

УДК 556.18.004.14

Канд. техн. наук

С.П. Шиварева *

М.М. Азнабакиева *

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА И АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СТОК Р. ЕРТИС (ИРТЫШ) В ПРЕДЕЛАХ КАЗАХСТАНА И КИТАЯ*ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ СТОКА, БЫТОВОЙ СТОК, МЕТОДЫ ОЦЕНКИ, СОКРАЩЕНИЕ СТОКА, АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ*

Приводится метод оценки изменения стока реки Ертыс и её притоков за период инструментальных измерений в пределах Китая и Казахстана в связи с изменением климата. Уменьшение стока по р. Ертыс началось с 1996 г. На границе с Китаем в результате забора воды на его территории, сток за период 2006...2012 гг. уменьшался в среднем на 3,12 км³/год.

Река Ертыс образуется в результате слияния рек Кара Ертыс и Ку-Ертыс, истоки которых находятся в Китайской Народной Республике (КНР) на ледниках юго-западных склонов Монгольского Алтая. До впадения в оз. Зайсан река носит название Кара Ертыс. Длина реки в пределах КНР – 520 км, а площадь водосбора – 50860 км². Её водный режим характеризуется длительным весенне-летним половодьем, в основном, обусловленным таянием высокогорных снегов и ледников. В летний период на основную волну половодья накладываются дождевые паводки с резкими подъемами и спадами. В осенне-зимний период сток носит устойчивый характер и изменяется незначительно [3]. На территории Республики Казахстан (РК) сток р. Кара Ертыс измеряется на гидрологическом посту с. Боран, расположенном недалеко от границы с КНР. Почти весь сток, регистрируемый в створе этого гидрологического поста, формируется в пределах КНР. Нижняя часть бассейна р. Ертыс находится в пределах Российской Федерации (РФ). В табл. 1 приведены гидрологические посты, на которых ведутся наблюдения в зоне формирования стока как на территории РК, так и на территории КНР.

* Казгидромет, г. Алматы

Таблица 1

Список гидрологических постов в верхней части бассейна р. Ертис, расположенных на территории РК и КНР

Пункт наблюдения, река – пост	Период наблюдений, год	Источник данных
Республика Казахстан		
р. Кара Ертис – с. Боран	1938...2012	Казгидромет
р. Ертис – Усть-Каменогорск ГЭС	1903...2012	Казгидромет
Вдхр Буктырма – Буктырминская ГЭС	1961...2012	Казгидромет
р. Бас-Теректы – с. Мойылды	1961...2012	Казгидромет
р. Кальджыр – с. Черняевка	1911...2012	Казгидромет
р. Куршим – с. Вознесенка	1911...2012	Казгидромет
Китайская Народная Республика		
Irtysk – Buerjin	1953...2010	China_gov
Kuyi'ertesi – Fuyun	1956...2010	China_gov
Kayi'ertesi – Kuwei	1956...2010	China_gov
Kelan – Aletai	1958...2010	China_gov
Bu'erjin – Qunkule (II)	1957...2010	China_gov
Haba – Kelatashi (IV)	1957...2010	China_gov

Анализ исторических данных в бассейне р. Ертис на территории РК производился за весь период инструментальных наблюдений, проводимых Казгидрометом. К сожалению, опубликованные сведения, не в полной мере отражают действительные значения основных гидрологических характеристик рек. В некоторые годы, данные о стоке неполные, либо отсутствуют, либо просто не приводятся из-за низкого качества материалов наблюдений на постах или в связи с закрытием гидрологических постов в 1990 годах. Из 19 рассматриваемых гидрологических постов на р. Ертис, данные по которым использованы для определения тенденций изменения стока, лишь три не имеют пропусков в рядах наблюдений – с. Боран, Усть-Каменогорская и Буктырминская ГЭС. С помощью гидрологических расчётов удалось рассчитать сток реки в период отсутствия наблюдений. Например, был составлен 100-летний ряд наблюдений по стоку р. Кальджыр – с. Черняевка [2]. Для этого применялись различные методические разработки. В случаях, когда расходы воды на гидрологических постах измерялись только в весенне-летние месяцы, восстановление среднегодовых расходов воды производилось следующим образом. Имея сумму среднемесячных расходов воды за период половодья (с апреля/мая по сентябрь/октябрь), вычислялось его среднее значение, а затем и коэффициент корреляции со среднегодовыми значениями за те годы, когда данные имелись за весь год. После чего строился график связи, и выводилось

уравнение, по которому и производилось определение недостающих среднегодовых расходов воды.

