use the results in practice. Taking into consideration the great economic value of the Aral Sea and its interconnections with the environment, it is necessary to continue overall scientific hydro-meteorology and hydro-chemistry research for the Sea and its tributaries. The proposed water balance method for estimation of the sea level is a good start for fulfillment of topical sea hydro-chemistry work, in particular for working out the calculation and forecast method addressing the Small and the Big Aral salinity and pollution problems.

## **Regional Cooperation**

The project contributed to the exchange of hydro-meteorological information and results between the Hydromets and Water Committees of Kazakstan, Kyrgyzstan and Uzbekistan. In the process of the project, a useful exchange of opinions, discussions and presentations developed at the seminars sponsored by USAID in 1995 and 1996.

# Проект по природоохранной политике и технологии

Контракт No. CCN – 0003 – Q – 00 – 3165

## НОВЫЕ НЕЗАВИСИМЫЕ ГОСУДАРСТВА ОТЧЁТ

Вероятностный прогноз уровня  
Аральскогоморя и его частей  
Прикладной демонстрационной  
проект No. 6

С.П. Шиварёва, ноябрь 1996 г.  
Delivery Order 08, Task B

Подготовлен для  
Миссии в Центральной Азии  
Агентства США по международному развитию

Подготовлен:  
Региональным офисом в Центральной Азии проекта ППТ,  
г. Алматы, Казахстан  
Проект по природоохранной политике и технологии  
для независимых государств бывшего Советского Союза  
Консорциум ЮСАИДа, под руководством компании CH2M HILL

7

# Содержание

Раздел	Страница
<b>Слова признательности</b>	<b>iii</b>
<b>Об авторах</b>	<b>iii</b>
<b>Краткий отчёт</b>	<b>iv</b>
<b>Полный отчёт</b>	<b>1-1</b>
<b>1 Введение</b>	<b>1-1</b>
Предыстория	1-1
Цель	1-1
Объём работ	1-1
Методика	1-1
<b>2 Результаты и выводы</b>	<b>2-1</b>
Испарение и атмосферные осадки	2-1
Водные ресурсы и их потери	2-1
Водный баланс	2-1
Моделирование уровня на перспективу	2-1
<b>3 Рекомендации</b>	<b>3-1</b>
Рекомендации по использованию результатов	3-1
Рекомендации по политике	3-1
Потенциальное влияние проекта	3-1
<b>Приложения А</b>	<b>А-1</b>
Таблица 1. Параметры теоретических кривых обеспеченности стока р.Амударья	А-1
Таблица 2. Параметры теоретических кривых обеспеченности стока р.Сырдарья	А-2



## Список рисунков

1	Годовые значения сумм осадков и испарения с акватории Аральского моря	2-2
2	Объёмы водных ресурсов и измеренного стока в вершине дельт рек Амударья и Сырдарья по периодам	2-3
3	Годовые объёмы Аральского моря	2-6
4	Водный баланс частей Аральского моря	2-7
5	Перспективные изменения уровня Малого, Большого и единого Аральского моря при четырёх вариантах потерь стока в бассейнах рек Сырдарья и Амударья	2-8

## Слова признательности

**Полу Драйеру, Барбаре Бриттон, Брайну Бушли, Александре Тернинко и Тиму Бонделиду, Проекту ППТ, ЮСАИД.**

**Нине Кавецкой, ЮСАИД.**

**Агамурату Шамену, начальнику Казгидромета.**

**Амирхану Кеншимову, Госкомитет по водным ресурсам Республики Казахстан**

**Николаю Горелкину, САНИГМИ Республики Узбекистан.**

## Об авторах

**Шиварева Светлана Павловна** — руководитель проекта, имеет степень кандидата технических наук и звание доцента по специальности гидрология, работает в КазНИИМОСК (Казахский научно-исследовательский институт мониторинга окружающей среды и климата) в должности руководителя хоздоговорной группы международного Казахстанско — Датского Проекта по Каспийскому морю. Проблемами Аральского моря Шиварева С.П. занимается около 10 лет, является автором 20 статей и двух коллективных монографий по Аральскому морю:

1) Проект "Моря СССР". Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том VII. Аральское море, Ленинград, Гидрометеоиздат 1990 г.

2) Гидрологические проблемы Приаралья. Результаты работы по данному Проекту опубликованы в журнале Казгидромета "Гидрология и экология" №3, 1996 г.

**Смердов Борис Афанасьевич** — исполнитель проекта, работает научным сотрудником в КазНИИМОСК, имеет 10 публикаций по уровенному режиму Аральского моря, успешно моделирует уровни моря на персональном компьютере, разработал авторские программные средства "ARALUR" для расчета уровней моря на перспективу, неоднократно участвовал в экспедициях на Аральское море. Результаты данного проекта Смердов Б. А. докладывал на конференции стран СНГ — США "Вода — критический ресурс: проблема сохранения, использования и управления", Ташкент, октябрь 1996 г.

**Большакова Елена Владиславовна** — исполнитель проекта, работает инженером в ЦАИ (центр автоматизированной информации). Имеет опыт работы и 10 статей по оценке воздействия хозяйственной деятельности на водные ресурсы Казахстана.

## Краткий отчёт

### Цель Проекта

Цель проекта — разработать научно — обоснованный вероятностный прогноз уровня Аральского моря и его частей. Проект состоит из трех этапов: разработка и отладка авторского программного средства для расчета уровня Аральского моря и его частей; подготовка файлов архивной гидрометеорологической информации, расчет параметров модели и составление вероятностного прогноза.

### Результаты Проекта

С помощью разработанного программного средства "ARALUR" выполнено моделирование уровней Аральского моря и его частей на перспективу. Расчеты уровней выполнены по наблюдавшемуся сочетанию естественных рядов за 1932 — 1994 гг. водных ресурсов, слоев испарения и атмосферных осадков. Модель состоит из следующих блоков:

- методика расчета испарения с водной и снежно — ледяной поверхности моря
- методика определения величин атмосферных осадков, выпадающих на акваторию моря
- методика расчета водных ресурсов рек Амударья и Сырдарья, их изменение по длине рек и поступление речного стока в море
- методика расчета уровней моря и его частей.

Выбранный ряд является репрезентативным для среднесуточных условий. Моделирование уровней выполнено для четырех вариантов антропогенных нагрузок в бассейнах рек. Результаты расчета хода уровня показали, что воссоединить Аральское море в единый водоем с отметкой уровня 44 м возможно, если, начиная с 1996 г. в течение 50 лет антропогенная нагрузка в бассейне не превысит ее величины в период до 1960 г.

Вряд ли в ближайшее время, даже в многоводные годы, удастся так резко сократить безвозвратное водопотребление в бассейне рек. Если же сохранить в будущем антропогенную нагрузку в бассейнах Амударья (23,7 км<sup>3</sup> в год) и Сырдарья (9,68 км<sup>3</sup> в год) на уровне развития ирригации в семидесятые годы, то уровень Малого Арала может поддерживаться на современной отметке 40,2 м, а уровень Большого Арала будет продолжать

падать, и к 2030 г. Большое море разделится на две части. Этот вариант нам представляется наиболее реальным, так как в бассейнах Сырдарьи и Амударьи уже проводятся мероприятия по уменьшению безвозвратных потерь стока по сравнению с современными потерями.

Для апробации разработанной модели составлены файлы гидрометеорологической информации: ежемесячные сведения о скорости и направлении ветра, температуре и влажности воздуха, облачности, величине атмосферных осадков, а также сведения об уровнях моря и речном стоке Сырдарьи и Амударьи.

По разработанной методике, рассчитаны слои испарения с водной и снежно – ледяной поверхности Малого Арала с 1941 по 1994 гг. и Большого Арала, с 1950 по 1994 гг. Результаты расчета представлены в виде кривых обеспеченности (повторяемости). С поверхности Малого Арала может испариться с вероятностью один раз в сто лет слой воды не менее чем 883 мм, а с поверхности Большого Арала – 898 мм. Среднегодовое испарение с поверхности Малого моря равно 960 мм, а Большого – 966 мм. В аномально холодные и теплые годы разность испарения между Малым и Большим морями может достигать 36 мм.

