

УДК 550.42:577.4(571.1)

**МНОГОЛЕТНЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ ВОДНОГО СТОКА  
Р. ЧЕРНЫЙ ИРТЫШ И УСЛОВИЙ ЕГО  
ФОРМИРОВАНИЯ (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)**

З.С. Дюсебаева

Казахский Национальный Технический Университет  
им. К.И. Сатпаева, г. Алматы  
E-mail: zuriya89@gmail.com

**Дюсебаева Зурия Сермагамбетовна**, магистрант кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Института геологии и нефтегазового дела Казахского Национального Технического Университета им. К.И. Сатпаева, г. Алматы.  
E-mail: zuriya89@gmail.com  
Область научных интересов: гидрология, управление водными ресурсами.

Выполнен статистический анализ многолетнего изменения расходов воды р. Черный Иртыш в створе с. Буран (Республика Казахстан, Восточно-Казахстанская область) и климатических условий формирования водного стока по данным гидрологических и метеорологических наблюдений за период с 1938 по 2008 гг. Выявлено уменьшение расходов воды р. Черный Иртыш в июле и августе и увеличение в марте, общее увеличение температуры атмосферного воздуха в равнинной части бассейна р. Иртыш (метеостанция г. Омск). Значимые изменения температуры воздуха горных районов не выявлены (метеостанция г. Змеиногорск).

**Ключевые слова:**

Черный Иртыш, статистический анализ, проверка на однородность и случайность, изменение стока р. Иртыш.

В последние десятилетия во многих регионах мира наблюдается напряженная водохозяйственная и экологическая ситуация вследствие нерационального использования и неудовлетворительной охраны водных ресурсов. Ее преодоление невозможно без решения целого ряда проблем, которые условно можно объединить в четыре группы: 1) научные; 2) управленческие; 3) инженерные; 4) проблемы культуры природопользования. Эти проблемы тесно взаимосвязаны и неотделимы друг от друга. Очевидно, что такие изменения должны отразиться на водном балансе речных бассейнов и условиях ведения хозяйственной деятельности. В данной работе эта проблема рассмотрена на примере р. Черный Иртыш. Выбор объекта обусловлен необходимостью детального изучения водно-экологической ситуации, потому что р. Черный Иртыш является трансграничной рекой, протекающей по территории 2 государств – Китайской Народной Республики и Республики Казахстан, и имеет большое значение для социально-экономического развития региона.

Черный Иртыш начинается на ледяных склонах Монгольского Алтая на высоте 2500 м, в западной части Китайской провинции Синцзянь, низовья Иртыша находятся в Омской и Тюменской областях России. Протяженность реки Иртыш по территории КНР – 618 км. Бассейн реки занимает обширное пространство, площадь которого составляет 354,15 тыс. км<sup>2</sup>. Рельеф местности отличается сложностью и разнообразием. Здесь наблюдаются все высотные степени рельефа от равнин до высокогорий. На юго-востоке казахстанской части бассейна простирается равнина Зайсанской впадины, в центре которой расположено оз. Зайсан. Зайсанская равнина с юга обрамлена горной системой Алтая с хребтами Листвягой, Халзуном и Тигирецким. С запада бассейн р. Иртыш ограничен хребтами Тарбагатайским и Калбинским. В северной части территории расположена Кокчетавская возвышенность, которая является северной окраиной Центрального Казахстана, называемая Казахским мелкосопочником.

Иртыш входит в пределы Казахстана судоходной рекой, со среднемесячным расходом около 300 м<sup>3</sup>/сек. Общая длина реки Иртыш – 4280 км, в том числе в пределах Казахстана 1698

км. Площадь водосборного бассейна реки на границе Казахстана с Россией составляет 544000 км<sup>2</sup>. Питание смешанное, с преобладанием снегового. Дождевое питание не превышает 15...20 %. На рис. 1 представлено местоположение р. Иртыш в пределах Республики Казахстан.



Рис. 1. Местоположение бассейна р. Иртыш (Казахстан)

Сток реки зарегулирован каскадом Иртышских водохранилищ – Бухтарминское (проектный объем 49,6 км<sup>3</sup>), Усть-Каменогорское (0,66 км<sup>3</sup>) и Шульбинское (2,39 км<sup>3</sup>).

Информационную основу выполненного исследования составляют данные: 1) метеорологические данные г. Омск и г. Змеиногорск [1]; 2) расходы, уровни реки Иртыш на сети пунктов водных объектов Производственного Кооператива «Казгипроводхоз» с 1938 по 2008 гг. по гидрологическому посту с. Буран [2].

