

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БАЛАНСОВ

В. Д. Красов

Воронежский государственный университет

В статье обосновывается развернутое уравнение водохозяйственного баланса (ВХБ) для участков рек бассейна Верхнего Дона, как единой системы. Приводятся результаты ВХБ для наивысшего антропогенного воздействия на сток рек (1980-1985 гг.) и различных условий водности. Рассматриваются пути оптимизации ВХБ. Предлагается методика оценки ВХБ, более полно учитывающая пространственно-временные закономерности в колебаниях речного стока.

Современный этап использования водных ресурсов характеризуется функционированием сложных водохозяйственных систем, состоящих из элементов различного целевого назначения: центров сосредоточенного потребления воды, орошаемых массивов, речных транспортных путей, гидроэлектростанций и т.д. Важной частью систем такого рода являются крупные водохранилища сезонного и многолетнего регулирования стока, бессточные озера и внутренние моря. Многолетняя и внутригодовая изменчивость стока, противоречивый в ряде случаев характер требований на воду в различных хозяйственных звеньях, наличие прямых и обратных связей создают значительные трудности при разработке правил управления такими системами. Исследованию различных аспектов их режима посвящены фундаментальные работы, например [8]. Вопросы методики расчета сложных систем, имеющих в своем составе многолетние регуляторы стока, бессточные озера и внутренние моря, рассматриваются в [1, 3, 4].

К числу характеризующих систем относится и бассейн Верхнего Дона, являющийся одним из экономически развитых регионов Европейской России. На территории Верхнего Дона расположен ряд городов – крупных потребителей воды. Промышленность региона имеет водоемкие отрасли, в сельском хозяйстве ранее большой удельный вес занимало орошение. И хотя в настоящее время водопотребление промышленности и сельского хозяйства уменьшилось, новый его рост в связи с оздоровлением экономики страны вполне возможен. Отметим, что изъятие стока для хозяйственных нужд сказывается не только в пределах Верх-

него Дона, но и на нижележащих участках реки и в определенной степени влияет на режим работы Цимлянского водохранилища и на экологическое равновесие Азовского моря.

Тенденции в использовании поверхностных водных ресурсов и подземных вод, изменение санитарного состояния рек и водоемов обуславливают необходимость оценки водообеспеченности отдельных звеньев и всей водохозяйственной системы в целом. Одной из форм такой оценки может быть водохозяйственный баланс (ВХБ), в котором на основе сопоставления наличных водных ресурсов с требованиями на воду со стороны различных отраслей экономики выявляются избыточные и дефицитные районы. Установление объема дефицита и его распределение во времени позволяет наметить состав мероприятий по обеспечению водой населенных пунктов, промышленных предприятий и орошаемых массивов.

Понятно, что рассмотрение ВХБ только для годовых временных отрезков не является достаточным – необходимо учитывать внутригодовой режим притока и потребления. Такой подход (с разбиением годового периода на месячные интервалы) реализован, в частности, в [7], при оценке водообеспеченности территории ЦЧ (в том числе и бассейне Верхнего Дона). Широкий спектр задач этого направления исследован в [2].

Модель расчета водохозяйственного баланса

Как правило, ВХБ исследуется для системы речных створов, приуроченных к крупным центрам водопотребления, границам областей, устьям притоков и т.д.

В наиболее простом виде уравнение для расчета ВХБ на участке между двумя створами для

принятого интервала времени может быть записано следующим образом:

$$W - R = \Delta W, \quad (1)$$

где W и R – суммарные приходная и расходная части баланса,

ΔW – результирующая баланса.

На первый взгляд, может показаться, что составление водохозяйственных балансов сводится к несложным операциям. Но это справедливо только для конечного этапа. Главной трудностью на предшествующих стадиях является выявление структуры приходной и расходной частей, включающих в себя множество компонентов, количественная оценка которых является самостоятельной и непростой задачей.