Результаты расчета годовых сумм осадков, выпадающих на акватории Малого Арала и Большого, также представлены в виде кривых обеспеченности. Один раз в 100 лет на поверхность Малого Арала за год может выпасть 335 мм осадков, а на поверхность Большого 328 мм в год. В качестве нормы можно рекомендовать величину атмосферных осадков, соответствующую 50 % обеспеченности теоретической кривой, равную для Малого Арала 194 мм в год, а для Большого – 174 мм в год. Среднегодовые значения осадков по Малому морю за 53 года (198 мм) и Большого моря за 43 года (181 мм) очень близки к норме. В течение последнего десятилетия атмосферные осадки в семи годах из десяти были выше нормы. На акваторию Малого Арала, расположенного севернее Большого, выпадает на 10 – 20 мм атмосферных осадков больше.

В 1987 г. Аральское море впервые разделилось на Малое и Большое. В 1995 г. перепад уровней достиг 3,2 м. Малое море стало проточным водоемом, а Большое – замкнутым.

Выполнены расчеты водного баланса Малого Арала и Большого за период 1988 – 1994 гг. В условиях разделения Аральского моря для водного баланса Малого Арала характерно равенство приходных и расходных составляющих. Величина перетока воды из Малого Арала в Большой является результирующей баланса Малого Арала. В многоводные 1993, 1994 годы объем этого перетока составлял 66 % от объема стока Сырдарьи в море. Водный баланс Большого Арала в течение 1987 – 1994 гг. продолжал быть отрицательным, так как расход воды превышал ее приход. В результате чего уровень Большого моря

понижился с 40,5 м до 36,6 м. В 1994 г. интенсивность спада уровня уменьшалась. Это произошло, за счет увеличения перетока воды из Малого Арала в Большой. Наибольшая величина невязки водного баланса 17,67 км<sup>3</sup> получилась в 1990 г., и составила 5,8 % от объема водной массы Большого моря, равного в начале этого года 302,9 км<sup>3</sup>. Наименьшая невязка, равная 0,06 км<sup>3</sup>, составила 0,025 % от начального объема этой части моря в 1992 г. (243,5 км<sup>3</sup>).

Полученные невязки позволяют считать, что разработанный метод расчета водного баланса вполне приемлем и может быть реализован в расчетах при современных условиях отсутствия данных наблюдений за уровнем в Малом море и ограниченной информации по уровню Большого моря.

### **Применение результатов на практике**

Разработанная модель позволяет делать расчеты уровня моря на перспективу при различных вариантах водозаборов в бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи. Выполненные разработки могут быть использованы при проектировании водохозяйственных и инженерных мероприятий в бассейне Аральского моря. Полученный прогноз уровня моря необходим и при решении задач, связанных с будущей стратегией в планировании народонаселения Приаралья. Вероятностный прогноз уровня Аральского моря и его частей может быть применен в областных администрациях Приаральских республик, в сельскохозяйственных компаниях, в водохозяйственных организациях, в проектно – изыскательных организациях, в плановых отделах, в научных учреждениях, в органах распространения массовой информации (радио, телевидении, газетах).

### **Рекомендации политической направленности**

Разработанный прогноз уровня моря составлен на количественной оценке водных ресурсов и потерь стока в бассейнах рек. Поэтому необходима разработка межреспубликанских соглашений об оптимальном распределении водных ресурсов, т.е. объемов речного стока в зоне их формирования. Чтобы сохранить Аральское море на современном уровне необходимо вести региональные работы по уменьшению безвозвратных потерь стока в бассейнах рек. Необходимо принять оптимальное решение на республиканском уровне об уменьшении величин водозаборов на нужды орошения и энергетики. В противном случае Малый Арал будет изолирован от Большого, а Большой Арал разделится на две части.

## **Потенциальное влияние**

Частично результаты работы использованы Госкомводресурсами при составлении I этапа технико – экономического доклада (ТЭД) "Разработка мероприятий по экологическому оздоровлению казахстанской части Приаралья". Полученный в данном Проекте вероятностный прогноз уровня моря поможет более обоснованно выполнить экономические расчеты при составлении II этапа ТЭДа. Результаты I этапа Проекта были доложены на международном семинаре в Бухаре (апрель, 1996 г). Выводы и научное обоснование Проекта опубликовано в журнале "Гидрометеорология и экология" № 3, 1996 г. Эта статья поможет специалистам использовать ее в своей практике. Учитывая огромную экономическую значимость моря, характер его взаимосвязи с окружающей средой, необходимо продолжить комплексные научные исследования по гидрометеорологии и гидрохимии моря и его частей. Предложенный воднобалансовый метод расчета уровня является хорошим научным заделом для выполнения актуальных работ по гидрохимии моря, в частности, для разработки метода расчета и прогноза солености и загрязнения Малого Арала и Большого.

## **Региональное сотрудничество**

Выполненный Проект способствовал обмену гидрометинформации и результатов работы между республиканскими Гидрометами и Комитетами по водным ресурсам Казахстана, Киргизии, Узбекистана. При выполнении Проекта были полезные обмены мнений, дискуссии и доклады, проходившие на международных семинарах, организованных USAID в 1995 и 1996 гг.

## **ПОЛНЫЙ ОТЧЁТ**

## Раздел 1 Введение

### 1.1 Предыстория

Резкое падение уровня Аральского моря и разделение его на две части обусловило необходимость разработки усовершенствованных методов расчета слагаемых водного баланса и уровней. В настоящее время многие исследователи, в том числе и зарубежные, ведут поиски способов ослабления негативных последствий, вызванных прогрессирующим падением уровня моря и осолонением его вод, путем сохранения частей моря и регулирования водопотребления в его бассейне. Для этих целей необходимо знание современного гидрологического режима моря и обоснованный расчет его изменения в перспективе.

В 90-ые годы из-за финансовых трудностей Казгидромет сократил объем гидрологических наблюдений на море и в его бассейне, поэтому научные разработки по данному Проекту актуальны и приобретают особую практическую ценность.

### 1.2 Цель

Цель Проекта — разработать метод расчета слагаемых водного баланса Аральского моря и его частей, на основе которого выполнить расчеты уровня на перспективу.

### 1.3 Объем работ

Проект состоит из трех этапов: разработка и отладка авторского программного средства для расчета слагаемых водного баланса, уровня Аральского моря и его частей; подготовка файлов архивной гидрометеорологической информации; расчет параметров модели и составление вероятностного прогноза уровня моря и его частей. Проект выполнялся с 17 апреля по 18 ноября 1996 г. в КазНИИМОСК.

### 1.4 Методика

В основу разработанного метода расчета уровня Аральского моря положены усовершенствованные методики оценки основных его слагаемых: испарения, атмосферных осадков и речного стока. Натурные наблюдения за испарением воды с поверхности на гидрометеостанциях Аральского моря никогда не проводились. Поэтому для оценки величины испарения с поверхности Аральского моря использовались теоретические или эмпирические формулы. В данном проекте испарение с поверхности



Аральского моря рассчитывалось теплобалансовым методом, включающим в себя три задачи: определение средних значений метеорологических величин для водоема или его частей, расчет температуры поверхности моря из полного уравнения теплового баланса, расчет слоя испарения. Средние для акваторий Малого и Большого Арала значения метеорологических величин вычислялись по уточненным для условий Аральского моря трансформационным формулам, используя показания близлежащих метеорологических станций. Температура водной поверхности  $t_{n,k}$  определялась по формуле, выведенной из уравнения теплового баланса водной массы моря за безледный период при условии неизменности уровня моря за расчетный период,

$$t_{n,k} = t_{n,n} + \frac{\tau}{c \mu H_{cp}} (Q_{cp} + Q_a - Q_k - Q_{изл} - Q_{исп} + Q_{ад}), \quad (1)$$

где  $t_{n,n}$  — начальная температура поверхности моря, °С;

$\tau$  — расчетный интервал времени;  $c$  — объемная теплоемкость воды, Дж/(м<sup>3</sup>·К);

$\mu$  — отношение средней по вертикали температуры воды к температуре поверхности;  $H_{cp}$  — средняя глубина моря, м;  $Q_{cp}$  и  $Q_a$  — поглощенные испаряющей поверхностью плотности тепловых потоков суммарной солнечной радиации и встречного излучения атмосферы, Вт/м<sup>2</sup>;

$Q_k$  и  $Q_{изл}$  — плотности контактного теплообмена поверхности моря с атмосферой и теплового излучения Вт/м<sup>2</sup>;  $Q_{исп}$  и  $Q_{ад}$  — поверхностные плотности тепловых потоков фазового превращения воды в пар и адвекции, Вт/м<sup>2</sup>.

