

УДК 631.61

Н.Т. Юрченко, В.Е. Валув, А.А. Волчек, О.П. Мешик

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОГЛАСОВАНИЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ АРИДНОЙ ЗОНЫ И ЕСТЕСТВЕННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДОИСТОЧНИКОВ

Введение. Климат, с количеством осадков, недостаточным для земледелия, назван «аридным» специальным консультативным комитетом ЮНЕСКО при ООН (1952). При этом количественные оценки климата осуществляются индексом влажности и индексом аридности: $Jh = 100 S / n$ и $Ja = 100 d / n$, где S — избыток влаги; d — дефицит влаги и n — необходимое для культурных растений количество влаги.

Согласование антропогенного водного режима почв нами рассматривается в экологическом контексте при использовании вод рек, озер, водохранилищ, поверхностного местного, дренажного стока, сточных вод. Учет структурных особенностей водохозяйственного баланса в целом, динамики водопотребления сельскохозяйственных культур в частности, позволяет выявить существующие в природе и неиспользуемые в ирригации резервы природных вод. Например, считалось, что засушливые периоды на орошаемых массивах точно накладываются во времени на периоды низкой водности рек-водоисточников. Однако маловодья рек и засухи на сельскохозяйственных землях — явления, отличающиеся своей природой формирования. Водность реки в створе водозабора формируется под влиянием региональных погодно-климатических, гидрологических, гидрогеологических условий и гидрографических особенностей водосбора с сопредельными территориями. Засушливость локального орошаемого участка обуславливается, прежде всего, его гидрометеорологическим режимом.

Основные результаты исследования. Исследованы связи колебаний речного стока в расчетных створах с дефицитами водного баланса корнеобитаемого слоя почв аридной зоны (для репрезентативного поливного структурного гектара и расчетного водосбора за период с 1950 по 2010 гг.). В результате выявлено, что коэффициенты корреляции между этими величинами незначительны. Для участков земель, как элементов реального водосбора в зоне обслуживающей метеостанции и требующих мелиоративных воздействий, определены значения обеспеченностей величин стока и дефицитов водного баланса расчетного почвенного слоя (Di) за три периода: год, теплый период, критический месяц. Установлено что в аридной зоне Западной Сибири, за исключением некоторых лет, обеспеченность величин Di оказывается меньше обеспеченности величин стока в засушливые годы.

Почвенные влагозапасы (w_i) в долях от наименьшей влагоемкости ($w_{нв}$), обозначаемые как (V_0), отличает мень-

шая обеспеченность, как и величин стока. При повышении уровня оптимальности почвенных влагозапасов ($V_0 = w_i / w_{нв}$) до 0,9; 1,0 эта тенденция сохраняется. Во влажные годы обеспеченность величин Di оказывается больше обеспеченности величин стока. За расчетный период по календарным рядам величины стока в замыкающем створе и суммарные дефициты для мелиорируемой территории, выраженные, соответственно, в относительных значениях (K_{CT} и K_{Di}), представлены в виде хронологических кривых обеспеченности ($K_{CT} + K_{Di}$)_{xp} и синхронных равнообеспеченных (po) кривых ($K_{CT} + K_{Di}$)_{po} (рис. 1). По соотношению ординат кривых обеспеченности хронологических (K_{CT} и K_{Di})_{xp} и равнообеспеченных ($K_{CT} + K_{Di}$)_{po} сумм модульных коэффициентов находится значение коэффициента асинхронности (K_{ac}) при любой обеспеченности:

$$K_{ac} = (K_{CT} + K_{Di})_{xp} / (K_{CT} + K_{Di})_{po}$$

В связи с тем, что обеспеченность Di в засушливые годы существенно меньше обеспеченности речного стока, полученные коэффициенты асинхронности позволяют повысить эффективность использования на региональном уровне водных ресурсов при орошении. Во влажные годы обеспеченность модуля дренажного стока выше обеспеченности речного стока. В эти годы возможно улучшение гидрологического режима рек за счет сброса в них воды из проводящей осушительной сети.