В случаях, когда данные о стоке за отдельные годы отсутствуют полностью, либо в большую часть месяцев года, при определении бытового стока использовались реки-аналоги. Для этого выбирался одинаковый период наблюдения и вычислялся коэффициент корреляции между среднегодовыми расходами данной реки и реки-аналога, и если он был удовлетворителен, то строился график связи, и выводилось уравнение регрессии. Полученное уравнение уточнялось, и затем по нему определялся среднегодовой расход воды в бытовых условиях.

Оценка изменения исторического стока р. Ертис выполнена тремя методами:

- 1) анализ тренда исторического стока,
- 2) анализ совмещенных разностных интегральных кривых бытового и естественного стока,
- 3) сравнение величин стока различной обеспеченности за два периода: базовый и современный.

На рис. 1...3 показаны тренды изменения стока за весь период наблюдений 1903...2012 гг. на территории РК в пункте р. Ертис – г. Усть-Каменогорск и за один и тот же период 1956...2010 гг. на территории РК (р. Ертис – с. Боран) и на территории КНР Irtysh – Buerjin. Как видно на рис. 2...3, сток р. Ертис имеет тенденцию к снижению как на территории РК, так и на территории КНР. Особенно отмечается снижение стока р. Ертис по пункту г. Усть-Каменогорск (рис. 1).

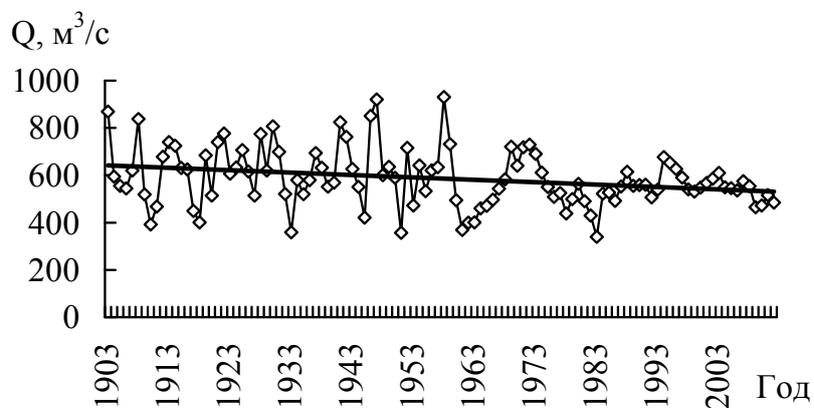


Рис. 1. Тренд изменения бытового стока р. Ертис – г. Усть-Каменогорск (РК) за 1903...2012 г.

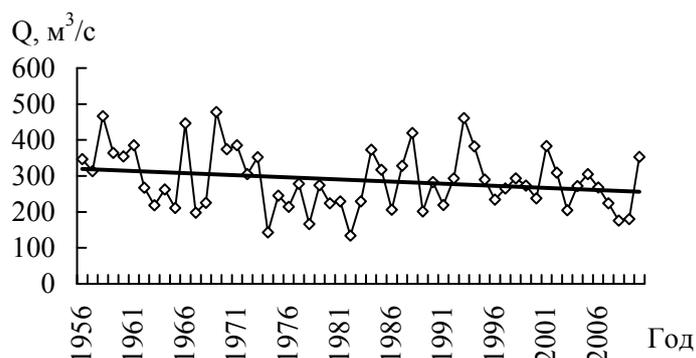


Рис. 2. Тренд изменения бытового стока р. Ертис – с. Боран (РК) за 1956...2010 гг.

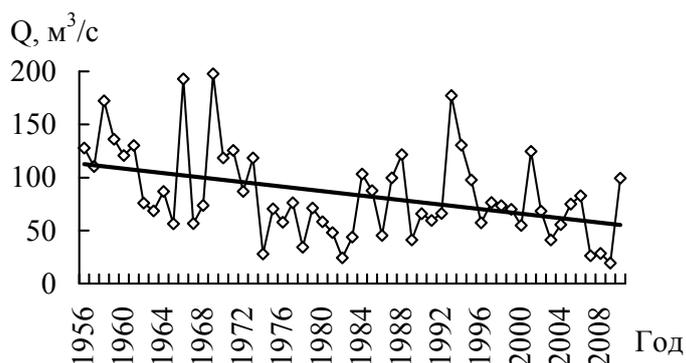


Рис. 3. График бытового стока Irtysh – Buertjin (KHP) за 1956...2010 гг.

