

МЕТЕОРОЛОГИЯ
и ГИДРОЛОГИЯ



УДК 556.16«45»: 627.81

Влияние прудов и водохранилищ на характеристики годового стока рек зоны недостаточного увлажнения

Кандидат техн. наук Е. Д. Гопченко, Н. С. Лобода

Авторами обоснован способ моделирования рядов годового стока с учетом его зарегулированности прудами и малыми водохранилищами.

Показано, что с ростом общей площади водного зеркала искусственных водоемов происходит снижение среднего многолетнего слоя стока, увеличение коэффициентов вариации и асимметрии. Степень влияния прудов и водохранилищ на годовой сток при прочих равных условиях во многом определяется географическим положением водосбора.

Возрастающая потребность в пресной воде в условиях большой неравномерности внутригодового распределения стока рек районов недостаточного увлажнения вызвала необходимость строительства значительного количества прудов и водохранилищ не только на крупных, но и на малых водотоках. Рациональное использование и охрана природных богатств требуют правильной оценки влияния и прогноза изменения водных ресурсов в результате антропогенной деятельности. Сложность и многообразие взаимодействия различных факторов хозяйственной деятельности обуславливают целесообразность дифференцированного подхода к анализу влияния отдельных мероприятий на сток рек. Более того, направленный характер антропогенных воздействий может существенно изменить не только величину стока, но и основные параметры его статистического распределения.

Количественная оценка преобразования стока крупными водохранилищами широко освещена в гидрологической литературе [4, 14]. Применительно к малым и средним водотокам засушливых областей влияние искусственных водоемов на годовой сток исследовано недостаточно. Уже в настоящее время на юге Украины и Молдавии создано большое количество прудов, способных вследствие достаточно большой общей площади их водного зеркала существенно сократить годовой сток за счет увеличения суммарного испарения с поверхности бассейна, особенно в маловодные годы.

Расчет дополнительных потерь на испарение с водной поверхности искусственных водоемов за многолетний период $\Delta \bar{Y}$ выполняется обычно по разности между испарением с водной поверхности $\bar{Z}_в$ и суши Z_c , т. е.

$$\Delta \bar{Y} = \bar{Z}_в - \bar{Z}_c \quad (1)$$

Применительно к произвольным интервалам времени изменение стока в расчетном створе

$$\Delta Y = Z_в - Z_c \pm \Delta U, \quad (2)$$

где ΔU — изменение влагозапасов в зоне аэрации.

Авторами для оценки ΔY использовано балансовое соотношение

$$Y'F = Y(F - \Sigma F_в) + (X - Z_в) \Sigma F_в, \quad (3)$$

где Y' — слой годового стока с бассейна после строительства искусственных водоемов,

Y — слой стока в естественных условиях;

F — площадь водосбора,

$\Sigma F_{\text{в}}$ — суммарная площадь затопления поверхности;
 X — осадки на водное зеркало;
 $Z_{\text{в}}$ — величина испарения с водной поверхности.
 Слой дополнительных потерь согласно (3)

$$\Delta Y = Yf + (Z_{\text{в}} - X)f, \quad (4)$$

где $f = \frac{\Sigma F_{\text{в}}}{F}$ — доля площади прудов и водохранилищ от общей площади водосбора. Испарение с водной поверхности $Z_{\text{в}}$ рассчитывалось по методике, разработанной М. С. Каганером [7]. Ввиду того, что ΔY вычислялось не для отдельного водоема, а для нескольких, расположенных в разных частях водосбора, метеорологические элементы усреднялись по территории [6]. Наибольшую трудность при использовании соотношения (3), а следовательно, и (4) представляет расчет естественного слоя стока Y , так как большинство временных рядов стока нарушено хозяйственной деятельностью. Степень нарушения однородности стоковых данных оценить практически невозможно из-за изменяющегося от года к году уровня освоения территории. Неприменим и метод гидрологической аналогии, поскольку на юге Украины и Молдавии водосборов, не подверженных антропогенному влиянию, почти не осталось.

Восстановление стока по уравнению водохозяйственного баланса ограничено короткими рядами наблюдений на малых реках Причерноморской степи и недостаточно надежными сведениями об использованном стоке. В связи с этим естественный годовой сток вычислялся по методу гидролого-климатических расчетов (ГКР) [8, 9], расчетные параметры которого установлены авторами.

По ряду водосборов юга Украины и Молдавии, где имелись необходимые материалы для восстановления стока, было выполнено сравнение норм годового стока, полученных по двум указанным методам. Расхождения этих величин находятся в пределах точности расчета нормы годового стока ($\pm 10\%$), что позволило рекомендовать метод ГКР для расчета стока в естественных природных условиях.