Для различных водпостов и интервалов времени наблюдаются значительные колебания анализируемых коэффициентов асинхронности. Объясняется это не только различиями в физико-географических, гидрогеологических и почвенных условиях на водосборах, но и ограниченностью рядов исходных данных. В связи с этим нами исследована возможность объединения рядов коэффициентов асинхронности с использованием непараметрического рангового критерия Вилконсона. Оценка однородности проведена при 5-процентном уровне значимости; объединение рядов коэффициентов асинхронности в один вариационный ряд вполне допустимо. Совместное рассмотрение материалов наблюдений значительно увеличило объем информации. Статистическая однородность объединенных рядов гарантирует хорошую сходимость пространственной и временной кривых распределения.

Обобщенные значения коэффициентов асинхронности режимов орошения и речного стока для бассейнов р. Тобол и р. Ишим приведены в таблице 1.

Юрченко Николай Тимофеевич, директор Омского филиала открытого акционерного общества «Сибирский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации».

Россия, 660062, г. Красноярск, проспект Свободный, 68.

Валуев Владимир Егорович, к.т.н., доцент, профессор кафедры природообустройства Брестского государственного технического университета.

Мешик Олег Павлович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой природообустройства Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Эффект асинхронности хорошо просматривается при изменении уровня оптимальности увлажнения деятельного слоя почвы (V_0) и обеспеченности дефицитов водного баланса (водопотребления сельскохозяйственных культур) — P , %.

Наряду с кривыми обеспеченности хронологических ($K_{CT} + K_{Di}$)_{хр} и равнообеспеченных ($K_{CT} + K_{Di}$)_{р.о.} сумм

модульных коэффициентов стока и дефицитов водного баланса, на рисунке 1 приведена кривая $K_{ac} = f(P)$, при $V_0 = 1,0$, для р. Тара-створ Муромцево ($A = 16400 \text{ км}^2$). Кроме того, в целом за вегетацию значения K_{ac} при $V_0 = 0,8$ и $V_0 = 0,9$, для различных обеспеченностей Di приведены в таблице 2.

Таблица 1. Обобщенные коэффициенты асинхронности режимов орошения и речного стока

Обеспеченность режима орошения (P, %)	Расчетный интервал времени		
	август	теплый период (IV-X)	год
Бассейн реки Тобол			
5	0,71	0,79	0,79
10	0,74	0,82	0,81
25	0,86	0,91	0,90
50	1,15	1,12	1,10
75	1,76	1,43	1,41
90	2,58	1,73	1,70
95	3,06	1,86	1,83
Бассейн реки Ишим			
5	0,74	0,77	0,77
10	0,77	0,79	0,80
25	0,89	0,89	0,90
50	1,17	1,11	1,12
75	0,73	1,65	1,50
90	2,42	1,85	1,88
95	2,80	2,01	2,05

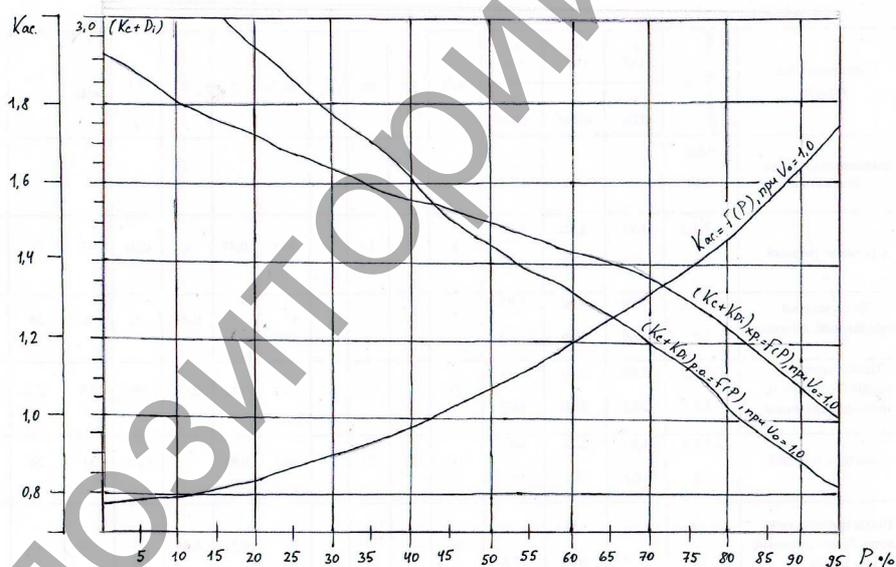


Рисунок 1. Кривые обеспеченности хронологических ($K_c + K_{Di}$)_{хр} и равнообеспеченных ($K_c + K_{Di}$)_{р.о.} сумм модульных коэффициентов (стока; Di) и K_{ac} для р. Тара-створ Муромцево