Оценка изменения стока р. Ертис и ее основных притоков за прошедшие годы производилась с помощью интегральных кривых. Эти кривые позволяют выявить в рядах годового стока рек однородные периоды, с целью определения влияния климата и антропогенной деятельности на сток рек.

Восстановление естественного стока производится методом гидрологической аналогии, где в качестве аналогов используются реки, на которых влияние хозяйственной деятельности отсутствует или является незначительным. При отсутствии водопотребления естественный сток в рассматриваемом створе можно принять равным его бытовому значению. Следует отметить, что значительные трудности связаны с восстановлением естественного стока трансграничной р. Ертис, значительная часть бассейна которой находится в пределах КНР и используется в основном для нужд ирригации. Следует отметить, что когда речь идет об условно-естественном стоке, рассматриваются не только его естественные значения, сформировавшиеся под влиянием элементов климата (в первую очередь атмосферных

осадков и температуры воздуха), но и под влиянием исторически сложившегося уровня водопотребления в первой половине 20 века.

Методика восстановления естественного стока р. Ертис – с. Боран была основана на синхронности суммарного стока рек Кальджыр – с. Черняевка и р. Куршим – с. Вознесенка и стока р. Ертис – с. Боран.

На рис. 4 приведены совмещенные разностно-интегральные кривые стока рек Ертис – с. Боран и суммы рек Куршим – с. Вознесенка и Кальджыр – с. Черняевка за период 1938...2012 гг. Параметры этих кривых определялись за период естественного стока (1938...1995 гг.)

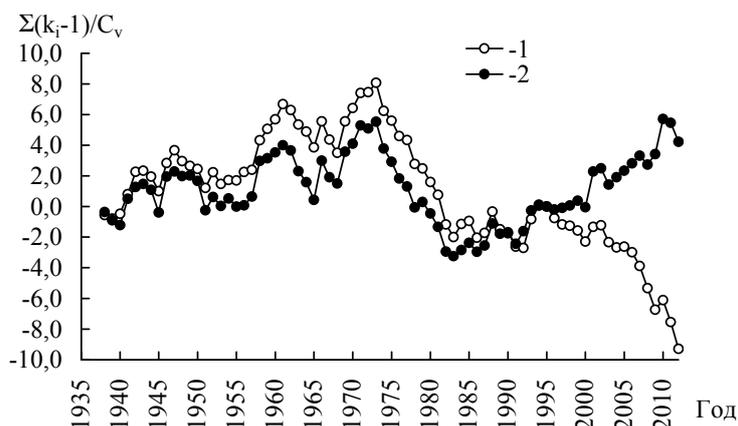


Рис. 4. Совмещенные разностные интегральные кривые стока р. Кара Ертис – с. Боран и суммарного стока рек Кальджыр – с. Черняевка и Куршим – с. Вознесенка за 1938...2012 гг. 1 – условно-естественный сток, 2 – сток при относительно устойчивом водопотреблении.

Анализ этих кривых показал, что за период 1938...1995 гг. наблюдается синхронное изменение стока рассматриваемых рек. Сток за период 1938...1995 гг. по оценкам авторов является естественным. Начиная с 1996 года, синхронность стока р. Ертис – с. Боран и суммы рек Куршим – с. Вознесенка и Кальджыр – с. Черняевка нарушается, что по мнению авторов обусловлено уменьшением стока р. Ертис – с. Боран за 1996...2012 гг. в результате влияния хозяйственной деятельности.

Значения естественного стока р. Ертис – с. Боран, начиная с 1996 г. до 2012 г., были восстановлены, используя его зависимость от суммарного стока рек Кальджыр и Куршим, режим которых за это время не нарушался.

На рис. 5 приведены совмещенные разностные интегральные кривые восстановленного (естественного) и бытового (наблюдаемого) стока р. Кара Ертис – с. Боран.