В развернутом виде уравнение для расчета ВХБ Верхнего Дона можно представить в следующем виде:

$$W_{\text{в}} + W_{\text{е}} + W_{\text{п}} + W_{\text{пз}} + W_{\text{ш}} + W_{\text{вз}} + W_{\text{ст}} + W_{\text{р}} - (R_{\text{пв}} + R_{\text{сх}} + R_{\text{оп}} + R_{\text{ож}} + R_{\text{ов}} + R_{\text{зс}} + R_{\text{зр}}) - S_{\text{н}} - P_{\text{ис}} = \Delta W, \quad (2)$$

Здесь символ W означает приходную часть, R , S и $P_{\text{ис}}$ – составляющие расходной части – требования водопотребителей, водопользователей и дополнительные потери на испарение с поверхности прудов и водохранилищ.

Символы приходной части выражают:

$W_{\text{в}}$ – поступление воды с вышерасположенного участка реки,

$W_{\text{е}}$ – естественные ресурсы поверхностных вод расчетного участка (боковая приточность),

$W_{\text{п}}$ – привлечение стока из других бассейнов,

$W_{\text{пз}}$ – подземные воды, гидравлически не связанные с поверхностными,

$W_{\text{ш}}$ – шахтные воды,

$W_{\text{вз}}$ – возвратные и дренажные воды с орошаемых земель,

$W_{\text{ст}}$ – сточные воды,

$W_{\text{р}}$ – увеличение водных ресурсов под влиянием регулирования стока прудами и водохранилищами.

Символы расходной части по водопотребителям (использующим воду как вещество):

$R_{\text{пв}}$ – промышленное и коммунальное водоснабжение, энергетика,

$R_{\text{сх}}$ – сельхозводоснабжение,

$R_{\text{оп}}$, $R_{\text{ож}}$, $R_{\text{ов}}$ – орошение из прудов, из живого стока рек, из водохранилищ,

$R_{\text{зс}}$, $R_{\text{зр}}$ – заполнение сельскохозяйственных и рыбохозяйственных прудов.

В расходной части по водопользователям (использующим воду как среду) член $S_{\text{н}}$ представля-

ет собой наибольшую из следующих компонентов: $S_{\text{рх}}$ (рыбное хозяйство), $S_{\text{вт}}$ (водный транспорт), $S_{\text{р}}$ (рекреация) и $S_{\text{э}}$ (санитарно-экологический пропуск).

Поступление воды на нижележащий участок будет равно:

$$W_{\text{н}} = W - R - P_{\text{ис}}, \quad (3)$$

где W и R – сумма приходных и расходных (водопотребители и водопользователи) компонентов ВХБ.

Безвозвратные затраты воды могут быть оценены по выражению:

$$W_{\text{бз}} = R - (W_{\text{вз}} + W_{\text{ст}}) + P_{\text{ис}}. \quad (4)$$

Оценка ВХБ производится обычно для нескольких характерных по условиям водности лет (средних и маловодных) и сводится к решению уравнения (2) в пределах выбранных, как правило месячных, интервалов времени.

Понятно, что компоненты расходной части, прежде всего, связанные с орошением: $R_{\text{сх}}$, $R_{\text{оп}}$, $R_{\text{ож}}$, $R_{\text{ов}}$, $R_{\text{зс}}$, $R_{\text{зр}}$, а также $P_{\text{ис}}$, и в некоторых случаях $S_{\text{рх}}$, $S_{\text{вт}}$, $S_{\text{р}}$, $S_{\text{э}}$ имеют разное численное значение при изменении условий водности (например, с обеспеченности p 75% до 95%).

Результаты оценки водохозяйственного баланса Верхнего Дона и возможности его оптимизации

В качестве примера оценка ВХБ Верхнего Дона (от истока до ст. Казанская) произведена на уровне 1980–85 гг. Она имеет не только методический, но и важный исследовательский аспект. Именно в этот период безвозвратные затраты воды на хозяйственные цели достигли максимума, и его установление чрезвычайно полезно при выявлении динамики антропогенного воздействия на сток рек бассейна.

Для оценки ВХБ в пределах Верхнего Дона выделено 9 створов: Дон – граница Тульской и Липецкой областей, Сосна – устье, Дон – граница Липецкой и Воронежской областей, Матыра – устье, Воронеж – г. Липецк, Воронеж – устье, Битюг – устье, Дон – г. Лиски, Дон – граница Воронежской и Ростовской областей.

