

УДК 556.004.65

Канд. техн. наук Р.Г. Абдрахимов\*  
А.А. Джаксыкельдинов\*

**СТОК В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ЕРТИС (ИРТЫШ)***РАСХОД ВОДЫ, СТОК, ВОДОХРАНИЛИЩА, ПЕРЕБРОСКА СТОКА*

*Приведены результаты расчетов характеристик годового, минимального и максимального стока в верховьях реки Ертыс (Иртыш) с учетом регулирующей роли Усть-Каменогорского и Буктырминского водохранилищ и водозаборов на территории Китая.*

Оценка и анализ многолетних колебаний стока верхнего участка р. Ертыс, и особенно влияние на него хозяйственной деятельности, в настоящее время приобретает огромную роль. Экономическое и социальное развитие важнейшего региона, а также экологическое состояние всего бассейна Ертыса определяются водным режимом реки.

Как известно, в бассейне реки в пределах Казахстана сооружен ряд водохранилищ. Наиболее значимые из них, Буктырминское и Усть-Каменогорское, эксплуатируются с 1960-х годов и регулируют естественный режим верхнего Ертыса. За последние десятилетия с интенсивным экономическим развитием западных районов Китая возникла еще одна угроза нарушения естественного режима реки за счет переброски части ее стока каналом Ертыс – Карамай. При этом, каких-либо официальных количественных характеристик и плановых величин забора воды из Кара-Ертыса (Черного Иртыша) данным водотоком практически нет. Известно лишь, что годовой объем стока в первый год эксплуатации канала составил порядка  $1,0 \text{ км}^3$ , а в ближайшей перспективе будет доведен до  $4,0 \dots 5,0 \text{ км}^3$ . С начала водозаборов (август 2000 г.) и переброски части стока из реки на территории Китая уже прошло более 10 лет и, поэтому, значения характеристик рядов стока могут позволить в первом приближении оценить происходящие изменения естественного режима Кара Ертыса с помощью методов математической статистики.

Анализируя ряды годового, минимального среднего месячного и максимального стока р. Кара Ертыс у пункта с. Боран, продолжительность которых составляет 73 года (с 1938 г.), можно отметить следующее. Инте-

---

\* КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы

гральные кривые данных характеристик стока реки отражают естественные колебания ее водности и полностью согласуются с ходом разностно-интегральной кривой, на которой более ярко выражены циклы водности реки, связанные с климатическими изменениями увлажненности региона в целом. В качестве аналога естественных колебаний водного режима р. Кара Ертис может служить сток верховьев р. Буктырмы у с. Лесная пристань, одного из полноводных притоков Ертиса, берущего начало на хребтах западных склонов Алтая. Значение коэффициента корреляции средних годовых расходов воды данных рек в рассматриваемых пунктах составляет 0,83.

Однако, на р. Кара Ертис начиная с 2000 г., отчетливо прослеживается снижение годового стока, которое, несомненно, связано с водозабором воды в канал Ертис – Карамай. При этом количественные показатели уменьшения годового стока реки, полученные по разности фактического ее стока и расчетно-естественного стока, восстановленного с помощью величин средних годовых расходов воды, наблюдавшихся на р. Буктырме, имеют следующие значения. Средняя многолетняя величина годового стока за 11-й летний период (с 2000 г. по 2010 г.), понизилась на  $66 \text{ м}^3/\text{с}$ , с  $330 \text{ м}^3/\text{с}$  расчетно-естественного стока до  $264 \text{ м}^3/\text{с}$  фактического ее значения, т.е. в среднем на  $2,0 \text{ км}^3$  в год. При норме стока реки  $298 \text{ м}^3/\text{с}$ , рассчитанной за более чем 60-летний период (с 1938 г. по 2000 г.), или  $9,5 \text{ км}^3$  в год, величина потерь составляет 20 %. При этом, если потери годового стока в среднем за первые 5 лет эксплуатации канала составили по расчетам  $40,0 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $1,3 \text{ км}^3$  в год), то в следующие 5 лет они возросли до  $80,0 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $2,5 \text{ км}^3$  в год).

Конечно, ошибки определения расчетных величин естественного стока отражаются на приведенных результатах, но в целом общая тенденция интенсификации хозяйственной деятельности на территории КНР, очевидно, негативно сказывается на стоке р. Кара Ертис.