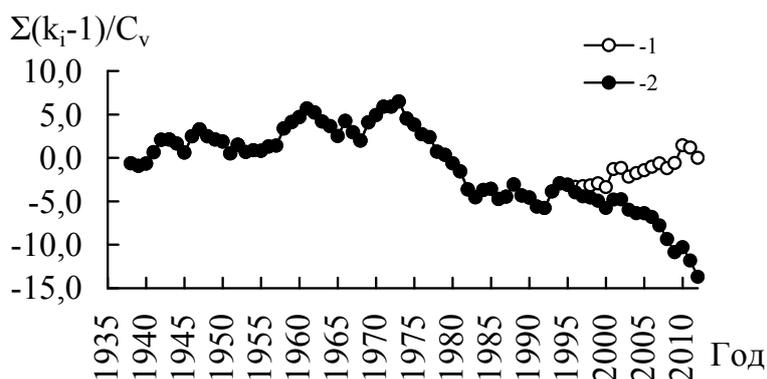


Рис. 5. Совмещенные разностные интегральные кривые восстановленного (естественного) и бытового (наблюденного стока) р. Кара Ертыш – с. Боран за 1938...2012 гг. 1 – условно-естественный сток, 2 – сток при относительно устойчивом водопотреблении.

При построении этих кривых использованы статистические характеристики стока реки в естественных условиях за 1938...2012 гг.: $Q_0 = 305 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_v = 0,27$.

Анализ этой кривой показывает, что со второй половины 90-х годов 20 века естественный сток р. Кара Ертыш – с. Боран не уменьшился, а бытовой измеренный сток – уменьшился за счет использования стока в верхней части бассейна на территории КНР. Сопоставление восстановленного естественного и наблюдаемого (бытового) стока показывает, что, начиная с 1996 года естественный сток р. Кара Ертыш – с. Боран превышает его наблюдаемые значения. За 1996...2005 гг. суммарное уменьшение бытового стока составило – $11,2 \text{ км}^3$ или в среднем $1,12 \text{ км}^3/\text{год}$. За 2006...2012 гг. суммарное уменьшение составило $21,8 \text{ км}^3$ или в среднем $3,12 \text{ км}^3/\text{год}$. Таким образом, бытовой сток р. Ертыш на границе с КНР, начиная с 2006 г. по 2012 г., в связи с изменением климата мог бы увеличиться на 30 % , если бы не водозабор на территории КНР [1].

Результаты восстановления естественного стока р. Кара Ертыш – с. Боран представлены на рис. 6. На рис. 6 видно, что естественный сток, отражающий воздействие климата в бассейне р. Ертыш – с Боран, за весь исторический период не имеет тенденции к увеличению, т.е. отмеченное изменение климата в конце прошлого века и начале 21 века ещё не отразилось на естественном стоке р. Ертыш.

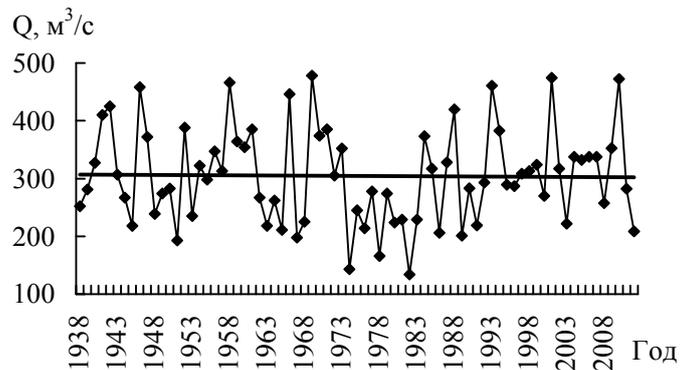


Рис. 6. Тренд естественного стока р. Кара Ерчис в пункте с. Боран с 1938...2012 гг.

Величина естественного стока р. Ерчис у г. Усть-Каменогорска, начиная с 1959 г. до настоящего времени, была восстановлена, используя его зависимость от суммарного стока р. Ерчис – с. Боран, р. Кальджыр – с. Черняевка, р. Кушим – с. Вознесенка и р. Буктырма – с. Лесная Пристань за период 1921...1958 гг. На рис. 7 показаны совмещенные разностно-интегральные кривые бытового и естественного стока р. Ерчис – г. Усть-Каменогорск.