#### Методика исследований

Методика исследований включала:

- обобщение материалов, полученных из разных источников, их визуальный анализ;
- статистический анализ многолетних изменений расходов воды;
- проверку временных рядов на однородность и случайность.

Режимные наблюдения на р. Иртыш в створе с. Буран, по которому выполнялись расчеты исследования расходов воды, ведутся с 1938–2008 гг.

Корректное использование информации при проведении гидрологических расчетов предполагает ее обязательный анализ на случайность, однородность и согласие эмпирической и теоретической кривой распределения. Спецификой гидрологических расчетов является то, что в случае наличия данных наблюдений они сводятся к применению аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения (кривых обеспеченностей). Таким образом, один из элементов статистического анализа – проверка на согласие эмпирической и теоретической кривых распределения – одновременно является и одной из важнейших задач гидрологических расчетов [3].

Статистический анализ гидрологических данных включал в себя, прежде всего, проверку нулевых гипотез о случайности и однородности рядов наблюдений. Проверка гипотезы случайности рассматриваемой величины или функции является неотъемлемым этапом статистического анализа. Сущность проверки заключается в выяснении вопроса, является ли изменение данной величины случайным или закономерным, связанным с каким-либо постоянно действующим

ющим физическим фактором. Для этого используются критерии, основанные на сравнении свойств исследуемого процесса со свойствами последовательности, в которой тренд заведомо отсутствует [4]. В работе мы применяли параметрические критерии Фишера и Стьюдента – для проверки однородности выборочных дисперсий. Однородность двух выборок, состоящих из нормально распределенных случайных величин, можно проверить с помощью критерия Фишера:

$$K(Ff) = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \sigma_1 > \sigma_2,$$

критерий Стьюдента для случайных величин, распределенных по нормальному закону:

$$(S_f) = \frac{|A_1 - A_2|}{\sqrt{N_1 \sigma_1^2 + N_2 \sigma_2^2}}$$

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате выполненного исследования при уровне значимости 5 % выявлено: 1) статистически значимое уменьшение расхода воды в июле и августе; 2) увеличение расхода воды в марте (табл. 1).

В целом за год значимых изменений не отмечено. Отмеченные изменения водного стока объясняются:

- в первом случае – предположительным увеличением испарения с водной поверхности водохранилищ, построенных и введенных в эксплуатацию в Казахстане и КНР в 1069–1970 гг. (по сравнению с водосборной территорией);
- увеличением водоотбора в летние месяцы на орошение;
- общим увеличением испарения с водосбором за счет потепления климата.

Косвенным подтверждением данных предположений служит выявленные нарушения однородности и неслучайное изменение (линейный тренд) среднемесячной температуры атмосферного воздуха на метеостанции г. Омск (табл. 2, рис. 1).

Вместе с тем следует отметить, что в горных районах бассейна р. Черный Иртыш – метеостанции г. Змеиногорск, статистически значимые изменения температуры атмосферного воздуха не установлены (табл. 3, рис. 2). Можно предположить, что климатические изменения в большей степени проявляются в равнинной части водосбора, где и наблюдаются наибольшее антропогенное воздействие на окружающую среду.

Во втором случае (увеличение расхода воды в марте) изменение водного стока предположительно связано с более ранними сроками половодья за счет роста температуры атмосферного воздуха и смещения границ гидрологических сезонов водного режима. Возможно, что некоторая часть увеличения расхода воды может быть связана с регулированием стока на выше-расположенных участках в КНР.

**Таблица 1.** Результаты проверки на однородность и случайность среднемесячных и среднегодового значения расхода воды у с. Буран, Черный Иртыш