Определение суммарной площади затопления $\Sigma F_{\text{в}}$ выполнено с использованием постулатов инвариантности в морфологии водоемов засушливой зоны ЕСС [10, 11]. Рассматривая пруды и водохранилища Причерноморской низменности как генетически однородную группу водоемов, авторы определяли основные морфометрические характеристики водоемов не для одного, а для нескольких водоемов, расположенных в пределах водосбора.

В основе расчета лежит эмпирическая зависимость, разработанная в институте Укрюжгидроводхоз,

$$H = \varphi(H_{\text{нпу}}, Z_{\text{в}} - X), \quad (5)$$

где H — расчетная глубина воды у плотины в водоеме за безледоставный период,

$H_{\text{нпу}}$ — глубина воды в водоеме при нормальном подпорном уровне (НПУ), остальные обозначения прежние.

Зная суммарный объем искусственных водоемов $\Sigma W_{\text{нпу}}$ в бассейне реки и суммарную площадь водной поверхности $\Sigma F_{\text{нпу}}$ при нормальном подпорном уровне, можно определить среднюю глубину данных водоемов при нормальном подпорном уровне

$$H_{\text{ср. нпу}} = \frac{\Sigma W_{\text{нпу}}}{\Sigma F_{\text{нпу}}}. \quad (6)$$

Глубина у плотины $H_{\text{нпу}}$ вычислялась по соотношению

$$H_{\text{нпу}} = \frac{H_{\text{ср. нпу}}}{a}, \quad (7)$$

где a принималось равным 0,435 в соответствии с рекомендациями [10]. Суммарная площадь водного зеркала прудов и водохранилищ за безледоставный период может быть выражена через $\Sigma F_{\text{пгу}}$:

$$\Sigma F_{\text{в}} = \rho \Sigma F_{\text{пгу}}, \quad (8)$$

где ρ — коэффициент объемов и площадей водной поверхности,

$$\rho = \frac{H^{1/a-1}}{H_{\text{пгу}}^{1/a-1}}. \quad (9)$$

Для учета снижения годового стока под влиянием прудов и водохранилищ удобно пользоваться коэффициентом k ,

$$k = \frac{Y'}{Y} = 1 - f \left(1 + \frac{Z_{\text{в}} - X}{Y} \right). \quad (10)$$

Влияние разности $Z_{\text{в}} - X$ на изменение стока здесь характеризуется коэффициентом

$$a = 1 + \frac{Z_{\text{в}} - X}{Y}, \quad (11)$$

который является функцией водности года и может рассматриваться как случайная величина, определяемая колебанием климата.

Значения a по предложенной выше схеме были вычислены для водосборов в пределах Причерноморской низменности и представлены на рис. 1 в зависимости от Y . Слой годового стока Y во всех случаях определялся по методу ГКР.

Входящий в выражение (10) параметр f отражает уровень развития хозяйственной деятельности, имеющей направленный (неслучайный) характер. В маловодные годы, как видно из (11), a существенно воз-

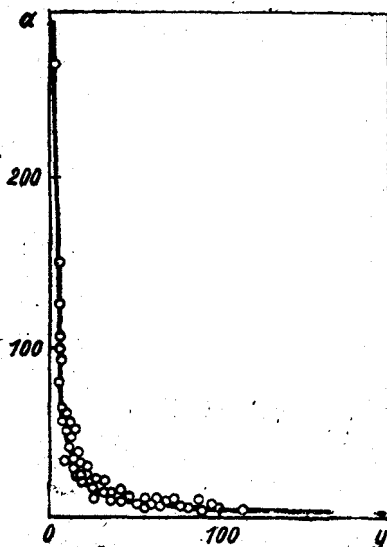


Рис. 1. Зависимость коэффициента a от слоя годового стока Y .

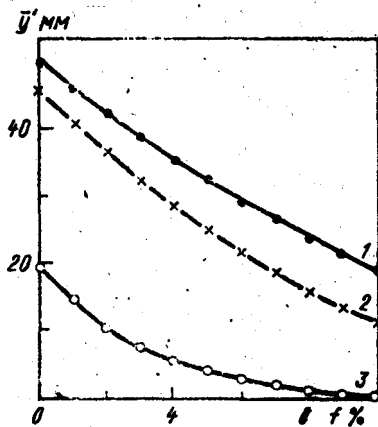


Рис. 2. Зависимость среднегогодового слоя стока Y' от относительной площади прудов и водохранилищ f .

1 — р. Ингул, г. Кировоград; 2 — р. Ингул, г. Новогорожено; 3 — р. Громекля, х. Михайловка.