Температура снежно — ледяной поверхности моря  $t_c$  — вычислялась по формуле, полученной из решения уравнения теплового баланса снежной поверхности моря,

$$t_c = \frac{(A_c - A_0) h_{\varepsilon} + \lambda t_{кр}}{a h_{\varepsilon} + \lambda}, \quad (2)$$

где  $(A_c - A_0)$  — результирующая плотностей тепловых потоков снежно — ледяной поверхности, Вт/м<sup>2</sup>;  $h_{\varepsilon}$  — толщина снежно — ледяного покрова, м;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности льда, Вт/(м·К);  $t_{кр}$  — температура воды, при которой начинается ее кристаллизация, °С;  $a$  — коэффициент теплообмена, зависящий от скорости ветра, температуры воздуха и атмосферного давления, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Величины температуры воды и снежно — ледяного покрова зависят от составляющих теплового баланса. В среднем за год водная масса Аральского моря приобретает 38% теплоты от суммарной солнечной радиации  $Q_{cp}$  и 62% — от встречного излучения атмосферы  $Q_a$ , а

М

расходуется 68% теплоты за счет теплового излучения  $Q_{\text{изл}}$  и 32% — за счет фазового превращения воды в пар  $Q_{\text{исп}}$ .

Расчет слоя испарения  $E$  с водной поверхности, основываясь на законе Дальтона, производился по формуле

$$E = K_c (e_n - e_2) \tau, \quad (3)$$

где  $K_c$  — коэффициент испарения, характеризующий условия отхода водяного пара от испаряющей поверхности, м/(сут·гПа);  $e_n$  — максимальное парциальное давление водяного пара, зависящее от температуры испаряющей поверхности  $t_{n,k}$  или  $t_c$ , гПа;  $e_2$  — парциальное давление водяного пара на высоте 2 м над поверхностью моря. Коэффициент испарения  $K_c$  — рассчитывался по формуле, предложенной в 1989 г. казахстанским ученым Браславским и учитывающей влияние свободной и вынужденной конвекции на интенсивность испарения,

$$K_c = \frac{1}{\frac{1}{\kappa} + \frac{1}{\kappa_0}}, \quad (4)$$

где  $\kappa$  — коэффициент испарения, характеризующий условия отхода водяного пара от испаряющей поверхности в вязко-буферном слое атмосферы, м/(сут·гПа);  $\kappa_0$  — коэффициент испарения в вакууме, м/(сут·гПа).

Расчет слоя испарения со снежно-ледяной поверхности  $K_{c-l}$  производился по формуле, предложенной авторами проекта,

$$K_{c-l} = 0,00026 [ U_2 / (0,916 + 0,00634 t_2) ]^{0,7}, \quad (5)$$

где  $U_2$  и  $t_2$  — скорость ветра (м/с) и температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) на высоте 2 м над поверхностью моря.

Резкие изменения морфометрических характеристик Аральского моря существенно повлияли на расчеты трансформации воздушной массы над водной поверхностью и тепловых потоков поглощенной водой суммарной солнечной радиации. Влияние возрастающей солености морской воды учитывалось в расчетах температуры кристаллизации и плотности морской воды, теплопроводности и теплоемкости льда, а также максимального парциального давления водяного пара.

Испарение с поверхности Малого Арала определялось как среднеарифметическое из рассчитанных величин испарения по данным двух метеорологических станций: "Аральское море" и "Баян". Испарение с поверхности Большого моря вычислялось как среднеарифметическое из рассчитанных величин испарения по данным метеорологических станций: "о.Лазарева", "о.Барсакельмес", "Уялы", "Муйнак".

Количество атмосферных осадков, выпавших на акваторию Аральского моря, невелико, однако в связи с резким сокращением речного стока в 80 и 90-ые годы относительная их роль в водном балансе моря существенно возросла. В данном Проекте методика расчета атмосферных осадков включает в себя решение двух задач: корректировка измеренных на метеостанциях величин атмосферных осадков и расчет многолетних рядов.

Методика расчета уровня включает в себя следующие этапы. Решение системы дифференциальных уравнений

$$dW_6 = (V_p - ZF) dt \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \\ dW_M = FdH \end{array} \right.$$

где  $dW_6$  — приращение водного баланса моря за время  $dt$ ,  $\text{км}^3$ ;  $V_p$  — объем поступающего в море речного стока,  $\text{км}^3$ ;  $Z$  — слой видимого испарения с поверхности моря за время  $dt$ ,  $\text{км}$ ;  $F$  — площадь водной поверхности моря,  $\text{км}^2$ ;  $dW_M$  — приращение объема при изменении его уровня на  $dH$ ,  $\text{км}^3$ .

Зависимость площади моря  $F$  от его уровня  $H$  аппроксимирована последовательными отрезками прямых, описываемых уравнением,

$$F = aH + b, \quad (7)$$

где  $a$  — морфометрический коэффициент,  $\text{км}$ ;  $b$  — параметр,  $\text{км}^2$ .

Подстановка в (6) линейной зависимости площади от уровня (7) и решение этой системы относительно переменной  $t$  при условии, что приращение объема воды в море равно разности между приходной и расходной частями его водного баланса, т.е.  $dW_M = dW_6$ , приводит к формуле

$$t = -\frac{1}{Z} \left[ \frac{V_p}{aZ} \ln \left| \frac{V_p - Z(aH_K + b)}{V_p - Z(aH_H + b)} \right| - H_K + H_H \right], \quad (8)$$

где  $t$  — интервал времени, необходимый для изменения уровня от начального ( $H_H$ ) конечного ( $H_K$ ) значения при фиксированных величинах  $V_p$  и  $Z$ .

Потенцирование выражения (8) приводит к формуле (9) для расчета уровня в конце интервала времени  $t$ :

$$H_K = \left( H_H - \frac{V_p}{aZ} + \frac{b}{a} \right) e^{-NZ} + \frac{V_p}{aZ} - \frac{b}{a}, \quad (9)$$

где 
$$N = \frac{aZ(Zt + H_K - H_H)}{V_p}$$

Неявная форма выражения (9) затрудняет его использование в расчетах, поэтому для расчета уровня моря и его частей принято одно из приближений в виде зависимости

$$H_K = \sqrt{\left[ \left( H_H + \frac{b}{a} - \frac{Zt}{2} \right)^2 + 2 \frac{V_p t}{a} \right]} - \frac{Zt}{2} - \frac{b}{a} \quad (10)$$

Речной сток к морю определялся по формуле :

$$V_{сд} = (V_{рес.с} - P_{ест.с} - P_{ант.с}) - P_{д.с} \quad (11)$$

$$V_{ад} = (V_{рес.а} - P_{ест.а} - P_{ант.а}) - P_{д.а} \quad (12)$$

где  $V_{рес.с}$  и  $V_{рес.а}$  — водные ресурсы рек Сырдарьи и Амударьи, км<sup>3</sup>/год ;  
 $P_{ест.с}$ ,  $P_{ест.а}$  и  $P_{ант.с}$ ,  $P_{ант.а}$  — естественные и антропогенные потери водных ресурсов этих рек, км<sup>3</sup>/год;  $P_{д.с}$  и  $P_{д.а}$  — потери стока рек в пределах их дельт, км<sup>3</sup>/год.