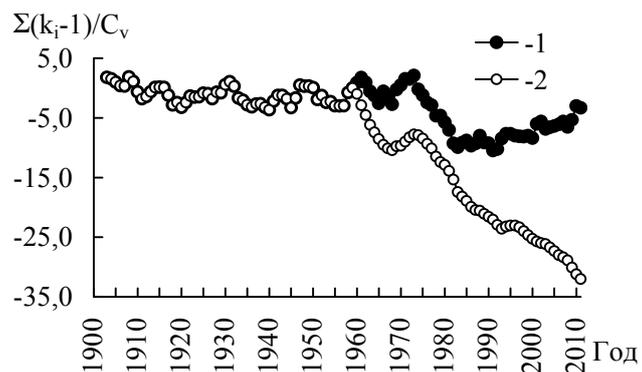


Рис. 7. Совмещенные разностно-интегральные кривые бытового и естественного стока р. Ерчис – г. Усть-Каменогорск с 1903...2012 гг. 1 – условно-естественный сток, 2 – сток при относительно устойчивом водопотреблении.

Как видно на рис. 7 и как было сказано выше, бытовой сток р. Ерчис – г. Усть-Каменогорск имеет тенденцию к снижению. Снижение бытового и естественного стока от 1960 г. до 1983 г. было вызвано созданием в 1959...1960 гг. вышерасположенных Буктырминского и Усть-Каменогорского водохранилищ. Начиная с 1983 г. по 2010 г., как видно на

рис. 7, естественный сток, отражающий влияние климата, не уменьшился, а бытовой сток значительно сократился. Отмеченное сокращение бытового стока, в то время как естественный климатический сток стабилизировался, объясняется тем, что забор воды на территории КНР отразился и на нижерасположенном от границы пункте – г. Усть-Каменогорск. Если бы не было водозабора на территории КНР, то бытовой сток р. Ертис – г. Усть-Каменогорск не имел бы тенденции к снижению.

Воздействие забора воды на территории КНР отразилось и на других нижерасположенных гидрологических постах: р. Ертис – с. Шульба, р. Ертис – с. Семиярка. Величина естественного стока р. Ертис у с. Шульба, начиная с 1959 г. до настоящего времени, была восстановлена, используя его зависимость от суммарного стока р. Ертис – г. Усть-Каменогорск, р. Ульби – с. Ульба Перевалочная и р. Оба – с. Шемонаиха за период 1921...1958 гг. На рис. 8 показаны совмещенные разностно-интегральные кривые бытового и естественного стока р. Ертис у с. Шульба.

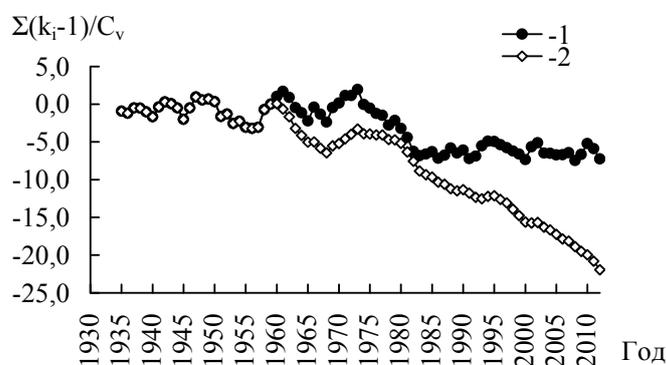


Рис. 8. Совмещенные разностно-интегральные кривые бытового и естественного стока р. Ертис – с. Шульба с 1935...2012 гг. 1 – условно-естественный сток, 2 – сток при относительно устойчивом водопотреблении.

Снижение естественного и бытового стока р. Ертис у с. Шульба, также как и у г. Усть-Каменогорска вызвано созданием Буктырминского и Усть-Каменогорского водохранилищ. Однако, начиная с 1990 г., естественный климатический сток стабилизировался, а бытовой снижается из-за воздействия забора воды на территории КНР.

Естественный сток р. Ертис у с. Семиярка восстанавливался по зависимости его величины от стока р. Ертис у г. Усть-Каменогорска за период 1935...1958 гг. На рис. 9 показаны совмещенные разностно-интегральные кривые бытового и естественного стока р. Ертис у с. Семиярка. Как естест-

венный, так и бытовой сток р. Ертис в самом нижнем створе у с. Семярка, начиная с середины 70-х годов, начал уменьшаться. Только в конце 90-х годов естественный климатический сток стабилизировался, а бытовой сток также как и в вышерасположенных гидрологических пунктах снижается за счёт забора воды на территории КНР.