растает вследствие уменьшения осадков X и увеличения испарения с водной поверхности $Z_{\text{в}}$. Таким образом, даже при неизменной площади затопления коэффициент k не остается постоянным, а колеблется в ши-

роких пределах, определяясь водностью года. Зависимость $\alpha = \psi(Y)$, по существу, позволяет разрешить основную проблему при оценке влияния прудов и водохранилищ на сток рек, т. е. отделить факторы хозяйственной деятельности от климатических.

Уравнение (10) и полученная зависимость $\alpha = \psi(Y)$ могут быть использованы при оценке нарушений стока в различные по водности годы. По слою стока заданной обеспеченности P определяется соответствующий ему параметр α , а формула (10) позволит рассчитать коэффициент уменьшения стока k . Такой подход имеет значительные преимущества перед стандартным приемом, предполагающим совпадение маловодных лет с засушливым летним периодом в эти же годы [1, 2], когда

$$\Delta Y_P = Y_P + Z_{\text{в. } 100-P} - X_P. \quad (12)$$

Опираясь на данные о естественном стоке рек и уравнение (10), по нескольким пунктам описываемой территории выполнено моделирование временных рядов при различных уровнях водохозяйственного строительства за период 1931—1971 гг., включающий в себя один полный цикл водности. Относительная зарегулированность принималась от 0 до 10% от общей площади водосбора. При каждом значении f методом моментов рассчитывались средние многолетние величины \bar{Y} , коэффициенты вариации C_V и асимметрии C_S . Зависимость $\bar{Y} = \varphi(f)$ показана на рис. 2, из которой видно, что средние многолетние значения слоя стока убывают с увеличением относительной площади прудов и водохранилищ. Для оценки степени расхождений средних при различных f проводилось исследование однородности моделируемых рядов по отношению к исходному ряду естественного стока с помощью критериев Стьюдента и Вилькоксона при 5%-ном уровне значимости. Установлено, что нарушение однородности зависит не только от величины зарегулирования стока, но и географического положения водосборов. В частности, в бассейне р. Ингул (закрывающий створ — г. Кировоград) неоднородность стока под влиянием искусственной зарегулированности обнаруживается только при $f = 4\%$, тогда как в расположенном значительно южнее бассейне р. Громокляя (закрывающий створ — х. Михайловка) расхождения средних становятся значимыми уже при f порядка 1%.

Наличие в пределах водосборов искусственных или естественных водоемов, как известно, в общем случае способствует сглаживанию многолетних колебаний годового стока, а следовательно, и уменьшению коэффициента вариации. Вместе с тем в работе [13] отмечено, что в засушливых районах под влиянием прудов и других бессточных понижений рельефа изменчивость годового стока не только не уменьшается, но даже и увеличивается.

Полученная нами зависимость коэффициента вариации C_V от относительной площади прудов и водохранилищ (рис. 3а) полностью подтверждает сказанное. Вследствие связи дополнительных потерь на испарение с водностью года неравномерность стока в многолетнем разрезе усиливается тем больше, чем засушливее климат. С увеличением увлажненности территории при прочих равных условиях влияние искусственных водоемов на C_V постепенно уменьшается.

Функционально с f связан также коэффициент асимметрии C_S , но его зависимость от зарегулированности имеет более сложный характер, чем \bar{Y} и C_V (рис. 3б). Вначале с ростом относительной площади затопления параметр C_S убывает, а затем начиная с некоторого $f_{\text{кр}}$ он возрастает, причем довольно интенсивно. Величина кри-

тической площади зарегулирования $f_{кр}$ определяется географическим положением водосбора и его размерами. Изменение характера зависимости $C_s = \varphi(f)$ происходит в результате того, что в маловодные годы при достижении $f_{кр}$ дополнительное испарение с поверхности прудов и водохранилищ превышает величину годового стока, а во временных рядах появляются нулевые значения.

Моделирование рядов нарушенного стока позволило выявить основные закономерности в изменении параметров годового стока (нормы, C_v и C_s) с ростом зарегулированности, выраженной величиной относительной площади затопления. Используя такого рода зависимости, можно по уровню водохозяйственного освоения территории f установить статистические характеристики стока в условиях нарушенного режима.

Из сопоставления естественного и нарушенного стоков следует, что на современном этапе в результате потерь на дополнительное испарение с водной поверхности уменьшение нормы годового стока для некоторых малых рек Причерноморской низменности составляет в

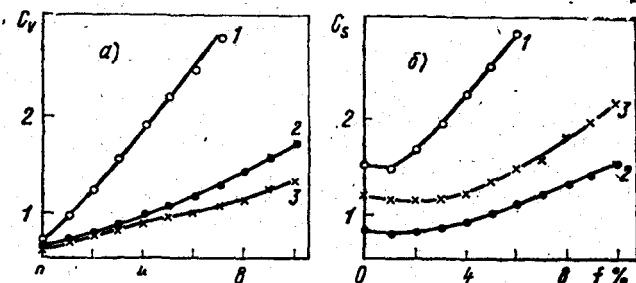


Рис. 3. Зависимость коэффициента изменчивости годового стока C_v (а) и коэффициента асимметрии C_s (б) от относительной площади прудов и водохранилищ. 1 — р. Громокляя, х. Михайловка; 2 — р. Ингул, г. Новогорожено; 3 — р. Ингул, г. Кировоград.