Таблица 2. Коэффициенты асинхронности режимов орошения и речного стока (K_{ac}) для р. Тара-створ Муромцево (за вегетационный период)

Обеспеченность режима орошения (P, %)	Значения K_{ac} при V_0		
	0,8	0,9	1,0
5	0,71	0,70	0,79
10	0,72	0,82	0,76
25	0,85	0,79	0,84
50	1,16	1,11	1,09
75	1,93	1,58	1,41
90	5,55	2,16	1,72
95	2,50	1,72	1,46

Таблица 3. Значения параметров A_{ac} и B_{ac} в зависимости (2) для левобережья Иртыша

Бассейн реки	Интервал осреднения	Параметры уравнения (2)	
		A_{ac}	B_{ac}
Левобережные притоки Иртыша	теплый период	1,32	0,0085

Таблица 4. Значения параметров A_{ac} и B_{ac} в зависимости (2) для правобережья Иртыша

Бассейн реки	Интервал осреднения	Параметры уравнения (2)					
		A_{ac} при V_0			B_{ac} при V_0		
Правобережные притоки Иртыша	теплый период	0,8	0,9	1,0	0,8	0,9	1,0
		0,014	0,011	0,008	1,61	1,36	1,38

Общий для исследуемой территории вид аналитической зависимости коэффициентов асинхронности режимов орошения и стока при расчетной обеспеченности элементов режима орошения (P , %) следующий:

$$K_{ac} = (B_{ac} - A_{ac} P)^{-1}, \quad (2)$$

где A_{ac} и B_{ac} — эмпирические коэффициенты, зависящие в целом от географического положения объекта гидромелиораций, интервала осреднения, обеспеченности режима орошения и уровня оптимальной влажности почв.

Так, обобщенные значения параметров уравнения (2) для бассейнов левобережных притоков Иртыша приведены в таблице 3.

Значения параметров A_{ac} и B_{ac} (уравнение 2) для правобережных притоков Иртыша, с учетом V_0 , приведены в таблице 4.

Частные корреляционные зависимости типа (2) отличаются высокой степенью тесноты связей входящих в них факторов ($r = 0,93..0,98$).

При пространственно-временном обобщении коэффициентов асинхронности (K_{ac}) исследовалось также влияние на их величину размера площади водосбора в замыкающем створе. Выявлено, что их значения описываются параболическими кривыми и возрастают при малых и больших площадях водосборов. Для средних размеров водосборов экстремум находится на площади порядка 30-60 тыс. км².

Знание асинхронности режимов стока по замыкающему створу и орошения, подвешенных к нему площадей позволяет уменьшить водопотребление на цели дополнительного увлажнения мелиорируемых территорий и орошения сельскохозяйственных культур на 20...40%, что оказывает позитивное влияние на гидрологический режим водотоков и равносильно выявлению скрытых резервов воды.

С учетом асинхронности (K_{ac}), расход (Q_{op}) и объем (W_{op}) воды, который может быть выделен в расчетном створе на цели орошения составят:

$$Q_{op} = K_{ac} Q_p - Q_s - Q_{min}, \quad (3)$$

$$W_{op} = (K_{ac} Q_p - Q_s - Q_{min}) T, \quad (4)$$

где Q_p — средний расход воды за критический период обеспеченностью P , м³/с; K_{ac} — коэффициент асинхронности в колебаниях речного стока и режима орошения обеспеченностью P %; Q_s — средний за критический период расход воды для целей водоснабжения, м³/с; Q_{min} — минимально допустимый расход воды в водоемостнике, оставляемый в целях охраны природы (экологический сток), м³/с; T — продолжительность полива в критический период, сут.