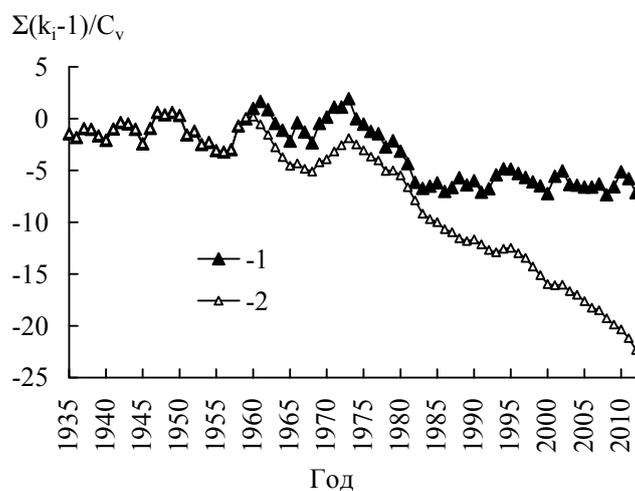


Рис. 9. Совмещенные разностно-интегральные кривые бытового и естественного стока р. Ертис – с. Семярка за 1935...2012 гг. 1 – условно-естественный сток, 2 – сток при относительно устойчивом водопотреблении.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что бытовой (измеренный) сток р. Ертис, начиная от границы КНР до границы с Российской Федерацией, в конце 90-х и начале 2000 годов имеет тенденцию к снижению. На границе КНР сток с 2006...2012 гг. уменьшался в результате забора воды на территории КНР в среднем на $3,12 \text{ км}^3/\text{год}$. Такое сокращение стока отразилось и на нижерасположенных гидрологических постах.

Восстановленный естественный сток р. Ертис отражает воздействие климата на его формирование. Анализируя хронологический ряд естественного стока р. Ертис за весь период наблюдений, можно утверждать, что изменение климата конца 20 начала 21 в. ещё не оказало существенного влияния на сток на границе с КНР.

На рис. 10...11 приведены разностные интегральные кривые стока рек, бассейна р. Ертис, расположенных на территории КНР. В качестве нормы стока был принят период 1961...1990 гг., соответствующий выбранному базовому периоду метеорологических и гидрологических наблюдений.

Как показывают наблюдаемые данные стока реки Ву'ержин в створе Qunkule, начиная с 1992 г. сток этой реки стал заметно увеличиваться, по сравнению с базовым периодом. По-видимому, это увеличение связано с климатическими изменениями и увеличением количества осадков.

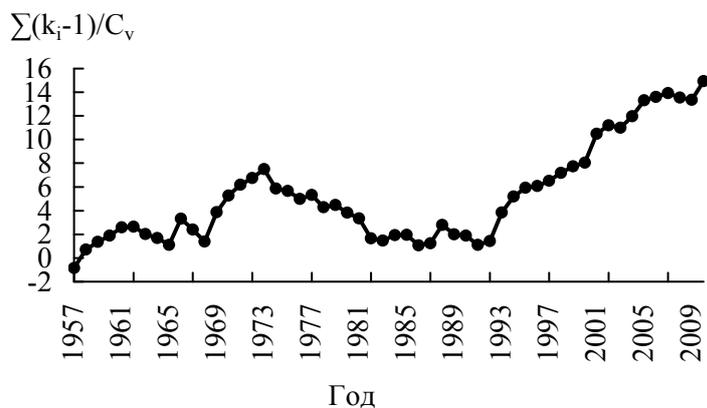


Рис. 10. Разностно-интегральная кривая стока р. Ву'ержин – Qunkule за 1957...2010 гг.

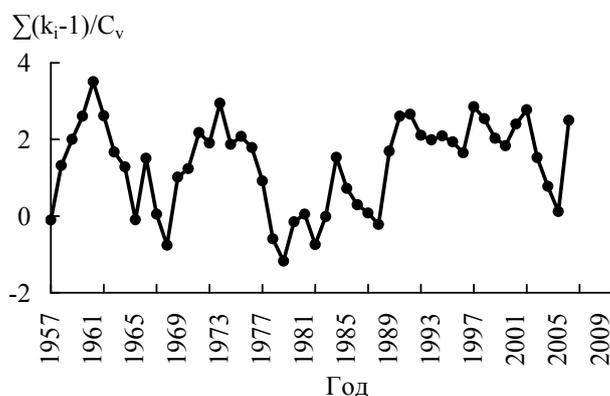


Рис. 11. Разностно-интегральная кривая стока р. Ку'й'ертези – Fuyun за 1957...2010 гг.