Водозаборы, осуществляемые в канал в течение года, исходя из анализа колебаний средних месячных расходов воды у с. Боран за естественный период и период с начала переброски части ее стока, приходится на летне-осенние месяцы (с июня по октябрь включительно) (рис. 1). При этом половодье здесь начинается в апреле, максимум водности реки приходится на июнь, а в последующем водность постепенно уменьшается вплоть до февраля. Минимальный средний месячный сток на реке в основном приходится на февраль. Поэтому влияние канала переброски воды на характеристиках минимального среднего месячного стока реки не от-

ражается. Норма минимального среднего месячного зимнего стока равна  $57,0 \text{ м}^3/\text{с}$ . За период эксплуатации канала значение данной характеристики достигло  $62,0 \text{ м}^3/\text{с}$ , что с учетом короткого расчетного периода позволяет считать, что минимальный средний месячный сток реки не претерпел значимых изменений.

Для оценки влияния изъятой в канал воды на характеристику максимального стока в створе реки у с. Боран, были восстановлены расчетно-естественные значения максимальных расходов воды по графику связи данных величин, наблюдавшихся на р. Буктырме у с. Печи. Коэффициент связи составил 0,71.

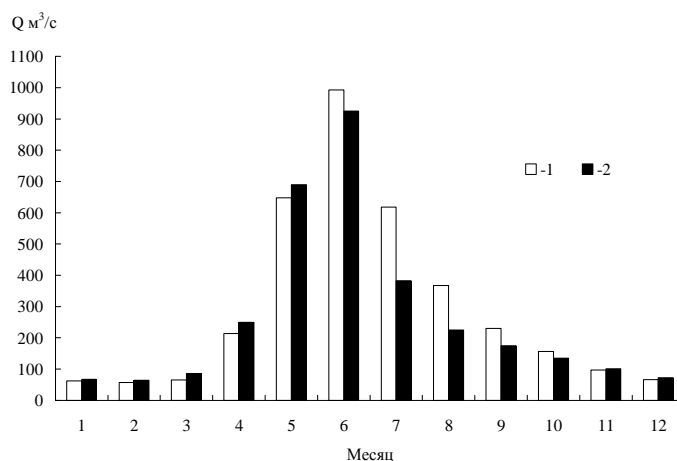


Рис. 1. График колебаний средних многолетних месячных расходов воды р. Кара Ертыс – с. Боран за периоды естественного стока (1) и эксплуатации канала Ертыс – Карамай (2).

Норма максимального стока р. Кара Ертыс уменьшилась на  $73,0 \text{ м}^3/\text{с}$  с  $1432 \text{ м}^3/\text{с}$  за период с естественным режимом реки до  $1359 \text{ м}^3/\text{с}$  за время эксплуатации канала, а снижение максимальных расходов воды в среднем достигло  $94 \text{ м}^3/\text{с}$ . Максимальные расходы воды на Кара Ертысе отмечаются в конце мая и в начале июня, когда, видимо, водозабор из реки или отсутствует или его величина еще незначительна. Поэтому и не видно явного влияния водозаборов на характеристики максимальных расходов воды, при этом объем максимального стока претерпевает значительные изменения (табл. 1).

Так, осредненные за многолетие величины среднего месячного стока июня при естественном водном режиме с начала водозаборов понизились на 30 %; в июле сток уменьшился на 40 %, снижение месячного стока в августе составило также порядка 40 %, в сентябре – 30 %, в октябре – 14 %.

Таблица 1

Средние многолетние месячные расходы воды (м<sup>3</sup>/с) р. Кара Ертис – с. Боран за периоды естественного стока и эксплуатации канала Ертис – Карамай

Период	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1938...1999	62,2	57,7	65,6	214	648	993	618	368	230	156	97,4	66,4
2000...2010	67,6	64,7	85,9	249	689	925	383	225	175	135	101	72,6
Δ						68,1	235	143	55,1	21,3		

Более значительным изменениям подвержен естественный режим стока реки ниже по течению за плотинами Буктырминской и Усть-Каменогорской ГЭС. Регулирующая роль водохранилищ, а также дополнительные потери воды, существенно сказываются на водном режиме Ертиса, меняя характеристики внутригодового, годового, минимального и максимального стока.

Изменения внутригодового стока реки прослеживаются по графику средних многолетних месячных расходов воды за разные периоды водного режима (рис. 2).