Расчеты ВХБ Верхнего Дона произведены по моделям лет со стоком, близким по вероятности превышения к надежности водообеспечения $P=50,75$ и 95%. При установлении ресурсов поверхностного стока расчетный период определялся по методике, изложенной в [4]. Ввиду отсутствия переброски стока из других бассейнов член $W_{\text{п}}$ в уравнении (2) принимался равным нулю. Расход воды в реке, удовлетворяющий рекреационным

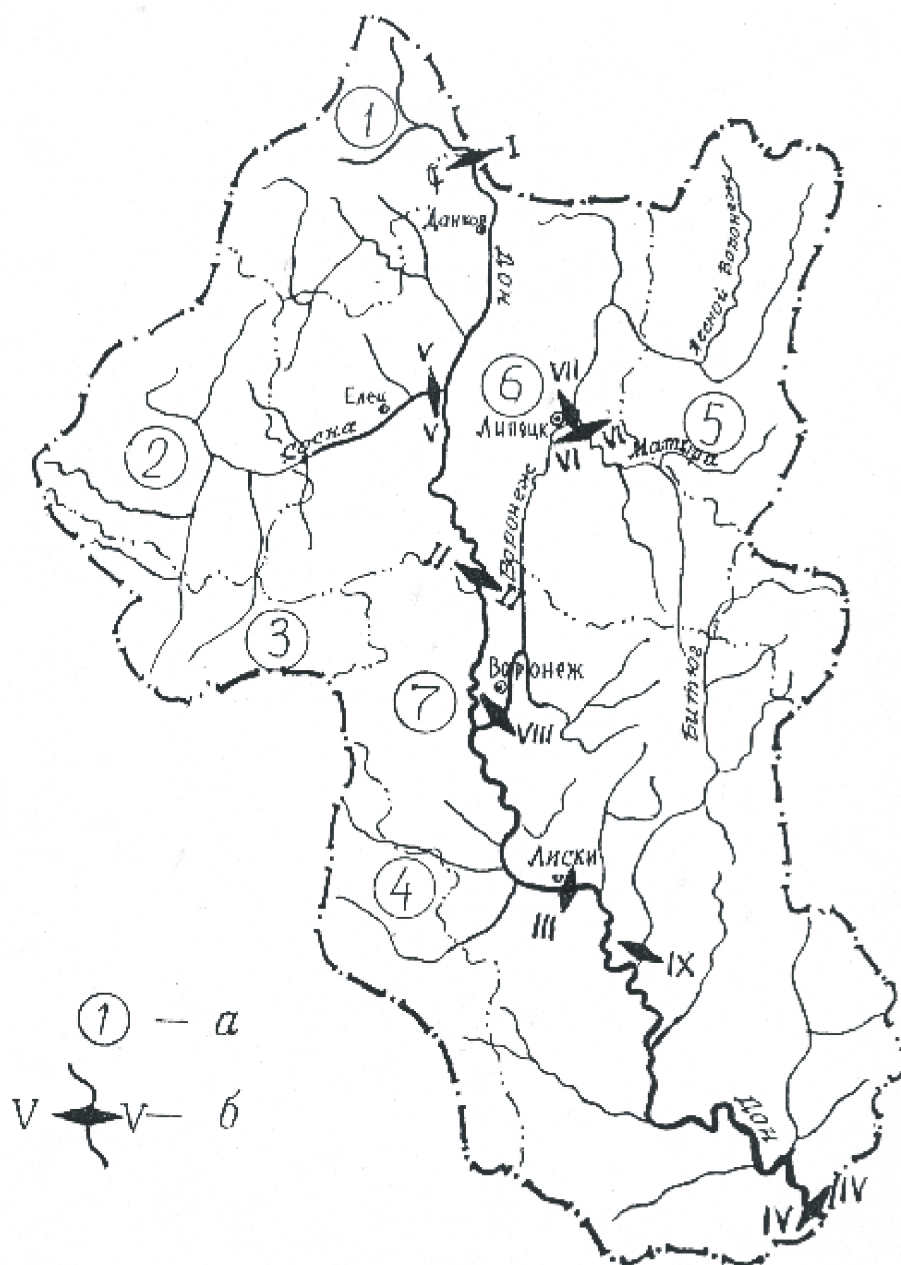


Рис. 1. Схема бассейна Верхнего Дона.