Проанализировав разностно-интегральную кривую расходов воды реки Ку'й'ертези в створе Fuyun, можно сделать вывод, что сток данной реки изменяется в пределах нормы за 1961...1990 гг.

На рис. 12 отчетливо прослеживается синхронность изменения количества атмосферных осадков и стока реки Kelan. Начиная с 1993 г. наблюдается существенное повышение стока за счет увеличения количества атмосферных осадков.

Совсем иная картина наблюдается на реке Irtysh – Вуержин (рис. 13).

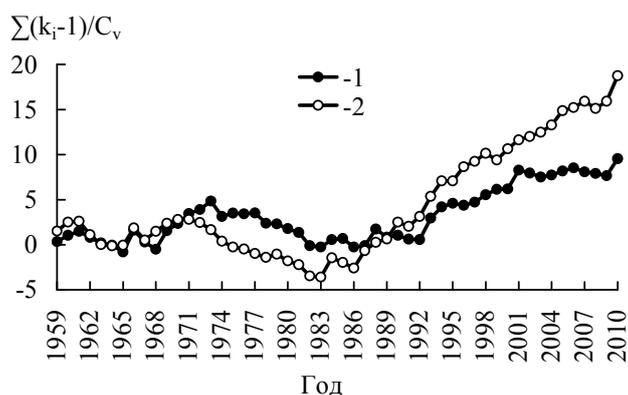


Рис. 12. Совмещенные разностно-интегральные кривые стока воды (1) р. Kelan – Aletai и осадков (2) с 1959...2010 гг.

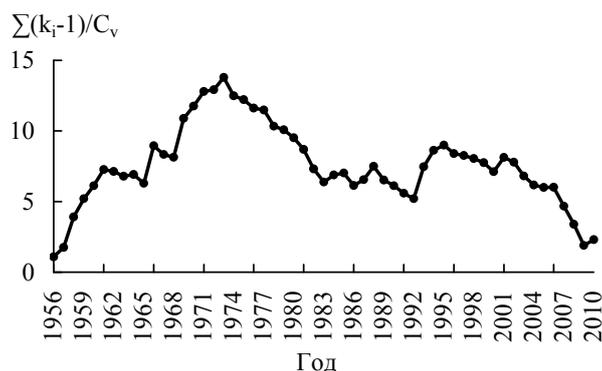


Рис. 13. Разностно-интегральная кривая стока р. Irtysh – Buerjin с 1956...2010 гг.

В отличие от других рек рассматриваемого бассейна (расположенных на территории КНР), на реке Irtysh – Buerjin, начиная с 1996 г., наблюдается значительное сокращение стока, по сравнению с базовым периодом. Учитывая то, что на остальных реках этого бассейна наблюдается либо повышение стока за этот период, либо его колебания в пределах нормы, можно сделать вывод, что уменьшение стока на реке Irtysh – Buerjin вызвано увеличением водопотребления.

Как было показано выше, уменьшение стока р. Ертыс на территории КНР и на территории РК началось с 1996 г. В табл. 2 показано изменение стока р. Ертыс на территории РК за период 1996...201 г. по сравнению с предшествующим периодом. Сток р. Ертыс за последние годы уменьшился на границе КНР на 15,6 % в результате водопотребления на территории КНР, а сток притоков Куршим и Кальджир, где нет хозяйственной деятельности, увеличился.