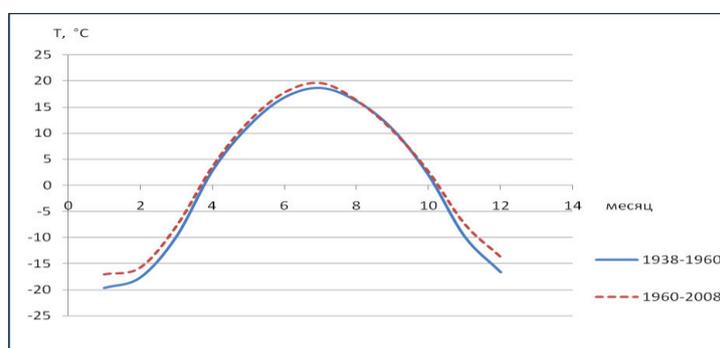
Расчетный интервал	Период	A, м <sup>3</sup> /с	σ, м <sup>3</sup> /с	Sk/Sk <sub>a</sub>	Fk/Fk <sub>a</sub>	Pk/Pk <sub>a</sub>
Январь	1938–2008	62,9	12,7	0,32	0,60	0,91
Февраль	1938–2008	59,3	12,0	0,16	0,69	0,92
Март	1938–2008	69,0	18,1	0,39	0,60	1,59
	1938–1960	64,6	16,9	–	–	-0,20
	1960–2008	71,1	18,5	–	–	2,28
Апрель	1938–2008	219,8	95,5	0,41	0,91	0,61
Май	1938–2008	651,3	217,9	0,04	0,69	0,12
Июнь	1938–2008	989,3	375,3	0,72	0,69	-0,71

Продолжение табл. 1						
Июль	1938–2008	594,0	284,2	1,17	0,64	-1,30
	1938–1960	719,5	294,6	–	–	0,69
	1960–2008	533,8	261,2	–	–	-0,83
Август	1938–2008	353,9	130,7	1,03	0,53	-1,64
	1938–1960	417,7	121,9	–	–	0,67
	1960–2008	323,3	124,7	–	–	-0,95
Сентябрь	1938–2008	224,3	96,2	0,86	0,54	-0,93
Октябрь	1938–2008	154,0	61,9	0,75	1,31	-0,54
Ноябрь	1938–2008	97,9	33,4	0,36	2,00	-0,14
Декабрь	1938–2008	67,4	17,9	0,05	0,67	0,58
Среднее за год	1938–2008	295,3	81,5	0,82	0,60	-0,83

**Таблица 2.** Результаты проверки на однородность и случайность среднемесячных значений температуры приземных слоев воздуха метеостанции г. Омск (1938–2008)

Расчетный интервал	Период	A, °C	$\sigma$ , °C	$Sk/Sk_a$	$Fk/Fk_a$	$Pk/Pk_a$
Январь	1938–2008	-17,8	4,5	1,13	0,74	1,15
	1938–1960	-19,6	3,8	–	–	0,62
	1960–2008	-17,0	4,6	–	–	0,89
Февраль	1938–2008	-16,3	3,9	0,97	0,57	1,24
	1938–1960	-17,6	4,0	–	–	-0,03
	1960–2008	-15,7	3,7	–	–	0,86
Март	1938–2008	-8,5	4,3	0,89	1,75	1,01
	1938–1960	-9,8	5,8	–	–	0,21
	1960–2008	-7,8	3,1	–	–	0,43
Апрель	1938–2008	3,3	2,8	0,56	0,52	0,32
Май	1938–2008	11,9	2,2	0,82	0,64	1,17
	1938–1960	11,3	2,0	–	–	0,35
	1960–2008	12,2	2,3	–	–	-0,02
Июнь	1938–2008	17,5	1,9	1,03	0,80	0,99
	1938–1960	16,8	1,5	–	–	0,31
	1960–2008	17,8	1,9	–	–	0,50
Июль	1938–2008	19,3	1,8	1,08	0,58	0,84
	1938–1960	18,6	1,8	–	–	0,08
	1960–2008	19,6	1,7	–	–	0,36
Август	1938–2008	16,2	1,5	0,20	0,66	0,75
Сентябрь	1938–2008	10,5	1,6	0,21	0,77	-0,10