Водные ресурсы рек Сырдарья и Амударья представляют собой объем речного стока этих рек, измеренный в зоне его формирования.

Для оценки условно — естественных и условно — антропогенных потерь были выполнены расчеты по восстановлению условно — естественного стока в вершине дельт, используя для этого разностные интегральные кривые и уравнения регрессии. Естественные потери представляют собой разность между водными ресурсами и восстановленным стоком, а антропогенные потери — разность между восстановленным и измеренным стоком в вершине дельт.

## Раздел 2

### Результаты и выводы

Разработана комплексная модель расчета водного баланса Аральского моря и его частей, состоящая из следующих блоков: методика расчета испарения с водной и с снежно – ледяной поверхности моря; методика определения величины атмосферных осадков, выпадающих на акваторию моря; методика расчета притока речного стока в море; методика расчета уровней моря и его частей. Для апробации разработанной модели составлены файлы гидрометеорологической информации за 1941 – 1995 гг. месячные сведения о скорости и направлении ветра, температуре и влажности воздуха, облачности, величине атмосферных осадков, а также сведения об уровнях моря и речного стока рек Сырдарья и Амударья. Проверка модели выполнена за 1984 – 1994 гг. Хорошее совпадение рассчитанных и наблюдавшихся уровней позволила применить ее для моделирования уровней двух частей Аральского моря на перспективу.

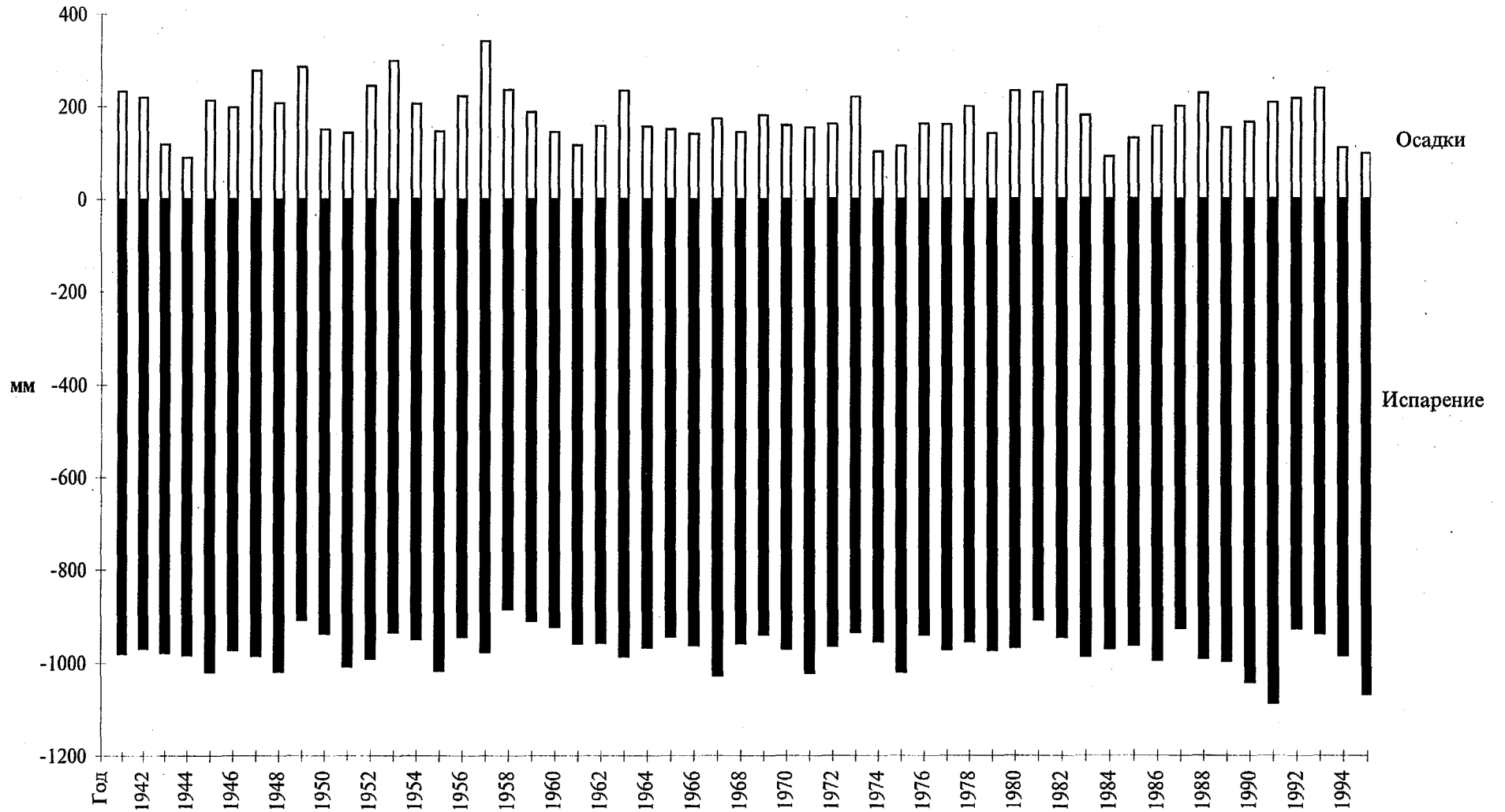
#### 2.1 Испарение и атмосферные осадки

Разработанные методики расчета испарения и атмосферных осадков позволили определить их величины для всего Аральского моря за 1941 – 1995 гг. (рис.1). Выполнена статистическая оценка рассчитанных рядов испарения и атмосферных осадков для Малого Арала и для Большого Арала. С поверхности Малого Арала может испариться с вероятностью один раз в сто лет слой воды не менее чем 883 мм, а с поверхности Большого Арала – 898 мм. Среднемноголетний слой испарения с поверхности Малого Арала равен 960 мм, Большого – 966 мм. В аномально холодные и теплые годы разница испарения между Малым и Большим морями может достигать 36 мм. Один раз в сто лет на поверхность Малого Арала за год может выпасть 335 мм осадков, а на поверхность Большого – 328 мм в год. Среднемноголетнее значение осадков для Малого моря равно 198 мм, а для Большого – 181 мм. На акваторию Малого Арала выпадает на 10 – 20 мм осадков больше, чем на акваторию Большого.

#### 2.2 Водные ресурсы и их потери

Среднемноголетняя величина водных ресурсов р. Амударьи равна 64,3 км<sup>3</sup>/год, а р.Сырдарьи – 37,6 км<sup>3</sup>/год (рис.2). До 1960 г. 50% от водных ресурсов р. Амударьи и 40% – р.Сырдарьи поступало в море, а остальная часть водных ресурсов представляет собой условно – естественные потери речного стока на протяжении от зоны формирования до вершины дельты. После 1960 г. к естественным потерям добавились антропогенные, в результате чего в 1981 – 1992 г. к вершине дельт доходило всего 13% т водных ресурсов р. Амударьи и 8% – р. Сырдарья. Величина естественных потерь стока в 1984 – 1992г. р. Амударьи оценена в размере 29,7 км<sup>3</sup>/года, р.