Таблица 2

Исторический бытовой сток р. Ертис и ее основных притоков

Река – пост	Норма стока, м ³ /с/ период, год	Годовой сток до 1995 г., м ³ /с/период, год	Годовой сток за 1996...2012 гг., м ³ /с	Изменение стока, %
Ертис – с. Боран	289 1938...2012	300 1938...1995	253	-15,6
Ертис – ГЭС Усть-Каменогорская	587 1903...2012	594 1903...1995	547	-7,88
Ертис – с. Семиарка	897 1935...2012	917 1935...1995	827	-9,76
Ертис – г. Павлодар	864 1935...2011	874 1935...1995	809	-7,51
Буктырма – с. Печи	107 1940...2012	109 1940...1995	99,8	-8,26
Оба – г. Шемонаиха	170 1954...2012	182 1954...1995	140	-23,2
Ульби – с. Ульби Перевалочная	95,9 1930...2012	98,7 1930...1995	85,4	-13,5
Куршим – с. Вознесенка	58,9 1911...2012	58,2 1911...1995	62,6	7,73
Кальджыр – с. Черняевка	22,9 1911...2012	22,4 1911...1995	25,0	11,6

В табл. 3 сделано сопоставление стока различной обеспеченности в пунктах р. Ертис – с. Боран (РК) и р. Irtysk – Buerjin (КНР) за базовый (1956...1995 гг.) и современный (1996...2010 гг.) периоды. Как видно сток р. Ертис на границе уменьшился в многоводные годы (5%) на 19,7%, на территории КНР это уменьшение составило 33,9%, также уменьшился сток 50% обеспеченности. Вероятно, это вызвано значительным водозабором на территории КНР.

Таблица 3

Изменение бытового стока (м³/с) различной обеспеченности р. Ертис – с. Боран (РК) и р. Irtysk – Buerjin (КНР) за базовый и современный периоды

Страна	Обеспеченность, %								
	5			50			95		
	1956...1995 гг.	1996...2010 гг.	изменение, %	1956...1995 гг.	1996...2010 гг.	изменение, %	1956...1995 гг.	1996...2010 гг.	изменение, %
РК	462	371	-19,7	286	258	-9,8	163	181	11,0
КНР	174	115	-33,9	84,6	59,4	-29,8	32,9	25,8	-21,6

Уменьшение стока по р. Ертис на территории КНР и на территории РК началось с 1996 г. На границе с КНР сток за период 2006...2012 гг. уменьшался в результате забора воды на территории КНР в среднем на 3,12 км³/год. Такое сокращение стока отразилось и на нижерасположенных гидрологических постах. Наибольшее снижение стока р. Ертис отмечается у с. Семиярка. Здесь на изменение стока оказывают влияние Буктырминское и Усть-Каменогорское водохранилища.

Сток рек бассейна Ертиса, расположенных на территории Китая, с начала 90-х годов 20 века начал существенно повышаться за счет изменения климата и увеличения количества атмосферных осадков. Увеличение стока или его колебания около нормы прослеживается практически на всех исследуемых реках, за исключением реки Irtysh в створе Вuerjin. На этой реке наблюдается значительное сокращение стока, начиная с 1996 г. Это, по-видимому, связано с увеличением забора воды из данной реки на хозяйственные и промышленные нужды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубцов В. В., Азнабакиева М.М. О сокращении стока р. Черный Иртыш – с. Буран в связи с водопотреблением в КНР // Гидрометеорология и экология. – 2012. – №2. – С. 88-93.
2. Голубцов В.В., Ли В.И. Оценка стока р. Кальджир на посту у с. Черняевка по стоку у с. Алтай // Гидрометеорология и экология. – 2012. – № 3. – С. 165-167.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР / Том 13 Центральный и Южный Казахстан. – Вып. 2. Бассейн озера Балхаш. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 644 с.

Поступила 21.01.2014

Техн. ғылымд. канд. С.П. Шиварева
М.М. Азнабакиева

ҚР ЖӘНЕ ҚХР ТЕРРИТОРИЯСЫНЫҢ ШЕГІНДЕГІ ЕРТІС ӨЗЕНІНІҢ АҒЫСЫНА АНТОРОПОГЕНДІ ҚЫЗМЕТТІҢ ЖӘНЕ КЛИМАТТЫҢ ӘСЕР ЕТУІН АНЫҚТАУ

Климаттың өзеруіне байланысты ҚР және ҚХР территориясының шегіндегі аспаптық өлшеулер кезіндегі Ертіс өзенінің ағысының және оның тарауларының өзреуін бағлау әдісі келтірілген. ҚХР территориясында және ҚР территориясында Ертіс өзенінің ағысының азаюы 1996 ж. басталған. ҚХР шекарада 2006 жылдан 2012 жж. кезінде ҚХР территориясында суды алу нәтижесінде орташа 3,12 км³/жыл азайған.