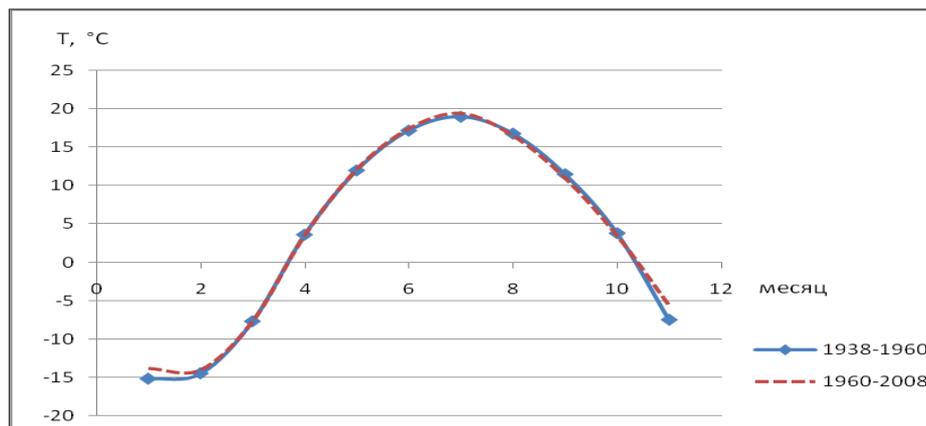
Продолжение табл. 2						
Октябрь	1938–2008	2,3	2,1	0,5	1,05	1,57
	1938–1960	1,9	1,6	–	–	-0,11
	1960–2008	2,6	2,3	–	–	0,97
Ноябрь	1938–2008	-8,2	4,0	1,11	0,60	0,95
	1938–1960	-9,8	4,0	–	–	-0,14
	1960–2008	-7,4	3,7	–	–	0,75
Декабрь	1938–2008	-14,6	4,9	1,17	1,11	1,03
	1938–1960	-16,6	3,5	–	–	0,48
	1960–2008	-13,7	5,2	–	–	0,34
Среднее за год	1938–2008	4,018	2,587	0,787	0,738	0,87



**Рис. 2.** Изменение значений температуры приземных слоев воздуха метеостанции г. Омск

**Таблица 3.** Результаты проверки на однородность и случайность среднемесячных и среднегодовых значений приземных слоев температуры г. Змеиногорск (1938–2008)

Расчетный интервал	Период	A, °C	$\sigma$ , °C	$Sk/Sk_a$	$Fk/Fk_a$	$Pk/Pk_a$
Январь	1938–2008	-14,3	3,7	0,68	0,95	0,77
Февраль	1938–2008	-14,2	4,0	0,21	0,60	0,31
Март	1938–2008	-7,7	2,9	0,01	0,52	-0,31
Апрель	1938–2008	3,5	2,4	0,06	0,74	-0,20
Май	1938–2008	12,1	1,9	0,11	0,65	-0,06
Июнь	1938–2008	17,3	1,5	0,29	0,58	0,05
Июль	1938–2008	19,3	1,5	0,51	0,88	0,36
Август	1938–2008	16,7	1,1	0,47	0,58	-0,14
Сентябрь	1938–2008	11,2	1,6	0,52	0,58	-0,39
Октябрь	1938–2008	3,6	1,7	0,32	0,76	0,15
Ноябрь	1938–2008	-6,3	4,0	0,89	0,61	0,64
Декабрь	1938–2008	-12,3	4,6	0,57	0,51	0,81
Среднее за год	1938–2008	2,408	2,575	0,386	0,663	0,165



**Рис. 3.** Изменение значений температуры приземных слоев воздуха метеостанции г. Змеиногорск

### Заключение

Установлено статистическое значимое уменьшение стока р. Черный Иртыш у с. Буран в июле ( $74,2 \text{ м}^3/\text{с}$  или 25,8 %) и августе ( $77,4 \text{ м}^3/\text{с}$  или 22,6 %). Указанные изменения водного стока объясняются изменением климатических условий его формирования, а прежде всего общим потеплением климата, определяющим увеличение испарения и смещение границ гидрологических фаз водного режима. Изменение климата является одной из важнейших международных проблем XXI в., которая выходит за рамки научной проблемы и представляет собой комплексную междисциплинарную проблему, охватывающую экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития Республики Казахстан [5].

Другим важным фактором изменения стока является антропогенное влияние за счет регулирования стока, увеличения площади водных объектов и водопотребления.

Приведенные выводы требуют дальнейшего детального уточнения с привлечением более обширной метеорологической и водохозяйственной информации, а также проведения подобных исследований по всему континенту Евразия в целом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материал из базы данных многолетних наблюдений. 2011. URL: <http://cliware.meteo.ru/gtsmonitor/climat.html> (дата обращения: 20.01.2012).
2. ПК «Казгипроводхоз», 2011. Данные о многолетнем изменении стока реки Иртыш в створе с. Буран: Казгипроводхоз инфо.
3. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 257 с.
4. Савичев О.Г. Гидрология, метеорология и климатология: гидрологические расчеты. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 21с.
5. Ежегодный бюллетень мониторинга изменения климата Казахстана 2010 год, Республиканское государственное предприятия «Казгидромет». – Астана, 2011. – 3 с.

Поступила 01.03.2012 г.