а) Области: 1 – Тульская, 2 – Орловская, 3 – Курская, 4 – Белгородская, 5 – Тамбовская, 6 – Липецкая, 7 – Воронежская. б) Створы ВХБ на реках бассейна.

и санитарно-экологическим требованиям, принимался равным минимальному среднемесячному расходу 95%-ой обеспеченности; в весенний период (III-V) санитарно-экологический попуск назначался в размере не менее 20 % объема стока весеннего половодья 95 %-ой обеспеченности. Итоги оценки ВХБ представлены в таблице 1.

Анализ полученных результатов позволил установить следующее.

Наибольшие суммарные безвозвратные затраты воды по Верхнему Дону на принятом уровне

антропогенного воздействия составили в среднем 0,97 км или около 9 % по отношению к речному стоку в замыкающем створе. Аналогичные показатели для года 95 % обеспеченности получены равными 0,82 куб. км или 15 % стока. В целом в средних условиях водности бассейн Верхнего Дона характеризуется существенным превышением водных ресурсов над водопотреблением. Однако для маловодных лет ВХБ в некоторых створах является напряженным, а в ряде случаев и дефицитным. Суммарный объем внутригодового де-

Результаты ВХБ Верхнего Дона

Река-створ	Площадь водосбора, кв. км	Годовой сток, куб. км			Безвозвратные затраты воды, куб. км		Безвозвратные затраты воды в % к стоку		
		Средний многолетний	Обеспечен- ностью, %		Для среднего года и обеспеч. 75%	Для года обеспеч. 95%	Среднему многолетнему	Обеспечен- ностью, %	
			75	95				75	95
Сосна (устье)	17 400	2,35	1,79	1,21	0,051	0,038	2,17	2,85	3,14
Дон (граница Липецкой и Воронежской областей)	33 840	4,16	3,31	2,09	0,167	0,142	4,01	5,05	6,8
Воронеж (устье)	21 600	2,36	1,88	1,29	0,480	0,433	20,3	25,5	33,6
Дон (г. Лиски)	69 500	7,92	6,41	4,30	0,745	0,663	9,4	11,6	15,4
Битюг (устье)	8 840	0,720	0,470	0,210	0,094	0,056	13,1	20,0	19,5
Дон (ст. Казанская)	102 000	10,45	8,01	5,33	0,968	0,821	9,21	12,0	15,4

фицита стока в пределах Верхнего Дона невелик (около 46,0 млн. куб. м в году 95 %-ой обеспеченности и около 4,0 млн. куб. м в году 75 %-ой обеспеченности).

Главными рычагами оптимизации ВХБ бассейна нам видятся следующие: упорядочение водопользования, внедрение достижений научно-технического прогресса, регулирование местного стока, учет качества воды. Первоочередной задачей должна быть всемерная экономия воды, прежде всего, с помощью повсеместного повышения культуры производства, строгого учета и контроля, недопущения забора питьевой воды для технических нужд. В промышленности сокращение водопотребления может быть достигнуто за счет разработки научно обоснованных норм водопотребления по основным видам выпускаемой продукции с учетом специфики производства и территориального размещения предприятий и снижение на этой основе удельных норм потребления воды на единицу продукции, регенерации отработанной воды – охлаждения, очистки и осветления с последующим повторным использованием в производственном цикле (в частности, вод газоочистки на металлургических предприятиях, городских сточных вод, шахтного водоотлива), перехода на оборотную систему водоснабжения, позволяющую существенно повысить эффективность использования водных ресурсов, разработки и внедрения безводных и водосберегающих технологий, введе-

ния систем воздушного охлаждения и систем с «сухими» градирнями, использования для металлургических печей «испарительного» метода охлаждения оборудования и т.д., повышения единичных мощностей водоемких производств.