Годовые значения сумм осадков и испарения с акватории Аральского моря



Годы  
Рис.1

Объемы водных ресурсов и измеренного стока  
в вершине дельт рек Амударья и Сырдарья по периодам

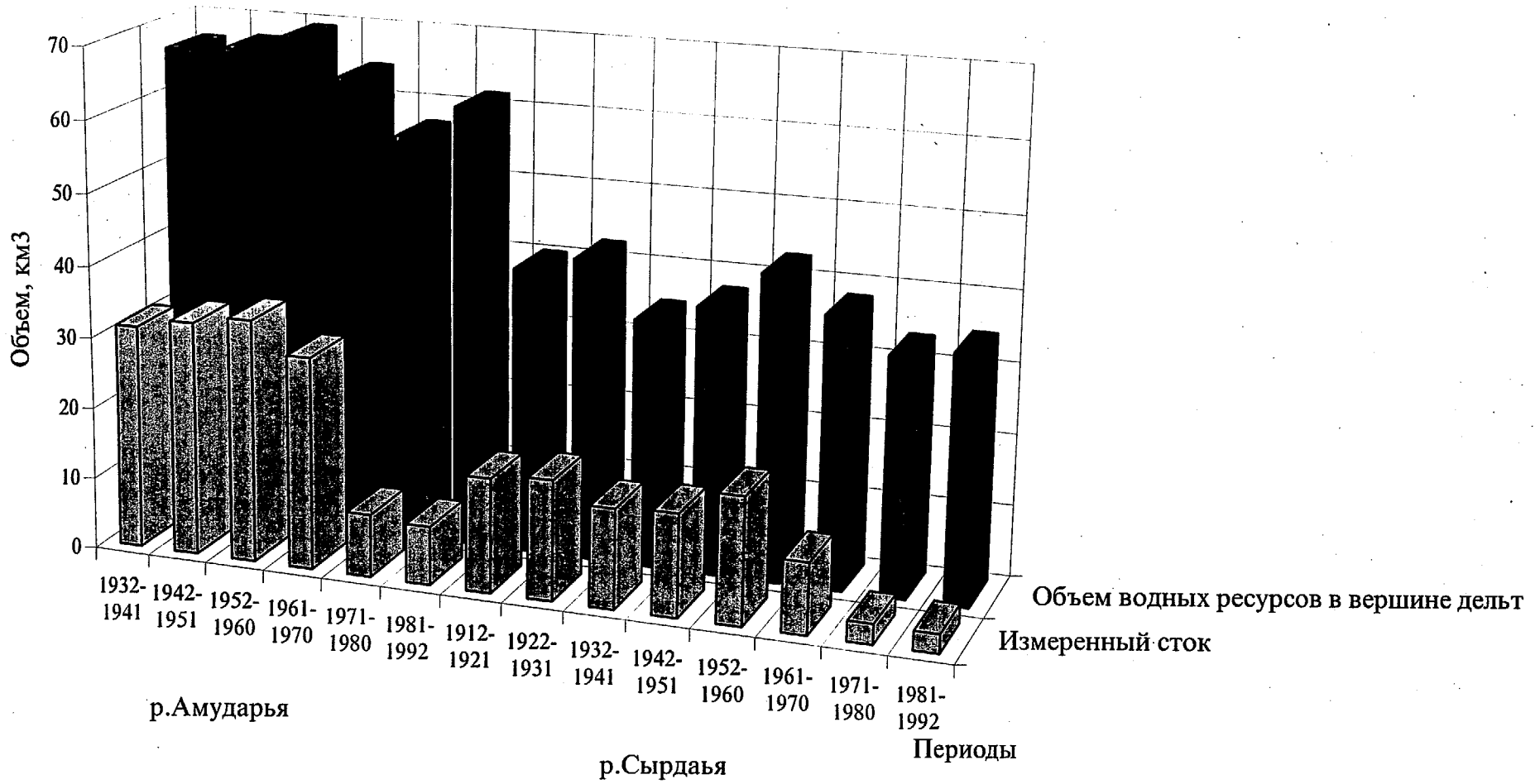


Рис.2

Сырдарья —  $20,7 \text{ км}^3/\text{год}$ . За этот же период антропогенные потери стока составили для р. Амударья  $23,7 \text{ км}^3/\text{год}$ , а для р. Сырдарья —  $11 \text{ км}^3/\text{год}$ . В зависимости от водности года в бассейне р. Амударья колебания водных ресурсов составили  $37,9 \text{ км}^3/\text{год}$ , бытового, измеренного стока в вершине дельты —  $41,8 \text{ км}^3/\text{год}$ , естественных потерь —  $8 \text{ км}^3/\text{год}$ , а антропогенных потерь —  $23 \text{ км}^3/\text{год}$  (Приложение 1 табл.1). В бассейне р. Сырдарья эти величины соответственно составили  $26 \text{ км}^3/\text{год}$ ,  $20 \text{ км}^3/\text{год}$ ,  $16,4 \text{ км}^3/\text{год}$  и  $10 \text{ км}^3/\text{год}$  (Приложение 1 табл.2).

### 2.3 Водный баланс

Объем водной массы Аральского моря составлял в 50 и 60-ые годы  $1000 - 1100 \text{ км}^3$  (рис. 3а). Этот объем поддерживался равновесным водным балансом: в море поступал объем воды с речным стоком ( $V$ ) около  $50 \text{ км}^3/\text{год}$  и такой же объем воды терялся на испарение с его поверхности (рис 3б). В 80-ые годы объем испарившейся воды в 8—10 раз превосходил объем воды, поступивший с речным стоком.

В результате объем водной массы Аральского моря в 1987 г. уменьшился до  $400 \text{ км}^3$ . В 1987 г. Аральское море впервые разделилось на Малое и Большое. В 1996 г. перепад уровней достиг 4 м. Малое море стало проточным водоемом, а Большое — замкнутым. Выполнены расчеты водного баланса Малого Арала и Большого за период 1988—1994 гг. (рис.4). В условиях разделения Аральского моря для водного баланса Малого Арала характерно равенство приходных и расходных составляющих. Величина перетока воды из Малого Арала в Большой является результирующей баланса Малого Арала. В многоводные 1993—1994 годы объем этого перетока составлял 66 % от объема стока Сырдарьи в море. Водный баланс Большого Арала в течение 1987—1994 гг. продолжал быть отрицательным, так как расход воды превышал ее приход. В результате чего уровень Большого моря понизился с  $40,5 \text{ м}$  до  $36,0 \text{ м}$ .

В 1994 г. объем водной массы Большого моря уменьшился всего на  $6,87 \text{ км}^3$ . Это произошло за счет увеличения перетока воды из Малого Арала в Большой. Наибольшая величина невязки водного баланса  $10,2 \text{ км}^3$  произошла в 1990 г., и составила 3,2 % от объема водной массы Большого моря, равного в начале этого года  $302,9 \text{ км}^3$ . Наименьшая невязка, равная  $0,06 \text{ км}^3$ , составила 0,025 % от начального объема этой части моря в 1992 г. ( $243,5 \text{ км}^3$ ). Полученные невязки позволяют считать, что разработанный метод расчета водного баланса вполне приемлем и может быть реализован в расчетах при современных условиях отсутствия данных наблюдений за уровнем в Малом море и ограниченной информации по уровню Большого моря.



## 2.4 Моделирование уровня на перспективу

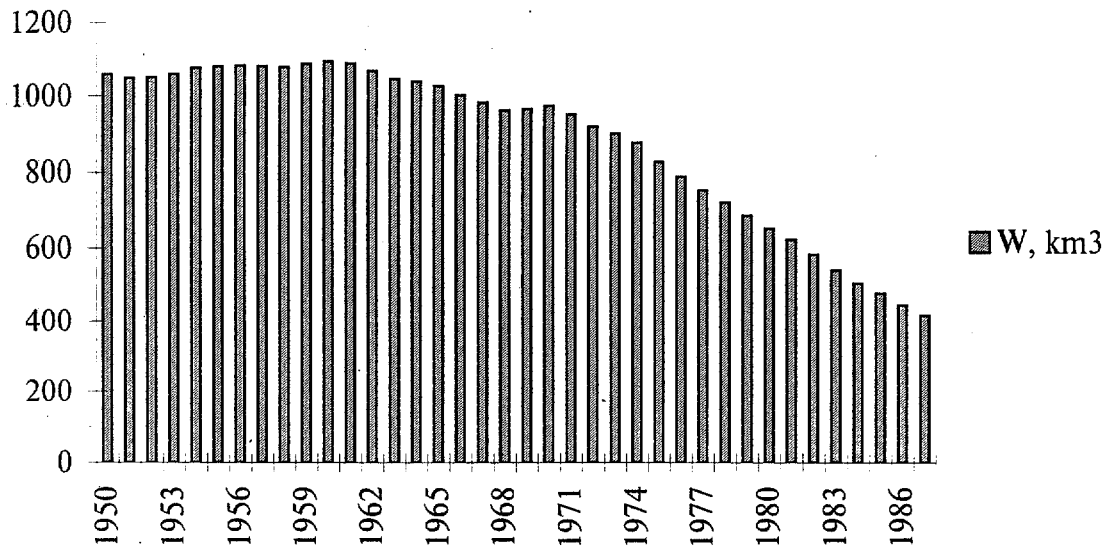
С помощью разработанного программного средства "ARALUR" выполнено моделирование уровней Аральского моря и его частей на перспективу. Расчеты уровней выполнены по наблюдавшемуся сочетанию естественных рядов за 1912-1994 гг. водных ресурсов, слоев испарения и атмосферных осадков. Выбранный ряд является репрезентативным для среднемноголетних условий.