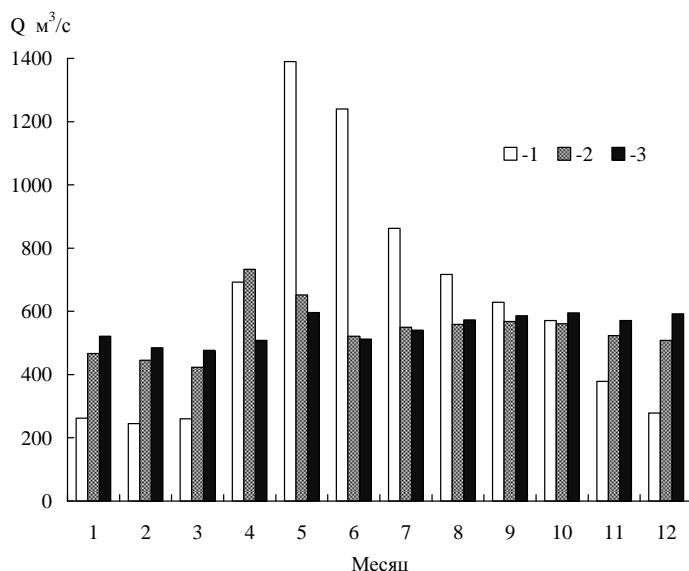


Рис. 2. График колебаний средних многолетних месячных расходов воды р. Ертис – ГЭС Усть-Каменогорская за периоды естественного (1), зарегулированного (2) стока и эксплуатации канала Ертис – Карамай (3).

Начиная с создания Буктырминской ГЭС (60-е годы), величины годового стока реки заметно снизились. Норма стока за периоды с естественным режимом и в условиях зарегулированности реки уменьшилась с 64

627 м<sup>3</sup>/с до 543 м<sup>3</sup>/с, на 84,0 м<sup>3</sup>/с, или на 13 %. При этом относительно незначительная изменчивость естественного стока реки ( $C_v = 0,21$ ), обусловленная регулирующей ролью оз. Жайсан стала характеризоваться еще более малыми значениями коэффициента вариации –  $C_v = 0,17$ .

Расчетные характеристики годового стока верхнего Ертиса приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистические параметры и значения средних годовых расходов воды различной обеспеченности для р. Кара Ертис – с. Боран и р. Ертис – ГЭС Усть-Каменогорская

Период	$Q_0$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v$	Расход воды различной обеспеченности, м <sup>3</sup> /с					
			5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	95 %
р. Кара Ертис – с. Боран								
1938...1999 гг.	298	0,28	450	403	350	290	237	176
2000...2010 гг.	264	0,26	400	370	320	251	200	136
р. Ертис – ГЭС Усть-Каменогорская								
1903...1959 гг.	627	0,21	860	807	710	610	515	400
1960...1999 гг.	543	0,17	702	675	601	548	470	370
2000...2010 гг.	546		628	603	575	550	500	451

Для приближенной оценки изменения величин средних годовых расходов в створе реки ГЭС Усть-Каменогорская с 1960 года получены расчетно-естественные их значения. Ряд восстановлен с помощью величин годового стока у с. Боран, с поправкой их за период 2000...2010 гг, т.е с учетом влияния переброски стока каналом Карамай.

Коэффициент корреляции годового стока в рассматриваемых пунктах равен 0,89, что позволяет считать реконструируемый ряд достаточно достоверным. Анализ двух рядов стока позволяет проследить изменения величин расходов воды и оценить потери, происходящие после создания каскада водохранилищ. В целом перераспределение годового стока реки в многолетнем режиме согласуется со схемой работы водохранилищ. Так, в годы с повышенной водностью осуществляется заполнение водохранилищ, а в маловодные годы сработка воды позволяет, наоборот, увеличить годовой сток реки ниже плотины ГЭС. Например, для Ертиса в основном пополнение водохранилища осуществляется при средних годовых расходах воды более 650...700 м<sup>3</sup>/с. В годы со средним годовым расходом воды более 800 м<sup>3</sup>/с, сток в нижнем бьефе снижается до 200...400 м<sup>3</sup>/с. Исключением являются первые годы ввода в эксплуатацию водохранилища,

при его заполнении до проектных мощностей. В среднем за первые 5 лет (1960...1964 гг.) ежегодно, в среднем сток реки сокращался на  $180 \text{ м}^3/\text{с}$ . Повышенными потерями отмечены и последние десять лет. С 2000 года средние потери годового стока составили в среднем  $76 \text{ м}^3/\text{с}$ , а с 2005 года –  $150 \text{ м}^3/\text{с}$ . Возможно, это связано с заборами воды из реки в КНР. Однако, как уже отмечалось, этот период отличается повышенной водностью и более активным пополнением водохранилища.