В теплоэнергетике резервами экономии воды являются: укрупнение энергоблоков станций, повышение начальных параметров пара турбин, уменьшение количества отводимого в водоемы тепла, снижение удельного веса станций, работающих на прямотоке. В коммунальном хозяйстве уменьшение водопотребления за счет совершенствования сантехнической арматуры и водосчетчиков, применения регуляторов давления. В сельском хозяйстве к снижению затрат воды ведет целый комплекс мер: разработка на базе широких водно-балансовых исследований обоснованных региональных норм полива, учитывающих весь комплекс климатических и гидрогеологических факторов и влияющих на водный баланс зоны аэрации и продуктивность растений, создание мелиоративных систем с надежными средствами автоматизации водораспределения, сокращение доли подземных вод в орошении, осуществление мероприятий по борьбе с потерями вод в орошении,

уменьшение потерь воды на испарение из водоемов и с поверхности почвы.

Существенная роль должна отводиться использованию малых рек – наименьших звеньев водохозяйственной системы. Малые реки могут быть

источниками водоснабжения крупных объектов: промышленных предприятий, ТЭС, городов, оросительных систем. Для оценки потенциальных возможностей малых рек по водообеспечению хозяйственных объектов предлагается следующая последовательность действий:

а) определяется диапазон площадей водосбора, подлежащих рассмотрению (например, от 100 до 10000 кв. км);

б) используя гидрологическое районирование территории и площади пересыхания и перемерзания [9], устанавливаем для каких значений площадей водосбора постоянный сток отсутствует;

в) в пределах каждого гидрологического района определяем среднее и экстремальные значения годового стока применительно к избранному диапазону площадей водосбора;

г) для каждого расчетного случая находим полезную отдачу нетто водохранилищ с учетом санитарно-экологического попуска;

д) по значению полезной отдачи устанавливаем водохозяйственные показатели, при условном переключении водных ресурсов на решение одной из возможных задач.

В таблице 2 представлены данные по возможной площади орошения, а также численности населения, обеспечиваемого водой.

Особенно эффективно регулирование стока сочетается с одной из самых прогрессивных форм использования воды – оборотными системами водоснабжения. При высокой степени надежности водоподачи для промышленного водоснабжения, достигающей 95, 97% и более, естественный режим водотока, строго говоря, не оставляет резерва для развития оборотных систем. В реке должен

быть оставлен санитарно-экологический расход, который даже в наименьшем варианте принимается равным как раз минимальному среднемесячному стоку 95%-ой обеспеченности.

Циркуляционный расход $Q_{ц}$ оборотных систем связан с полезной отдачей водохранилища $Q_{нт}$, забором воды для иных целей Q_3 и санитарно-экологическим попуском $Q_э$ соотношением

$$Q_{ц} = \frac{Q_{нт} - Q_3 - Q_э}{\varepsilon}, \quad (5)$$

где ε – коэффициент потерь в оборотной системе.

Оценка, проведенная для обеспеченности 95% полезной отдачи водохранилищ при коэффициенте потерь $\varepsilon = 6,6\%$, показывает, что общее увеличение водных ресурсов за счет внедрения оборотных систем может составить от 1,8 раза при сезонном регулировании стока до 9,2 раза при многолетнем регулировании.

Пути совершенствования методики оценки водохозяйственного баланса

Основной путь – уточнение методики определения составляющих, входящих в уравнение (2). Это, прежде всего, относится к приходной части и к ее главному компоненту – поверхностному стоку. Здесь необходимо подчеркнуть необходимость анализа исходной гидрологической информации на однородность, восстановления «естественных» рядов стока, подвергшихся ощутимому влиянию антропогенного фактора, а также оценка репрезентативности периода для расчета нормы и квантилей стока [5, 6, 10].