Моделирование уровней выполнено для четырех вариантов антропогенных нагрузок в бассейнах рек. Результаты расчета хода уровня (рис.5) показали, что воссоединить Аральское море в единый водоем с отметкой уровня 50 м и с отметкой 45 м возможно, если, начиная с 1996 г. в течении 50 лет антропогенная нагрузка в бассейне будет равна нулю (вариант 1) или антропогенные потери в бассейне р. Сырдарья не будут превышать  $4,24 \text{ км}^3$  в год, а в бассейне р. Амударья -  $9,62 \text{ км}^3$  в год (вариант 2). вряд ли в ближайшее время, даже в многоводные годы, удастся так резко сократить безвозвратное водопотребление в бассейнах рек.

Если же сохранить в будущем антропогенную нагрузку в бассейнах Амударьи и Сырдарьи на уровне развития ирригации в семидесятые годы (вариант 3), то уровень Малого Арала может поддерживаться на современной отметке 40,2 м, а уровень Большого Арала будет продолжать падать со средней интенсивностью 20 см в год. Этот вариант нам представляется наиболее реальным, так как в бассейнах Сырдарьи и Амударьи уже проводятся мероприятия по уменьшению безвозвратных потерь стока по сравнению с современными потерями.

Если в ближайшие 50 лет антропогенные потери сохранятся такими же какие они были в 80-ые годы (по р. Сырдарья -  $12,1 \text{ км}^3/\text{год}$ , а по р. Амударья -  $34,5 \text{ км}^3/\text{год}$ ), то Малый Арал превратится в бессточный водоем, а Большой Арал разделится на две части (вариант 4).

### а. Годовые объемы Аральского моря



### б. Речной приток и испарение с поверхности Аральского моря

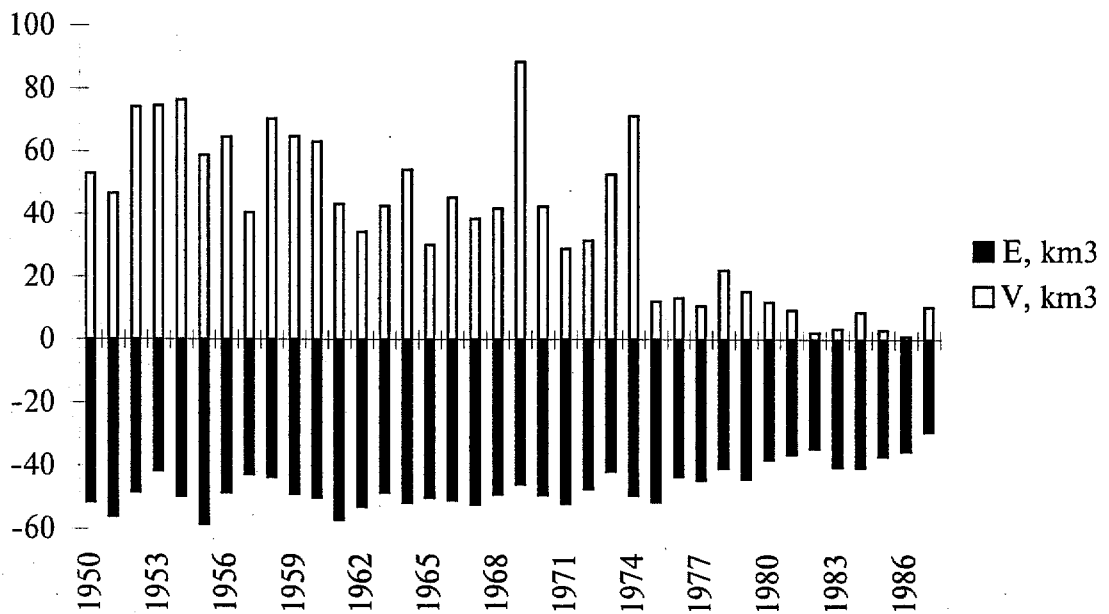


Рис.3

26

## Водный баланс частей Аральского моря

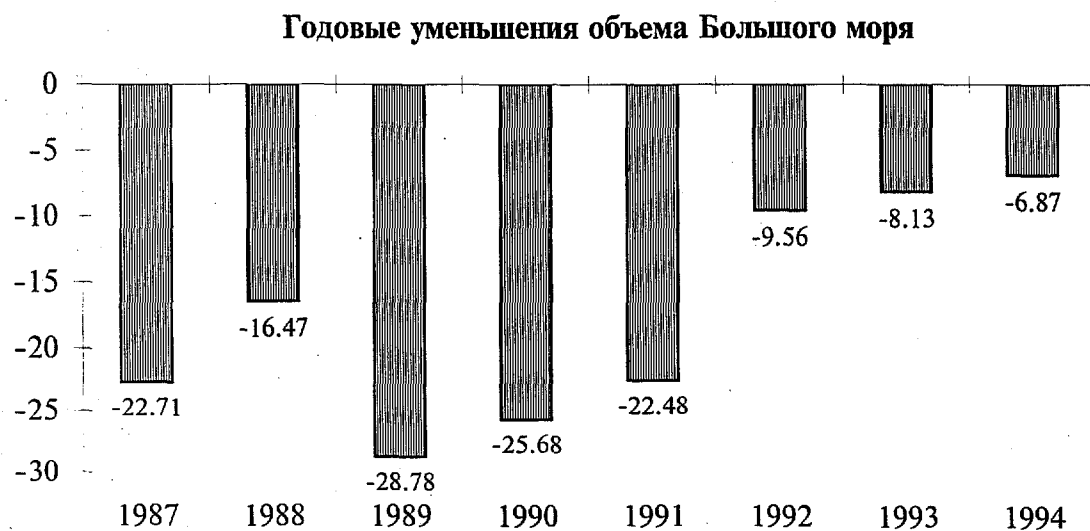
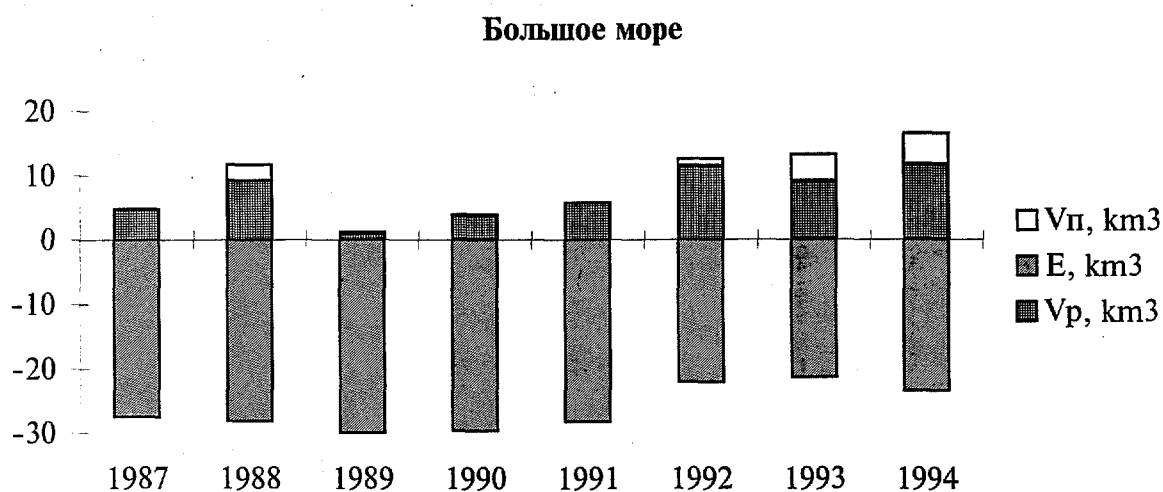
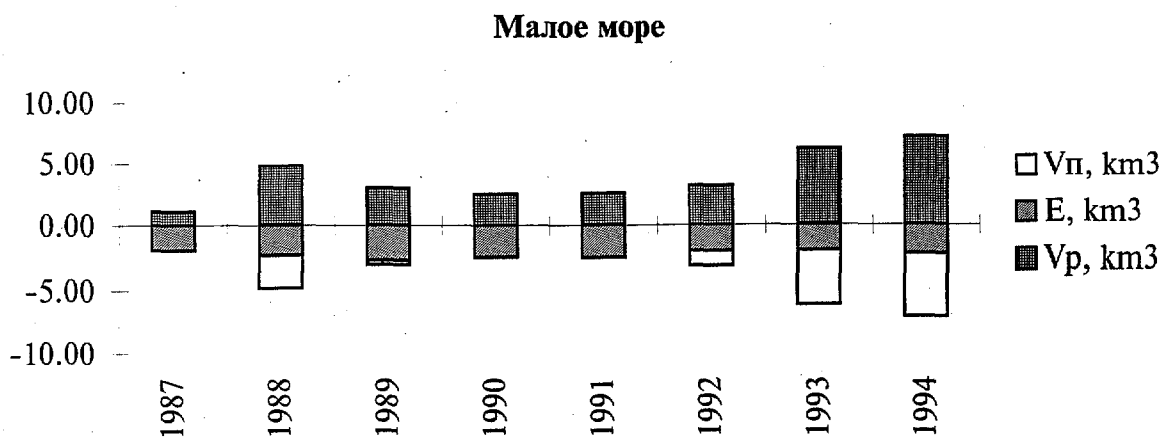