среднем 5—6% от естественного стока и не является значимым. Снижение стока происходит в основном за счет маловодных лет, в то время как в многоводные годы эти нарушения незначительны. Вместе с тем одновременное изменение всех параметров статистического распределения приводит к тому, что годовой сток большой обеспеченности ($P > 50\%$) уменьшается относительно естественных условий на 20—70% и более (таблица).

Статистические параметры и расчетные характеристики годового стока различной обеспеченности (р. Ингул — г. Новогорожено, $F = 6670 \text{ км}^2$)

f %	\bar{y} мм	C_v	C_s	Слой стока (мм) обеспеченностью P%					
				1	5	25	50	75	95
0,0	45,6	0,68	0,84	150	112	64	37	20	11
0,5	43,3	0,71	0,83	144	108	60	35	17	7
2,0	36,4	0,83	0,82	130	98	54	30	16	0
3,0	32,2	0,91	0,86	123	90	49	26	10	0
5,0	24,8	1,08	1,00	110	79	43	20	0	0

Таким образом, существенное влияние прудов и водохранилищ на расчетные характеристики рядов годового стока обнаруживается прежде всего в маловодные годы. Снижение величины годового стока усиливается по мере увеличения засушливости климата. С ростом пло-

щадёй затопления определенным образом меняются не только средние многолетние значения стока, но также коэффициенты вариации и асимметрии. Характер этих изменений зависит как от уровня хозяйственного освоения территории, так и от географического положения водосбора.

Поэтому при проектировании объектов водохозяйственного назначения в районах недостаточного увлажнения использование статистических параметров рядов естественного стока даже при условии сохранения однородности средних не является правомерным. Неучет этого обстоятельства может привести к завышению показателей водных ресурсов, особенно в области больших обеспеченностей.

Литература

1. Борсук О. Н. Искусственная зарегулированность стока малых рек европейской части СССР. — Труды ГГИ, 1957, вып. 62.
2. Вишневский П. Ф. Влияние хозяйственной деятельности в бассейне Западного Буга на изменение поверхностного стока. — Труды УкрНИГМИ, 1972, вып. 116.
3. Воскресенский К. П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. — Л., Гидрометеониздат, 1962.
4. Доброумов В. М., Устюжанин В. С. Преобразование водных ресурсов и режима рек центра ЕТС. — Л., Гидрометеониздат, 1980.
5. Ичеткин В. А. Влияние прудов и водохранилищ на сток левобережных притоков Днестра от Верещицы до Калюса. — Труды УкрНИГМИ, 1972, вып. 116.
6. Коган Р. Л. Осреднение метеорологических полей. — Л., Гидрометеониздат, 1979.
7. Каганер М. С., Дюкель И. Г. Испарение с водной поверхности на территории Украины и Молдавии. — Труды УкрНИГМИ, 1966, вып. 64.
8. Мезенцев В. С. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края. — М., Колос, 1974.
9. Мезенцев В. С., Карнацевич И. В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. — Л., Гидрометеониздат, 1969.
10. Молдованов А. И. Постулаты инвариантности в морфологии водоемов и их практическое применение. — В сб.: Метеорология, климатология и гидрология, 1965, вып. 1.
11. Молдованов А. И. Занление прудов и водохранилищ в степных районах. — Л., Гидрометеониздат, 1978.
12. Онуфриенко Л. Г. Норма и изменчивость годового стока рек юга Украины и Молдавии. — Труды УкрНИГМИ, 1966, вып. 64.
13. Соколовский Д. Л. Речной сток. — Л., Гидрометеониздат, 1968.
14. Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек. — Л., Гидрометеониздат, 1979.

Одесский гидрометеорологический институт

Поступила
8 VI 1983

THE INFLUENCE OF PONDS AND RESERVOIRS UPON CHARACTERISTICS OF THE ANNUAL STREAMFLOW IN THE ZONE OF INADEQUATE MOISTENING

E. D. Gopchenko, N. S. Loboda

The authors suggested a method for modelling annual runoff series taking into account the regulation of the above runoff by ponds and small reservoirs.

It is demonstrated, when the total area of the water surface of man-made water bodies increases, a decrease of the mean multi-year runoff layer and an increase of the variation and asymmetry coefficients take place. The degree of influence of ponds and reservoirs on the annual runoff, under other equal conditions, is to a great extent being determined by the geographical position of the watershed.