Оросительная способность водоемостника — $F_{нт}$ (га) при известном расходе воды, выделяемом из него на цели орошения (Q_{op}), определяется как:

$$F_{нт} = Q_{op} \cdot \zeta_{суст.} / g_{max}, \quad (5)$$

а при известном объеме воды, предусмотренном в водоемостнике для орошения (W_{op}), как

$$F_{нт} = W_{op} / M_{ср.взв.нт.} \cdot \zeta_{суст.}, \quad (6)$$

где $\zeta_{суст.}$ — коэффициент полезного действия оросительной системы; g_{max} — расчетная ордината укомплектованного графика гидромодуля проектируемого севооборота, л/с га; $M_{ср.взв.нт.}$ — средневзвешенная оросительная норма для проектируемого севооборота (м³/га), определяемая по формуле:

$$M_{ср.взв.нт.} = M_1 \alpha_1 + M_2 \alpha_2 + \dots + M_n \alpha_n, \quad (7)$$

в которой M_1, \dots, M_n — оросительные нормы расчетной обеспеченности для соответствующих сельскохозяйственных культур, включенных в проектный севооборот, м³/га; $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ — доля (процент) площади, занимаемой данной культурой в севообороте ($F_{нт}$).

В свою очередь, орошаемая площадь брутто — $F_{бр}$ (га) связана с площадью нетто-соотношением

$$F_{бр} = F_{нт} / K_{з.к.}, \quad (8)$$

в котором $K_{з.к.}$ — коэффициент земельного использования для данной оросительной системы.

Если речной сток зарегулирован, расчеты выполняются с учетом работы водохранилища, оцениваются также излишки водных ресурсов, которые являются резервом для дополнительного использования, в частности, в целях добавочного регулирования стока, magazинирования некоторого запаса воды в пойменных подземных емкостях. В периоды с недостатком речных вод привлекаются подземные воды. Последние, конечно, имеют преимущественное значение для обеспечения водой коммунально-бытовых нужд населения, но могут также, в случае их достаточности, использоваться для целей орошения. Именно анализ возможностей совместного использования поверхностных и подземных вод на цели орошения позволяет установить соответствующий объем подземных вод, идущих в естественных условиях на покрытие дефицита речного стока. Однако, в силу генетического единства природных вод суши, при эксплуатации запасов подземных вод возможно сокращение речного стока, которое должно учитываться в водохозяйственных расчетах. Необходимо учитывать суммарное влияние отборов подземных вод для орошения на речной сток, произведенных в текущем и предшествующих годах. По полученным величинам производится уточнение возможного отбора речных вод ($W_{Iреч.}$) в связи с изменением их ресурсов,

$$W_{Iреч.} = W_{реч.} - W_{n.} - \Delta W_{реч.}, \quad (9)$$

где $W_{\text{реч}}$ — среднеинтервальный объем речного стока; $W_{\text{п}}^{\text{г}}$ — потребности в воде других водопользователей, включая экологический попуск; $\Delta W_{\text{реч}}$ — величина сокращения речного стока, вызванного отбором подземных вод.

Далее расчеты продолжатся до тех пор, пока разница в отборах расчетной обеспеченности в двух соседних итерациях не станет меньше заданной величины. В результате находятся оптимальные параметры и режимы отборов воды из поверхностных и подземных источников на цели потребления.

Таким образом, изложенный подход дает возможность скорректировать параметры рационального режима орошения сельскохозяйственных культур в границах отдельно взятой гидромелиоративной системы. При этом комплексно учитываются гидролого-климатические, почвенно-мелиоративные, водохозяйственные факторы, присущие относительно ограниченному по масштабам региону.

Заключение. При расчете в аридной зоне водохозяйственных балансов больших регионов, включающих в себя значительное количество мелиоративных систем, отличающихся неустойчивостью режимов увлажнения почв, водообеспечения, водозабора, водооборота, сброса и использования возвратных вод, решается задача согласования режимов их водопотребления с оросительной способностью и водоисточников по замыкающему створу. Необходимо также учитывать пространственно-временные колебания потребностей и ресурсов воды не только в границах отдельных мелиоративных систем (дискретно для репрезентативной точки), но и, в целом, в границах водосборной площади, к которой они приурочены (для непрерывных статистических полей водопотребления и ресурсов влаги). Здесь рассматривается совокупность значений водопотребления всех мелиоративных объектов и водных ресурсов элементов водосбора, к которым они приурочены. Эффект пространственно-временной асинхронности полей собственно водопотребления и водных ресурсов, а также в системе «водопотребление-сток» количественно оценивается по методу Сомова. При этом однозначно определяется коэффициент асинхронности в любых зонах кривой обеспеченности в отдельности и для всей совокупности значений водопотребления или водных ресурсов, а также при рассмотрении их в балансе.