Рис.4

Перспективные изменения уровня Малого, Большого и единого Аральского моря при четырех вариантах потерь стока в бассейнах рек Сырдарья и Амударья

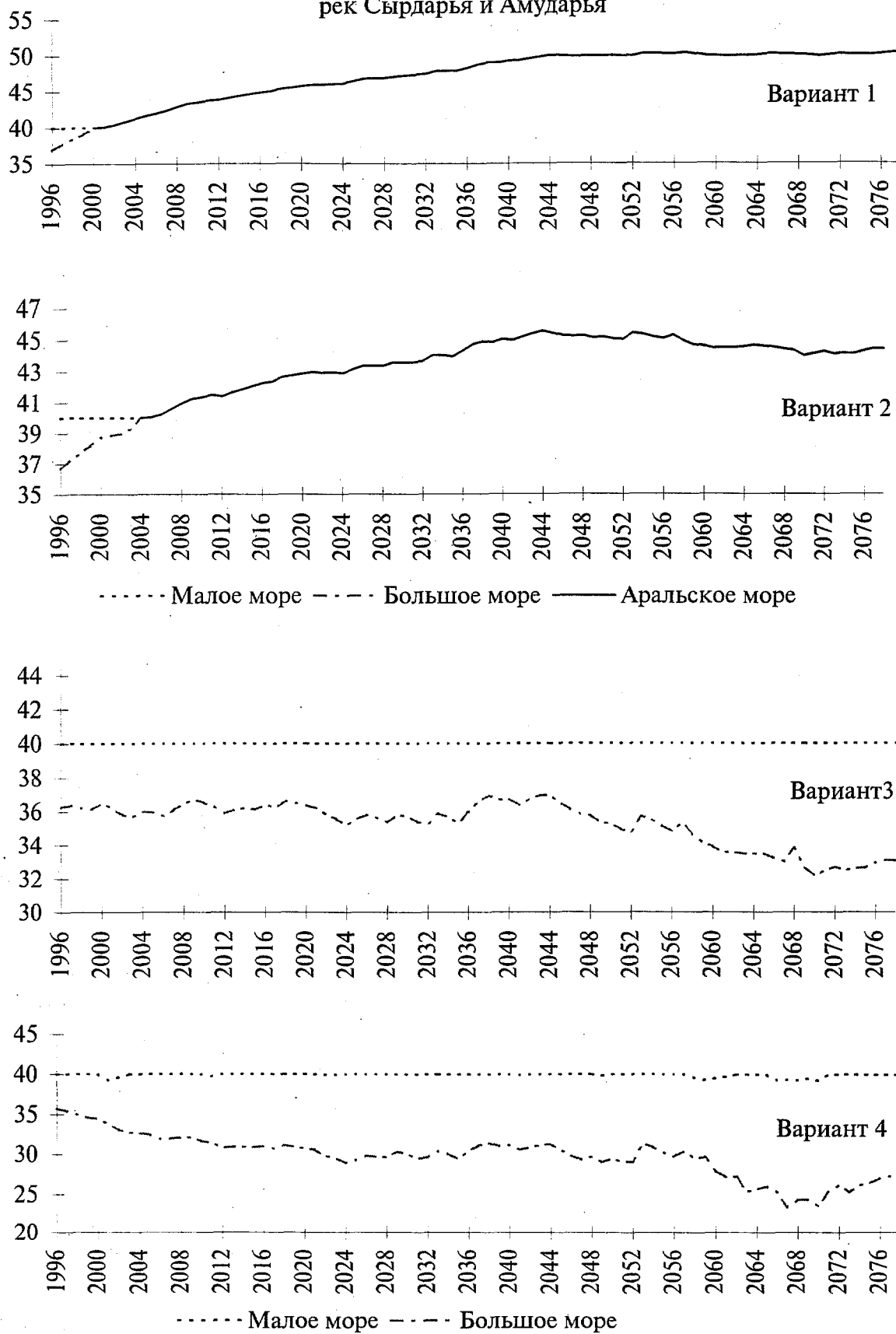


Рис.5

## Раздел 3 Рекомендации

### 3.1 Рекомендации по использованию результатов проекта

Разработанная модель позволяет делать расчеты уровня моря на перспективу при различных вариантах водозаборов в бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи. Выполненные разработки могут быть использованы при проектировании водохозяйственных и инженерных мероприятий в бассейне Аральского моря. Полученный прогноз уровня моря необходим и при решении задач, связанных с будущей стратегией в планировании народонаселения Приаралья. Вероятностный прогноз уровня Аральского моря и его частей может быть применен в областных администрациях Приаральских республик, в сельскохозяйственных компаниях, водохозяйственных организациях, в проектно – изыскательных организациях, в плановых отделах, в научных учреждениях, в органах распространения массовой информации (радио, телевидении, газетах). Моделирование водных ресурсов и их потерь по длине рек Амударьи и Сырдарьи могут быть использованы при расширении системы RIMDESS и многоцелевой оптимизированной модели для распределения воды в регионе Аральского моря.

### 3.2 Рекомендации по политике

Разработанный прогноз уровня моря составлен на количественной оценке водных ресурсов и потерь стока в бассейнах рек. Поэтому необходима разработка межреспубликанских соглашений об оптимальном распределении водных ресурсов, т.е. объемов речного стока в зоне их формирования. Чтобы сохранить Аральское море на современном уровне необходимо вести региональные работы по уменьшению безвозвратных потерь стока в бассейнах рек. Необходимо принять оптимальное решение на республиканском уровне об уменьшении величин водозаборов на нужды орошения и энергетики. В противном случае Малый Арал будет изолирован от Большого, а Большой Арал разделится на две части.