В среднем же дополнительные потери за счет водохранилищ составили порядка  $58 \text{ м}^3/\text{с}$  годового стока. Исходя из приведенной нормы стока –  $627 \text{ м}^3/\text{с}$ , это составляет 9 %. Более очевидно проявляется влияние водохранилища на минимальный и максимальный сток. В данном случае, расчет и анализ статистических характеристик рядов минимальных средних месячных зимних расходов воды в створе р. Ертис – ГЭС Усть-Каменогорская позволяет сделать следующие выводы:

Минимальный сток реки с вводом в эксплуатацию каскада водохранилищ увеличился в среднем на  $178 \text{ м}^3/\text{с}$  в год. Норма данной характеристики увеличилась на 70 %, с  $239 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $410 \text{ м}^3/\text{с}$ , т.е. на  $171 \text{ м}^3/\text{с}$ . Оценка качественных и количественных изменений минимального стока реки с помощью суммарных интегральных кривых и восстановленных естественных расчетных значений позволила проследить динамику данных изменений. Реконструкция ряда минимальных средних месячных величин за период с 1960 года выполнена по связи данной характеристики с ее аналогичными величинами, наблюдавшимися в створе у с. Боран. Коэффициент корреляции равен 0,77. Увеличение минимального стока в среднем за весь расчетный период с 1960 по 2010 гг, составило  $178 \text{ м}^3/\text{с}$  за год. При этом первые два года характеризуются уменьшением минимального стока, что связано с заполнением водохранилища. В последующем происходит рост минимального стока до значений порядка  $200...300 \text{ м}^3/\text{с}$ . Увеличение менее чем на  $50...100 \text{ м}^3/\text{с}$  отмечено в 1964, 65, 78, 82, 85, 86, 92 гг. Начиная с 1993 года значения минимального стока постоянно увеличивались более чем на  $150...300 \text{ м}^3/\text{с}$ . Данные изменения естественного режима в первую очередь определяются работой ГЭС с учетом водности года в целом.

Максимальные значения стока реки в пункте ГЭС Усть-Каменогорская, начиная с 1960 года, неизменно уменьшаются. Норма характеристики снизилась с  $2450 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $1620 \text{ м}^3/\text{с}$  к настоящему времени, т.е. на  $830 \text{ м}^3/\text{с}$ . Те же показатели, уменьшения максимальных расходов воды в среднем на  $827 \text{ м}^3/\text{с}$  получены по расчетам разницы между факти-

ческим максимальным расходом воды и восстановленными их значениями с помощью связи данных величин, наблюдавшихся в пункте с. Боран, с коэффициентом корреляции равным 0,71. Наиболее значительные уменьшения максимальных расходов по данным расчетов пришлось на: 1963 г – 1610 м<sup>3</sup>/с; 1993 г. – 1980 м<sup>3</sup>/с; 2005 г. – 1540 м<sup>3</sup>/с; 2010 г. – 1960 м<sup>3</sup>/с.

Таким образом, происходящие изменения естественного водного режима в верхнем течении Ертиса приводят к увеличению потерь стока реки. Каскад водохранилищ, созданных в Казахстане в 60-х годах, и начатая в 2000-х годах переброска части стока реки на территории КНР влекут за собой серьезное сокращение водных ресурсов региона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин Р. И. Современные и ожидаемые водные ресурсы Черного Иртыша // Вестн. КазНУ. Сер. геогр. – 2001 № 1 (12) С. 54-65.
2. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики. Том 15. Выпуск 2.
3. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Выпуск 1. Бассейн реки Ертис.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15. Вып. 2. Алтай и Западная Сибирь. – Л.: Гидрометиздат, 1972. – 316 с.

Поступила 25.12.2013

Техн. ғылымд. канд. Р.Г. Абдрахимов  
А.А. Джаксыкельдинов

#### ЕРТІС ӨЗЕНІНІҢ ЖОҒАРЫ АҒЫНЫ

*Қытай Халық Республикасы аумақтарында орналасқан су жиынтығы, және Өскемен мен Бұқтырма бөгендерінің реттеу ролдерін есенке ала отырып Ертис өзенінің жоғары ағынының жылдық, минималдық және максималдық есеп нәтижелері көрсетілген.*