Количественным показателем степени асинхронности полей стока и потребления на цели орошения является отношение:

$$K'_{ac}(P) = (W_{\text{реч}}^{\text{г}} / \bar{W}^{\text{г}} + W_{\text{реч}}^0 / \bar{W}^0) / (W_{\text{реч}}^{\text{г}} / \bar{W}^{\text{г}} K'_{ac}(P) + W_{\text{реч}}^0 / \bar{W}^0 K^0_{ac}(P)), \quad (10)$$

где $K'_{ac}(P)$ — коэффициент асинхронности характеристик, рассматриваемых во взаимосвязи и зависимости;

$\bar{W} = W_{\text{п}}^{\text{г}} - W_{\text{экл}}^{\text{г}}$ — полезный объем стока; $\bar{W}^{\text{г}}$ — норма полезного объема стока; $W_{\text{п}}^{\text{г}}$ — измеренный русловой сток; $W_{\text{экл}}^{\text{г}}$ — остаточный экологический сток; W^0 — объем воды, необходимый на цели орошения; $K'_{ac}(P)$ — коэффициент асинхронности формирования водных ресурсов по территории; $K^0_{ac}(P)$ — коэффициент асинхронности водопотребления.

Из выражения (10) объем воды на цели орошения (W_0) с учетом всех рассматриваемых коэффициентов асинхронности определится как

$$\bar{W}^0 = F_{\text{нм}} (M_{50}^{\text{р}} K^{\text{г}}(P) (K'_{ac}(P) K^{\text{г}}_{ac}(P) - 1) + M_p^{\text{р}} K'_{ac}(P) K^0_{ac}(P)) \quad (11)$$

где $M_{50}^{\text{р}}$; $M_p^{\text{р}}$ — средневзвешенные по водосбору оросительные нормы 50 и P%-й обеспеченности; $K^{\text{г}}(P)$ — модульный коэффициент стока расчетной обеспеченности.

Для нахождения коэффициентов пространственной асинхронности используются функции пространственной асинхронности (ФПА). Для однородных и изотропных полей устанавливается зависимость $K_{ac}(P)$ от (P) :

$$K_{ac}(P) = 1 + \alpha_c(P) \rho, \quad (12)$$

где $\alpha_c(P)$ — эмпирический градиент ФПА, значения которого устанавливаются при исследовании статистической структуры полей стока и дефицитов водного баланса (-0,02..0,03) при обеспеченностях соответственно от 5 до 95%).

Для оценки асинхронности в формировании водопотребления на цели орошения или стока по всей водосборной площади необходимо проинтегрировать функцию (12) по площади водосбора.

При этом площадной коэффициент асинхронности определяется по следующей зависимости

$$\bar{K}_{ac}(P) = 1 + \alpha_c(P) \sqrt{A}, \quad (13)$$

где A — площадь водосбора.

Связь K'_{ac} и (P) , практически, уже рассмотрена (зависимость 2), однако, приняв в расчетах за базу обеспеченность по стоку, ее можно продублировать как

$$K'_{ac}(P) = (B_{ac} - A_{ac} P)^{N_p},$$

где A_{ac} и B_{ac} — эмпирические коэффициенты (для приближенных расчетов можно принять по данным табл. 1–4); P — обеспеченность по стоку; $N_p = -1$ — коэффициент редукции асинхронности по водосборной площади.

Предлагаемая методика дает возможность научно обосновать и согласовать обеспеченности режимов орошения и водоисточника (водоприемника).

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волчек, А.А. Структурные элементы тепловлагоре-сурсов речных водосборов / А.А. Волчек, Д.Н. Дашкевич, В.Е. Валуев, О.П. Мешик // Вестник БрГТУ — 2016. — №2 (98): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. — С. 3–7.

Материал поступил в редакцию 16.05.17

YURCHENKO N.T., VALUEV V.E., VOLCHAK A.A., MESHNIK O.P. The reseach and practice aspects of the coordination between antropogenic water regime o f arid area soil and natural hydrologis regime of water sources.

The article presents the results of the assessment of water resources in arid regions, which are not taken into account when calculating the irrigation capacity of water sources.