### 3.3 Потенциальное влияние проекта

Частично результаты работы использованы Госкомводресурсами при составлении I этапа технико – экономического доклада (ТЭД) "Разработка мероприятий по экологическому оздоровлению казахстанской части Приаралья". Полученный в данном Проекте вероятностный прогноз уровня моря поможет более обоснованно выполнить экономические расчеты при составлении II этапа ТЭДа. Результаты I этапа Проекта были доложены на международном семинаре в Бухаре (апрель, 1996 г). Выводы и научное обоснование Проекта опубликовано в журнале "Гидрометеорология и

экология" № 3, 1996 г. Эта статья поможет специалистам использовать ее в своей практике. Учитывая огромную экономическую значимость моря, характер его взаимосвязи с окружающей средой, необходимо продолжить комплексные научные исследования по гидрометеорологии и гидрохимии моря и его частей. Предложенный воднобалансовый метод расчета уровня является хорошим научным началом для выполнения актуальных работ по гидрохимии моря, в частности, для разработки метода расчета и прогноза солености и загрязнения Малого Арала и Большого. При выполнении Проекта были полезные обмены мнений, дискуссии и доклады, проходившие на международных семинарах, организованных USAID в 1995 и 1996 гг.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

# Приложение А

Таблица 1

## Параметры теоретических кривых обеспеченности стока р.Амударья по створам ( км<sup>3</sup> )

Створ	Обеспеченность, %					Средний многолет- ний сток, км <sup>3</sup>	Коэффициент	
	5	25	50	75	95		измен- чивос- ти, C <sub>v</sub>	асим- мет- рии, C <sub>s</sub>
<b>Приток из зоны формирования</b>								
г.Керки	85,5	71,4	63,0	55,9	47,6	64,3	0,18	0,68
кишлак Чатлы	85,5	71,4	63,0	55,9	47,6	64,3	0,18	0,68
кишлак Кызыл- джар	85,5	71,4	63,0	55,9	47,6	64,3	0,18	0,68
<b>Бытовой, измеренный сток</b>								
г.Керки	75,1	65,0	56,7	47,3	31,7	55,6	0,24	-0,54
кишлак Чатлы	62,1	45,4	33,0	20,2	14,5	32,4	0,58	-0,19
кишлак Кызыл- джар	44,3	33,4	25,3	16,5	2,5	24,8	0,52	-0,34
<b>Восстановленный сток</b>								
г.Керки	79,7	66,7	59,2	59,1	46,4	60,6	0,19	0,68
кишлак Чатлы	61,0	50,2	44,3	38,9	33,0	45,2	0,19	0,68
кишлак Кызыл- джар	46,8	38,3	33,0	28,8	23,4	33,9	0,21	0,57
<b>Естественные потери</b>								
г.Керки	5,8	4,7	3,8	2,8	1,2	3,73	0,38	-0,53
кишлак Чатлы	25,0	21,0	18,7	16,8	14,6	19,1	0,17	0,67
кишлак Кызыл- джар	32,2	33,6	30,0	27,1	24,2	30,2	0,15	0,65
<b>Антропогенные потери</b>								
г.Керки	0,2	1,1	4,1	9,1	19,7	5,0	1,15	1,68
кишлак Чатлы	0,2	5,8	14,0	24,3	32,0	16,1	0,87	0,37
кишлак Кызыл- джар	2,3	3,7	9,4	16,0	26,9	10,1	0,93	0,70

32



Таблица 2

**Параметры теоретических кривых обеспеченности стока  
р.Сырдарья по створам ( км<sup>3</sup> )**

Створ	Обеспеченность, %					Средний много- летний сток, км <sup>3</sup>	Коэффициенты	
	5	25	50	75	95		вари- ации C <sub>v</sub>	ассим- метрии C <sub>s</sub>
<b>Приток из зоны формирования</b>								
Кишл.Каль	31,8	25,4	21,9	19,0	15,8	22,6	0,22	0,88
г.Бекабад	35,7	29,2	25,2	22,1	19,0	25,9	0,20	0,82
н.бьеф Чар- дар.вдхр.	48,2	40,3	35,3	30,7	27,1	35,7	0,20	0,42
п.Коктюбе	52,0	42,6	37,0	32,0	26,4	37,6	0,21	0,60
ж.д.ст.Тюмень	52,0	42,6	37,0	32,0	26,4	37,6	0,21	0,60
Арык								
пгг.Джусалы	52,0	42,6	37,0	32,0	26,4	37,6	0,21	0,60
г.Казалинск	52,0	42,6	37,0	32,0	26,4	37,6	0,21	0,60
<b>Бытовой, измеренный сток</b>								
Кишл.Каль	22,4	16,6	13,3	10,6	7,67	13,9	0,33	0,83
г.Бекабад	24,2	15,6	10,2	4,89	0,49	10,3	0,77	0,18
н.бьеф Чар- дар.вдхр.	32,3	24,7	19,4	14,5	7,4	19,6	0,39	0,13
п.Коктюбе	32,8	25,5	20,6	15,0	7,54	20,2	0,38	-0,11
ж.д.ст.Тюмень	30,4	23,4	18,3	13,1	5,62	18,1	0,42	-0,10
Арык								
пгг.Джусалы	23,3	17,5	13,2	8,5	1,55	12,9	0,52	-0,28
г.Казалинск	21,0	16,0	12,0	7,6	0,69	11,5	0,54	-0,43
<b>Восстановленный сток</b>								
Кишл.Каль	23,2	18,5	15,9	13,8	11,5	16,4	0,22	0,88
г.Бекабад	26,7	19,8	17,1	14,2	11,2	17,8	0,27	0,81
н.бьеф Чар- дар.вдхр.	34,2	27,0	22,6	18,7	13,6	23,1	0,27	0,44
п.Коктюбе	33,9	27,2	23,4	19,8	16,0	23,9	0,23	0,66
ж.д.ст.Тюмень	31,6	24,9	21,0	18,4	13,6	21,7	0,26	0,68
Арык								
пгг.Джусалы	23,4	18,9	16,2	13,7	12,1	16,6	0,23	0,59
г.Казалинск	20,4	16,8	14,7	12,9	10,7	15,0	0,20	0,55

Продолжение табл. 2

Створ	Обеспеченность, %					Средний много- летний сток, км <sup>3</sup>	Коэффициенты	
	5	25	50	75	95		вари- ации  C <sub>v</sub>	ассим- метрии  C <sub>s</sub>
<b>Естественные потери стока</b>								
Кишл.Каль	9,55	6,84	5,67	4,87	4,50	6,16	0,28	1,87
г.Бекабад	8,91	8,50	8,25	8,00	7,75	8,25	0,04	0,58
н.бьеф Чар- дар.вдхр.	14,6	13,4	12,5	11,6	10,5	12,5	0,10	0,08
п.Коктюбе	18,6	15,6	13,7	11,9	9,7	13,8	0,20	0,39
ж.д.ст.Тюмень Арык	21,2	18,1	16,0	14,1	11,7	16,2	0,18	0,28
пгт.Джусалы	29,1	23,8	20,7	17,9	14,6	21,1	0,20	0,39
г.Казалинск	31,9	25,8	22,3	19,1	15,5	22,8	0,22	0,59
<b>Антропогенные потери стока</b>								
Кишл.Каль	0,24	1,39	2,61	4,09	6,94	2,96	0,71	1,07
г.Бекабад	1,27	4,23	8,46	12,8	19,5	8,63	0,74	0,21
н.бьеф Чар- дар.вдхр.	2,74	5,32	7,44	9,94	14,2	7,84	0,45	0,66
п.Коктюбе	3,10	6,70	9,20	11,7	15,3	9,20	0,40	-0,11
ж.д.ст.Тюмень Арык	3,10	6,50	9,20	11,9	16,1	9,30	0,43	-0,19
пгт.Джусалы	3,20	7,15	8,83	11,7	14,1	9,20	0,37	-0,63
г.Казалинск	3,70	7,30	8,90	11,4	13,9	9,20	0,34	-0,48