В расходной части резервом повышения качества расчета является совершенствование учета используемой воды; сведения о заборе воды и во-

Таблица 2

Эффект регулирования стока малых рек

Площадь водосбора, кв. м	Площадь орошения, тыс. га (P = 75%)		Численность населения, тыс. чел. (P = 95%)	
	сезонное регул.	многолет. регул. ($\alpha_{бр} = 0,9$)*	сезонное регул.	многолет. регул. ($\alpha_{бр} = 0,9$)*
100	1,9	2,6	10,6	57,2
500	10,2	14,1	120	325
2000	44,1	58	500	1320
5000	113	154	1340	3720

* – полезная отдача брутто водохранилищ в долях нормы стока.

доотведении находятся в ведении большого числа организаций, зачастую разнородны и требуют тщательного анализа и систематизации.

Касаясь учета подземных вод в приходной части ВХБ, необходимо иметь в виду, что при наличии гидравлической связи поверхностные и подземные водные ресурсы бассейна должны рассматриваться как единое целое. Забор воды из подземных горизонтов означает определенное изъятие из поверхностного стока. Разумеется, оно может проявиться не сразу, а по прошествии некоторого времени, зависящего от времени добегания подземных вод от точки водозабора до места их дренирования. В течение этого времени с влиянием забора воды из подземных источников можно не считаться, однако его последствия в конечном итоге скажутся на поверхностных водных ресурсах. Понижение кривой депрессии приведет к уменьшению разгрузки подземного потока в реки и к снижению меженного стока, а при значительном увеличении депрессионной воронки и к подпитке подземных горизонтов речными водами.

При составлении ВХБ следует учитывать компонент, отражающий влияние косвенных факторов – W_k . Таких, как агролесотехнические мероприятия, осушение заболоченных участков, урбанизация и др. Одним из проявлений косвенных факторов является изменение в результате хозяйственного использования элементов водного баланса территорий, компенсирующее безвозвратные затраты стока. В частности, подобный эффект вызывает создание прудов и водохранилищ, которое, с одной стороны, увеличивает потери на испарение, а с другой – приводит к уменьшению весенних разливов и к соответствующему снижению потерь

стока на пойменных участках в нижнем бьефе гидроузлов, в дельтах рек.

Сложившаяся практика составления ВХБ при выборе модели расчетного года ориентируется на обеспеченность годового стока. Более обоснованным является выбор модели расчетного года по обеспеченности стока лимитирующего периода, в особенности, при невысокой степени использования водных ресурсов бассейна. Но и этого недостаточно с методической точки зрения. В силу стохастической сущности пространственно-временных изменений стока в его колебаниях наблюдается асинхронность, особенно ощутимая в пределах крупных водохозяйственных систем. О степени асинхронности годового стока бассейна Верхнего Дона можно судить по данным таблицы 3, где приведены обеспеченности стока за отдельные годы в пунктах гидрологических наблюдений при обеспеченности стока р. Дон в замыкающем створе у ст. Казанской близкой к 75 и 95 %.

Как видно из таблицы 3, обеспеченности стока в различных створах не совпадают с обеспеченностью стока в замыкающем створе.

Степень асинхронности можно характеризовать и коэффициентом асинхронности (K_{ac}):

$$K_{ac} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{pi}}{Q_p}, \quad (6)$$

где Q_{pi} – расходы воды обеспеченностью P_i -х притоков;

Q_p – расход обеспеченностью P в замыкающем створе реки;

N – число створов выше замыкающего.

Таблица 3

Асинхронность стока рек бассейна Верхнего Дона

Годы	Обеспеченность стока, %, по створам										
	Р. Дон, ст. Казанская	Р. Дон, г. Задонск	Р. Красивая Меча, с. Сергиевское	Р. Сосна, г. Елец	Р. Воронеж, г. Воронеж	Р. Дон, г. Лиски	Р. Битюг, г. Бобров	Р. Тихая Сосна, г. Алексеевка	Р. Черная Калитва, р.п. Ольховатка	Р. Подгорная, г. Калач	Р. Песковатка, ст. Шумилинская
1938	75	79	82,5	80	75	77	48	–	–	53	–
1965	75	70	40	66	74	80	71	68,2	87,5	70	60
1950	95	90,5	97,5	94	98,5	97,3	95,7	95	–	89	–
1954	95	77	77	84	89,5	89,5	97,2	90,4	97,4	99	96,7

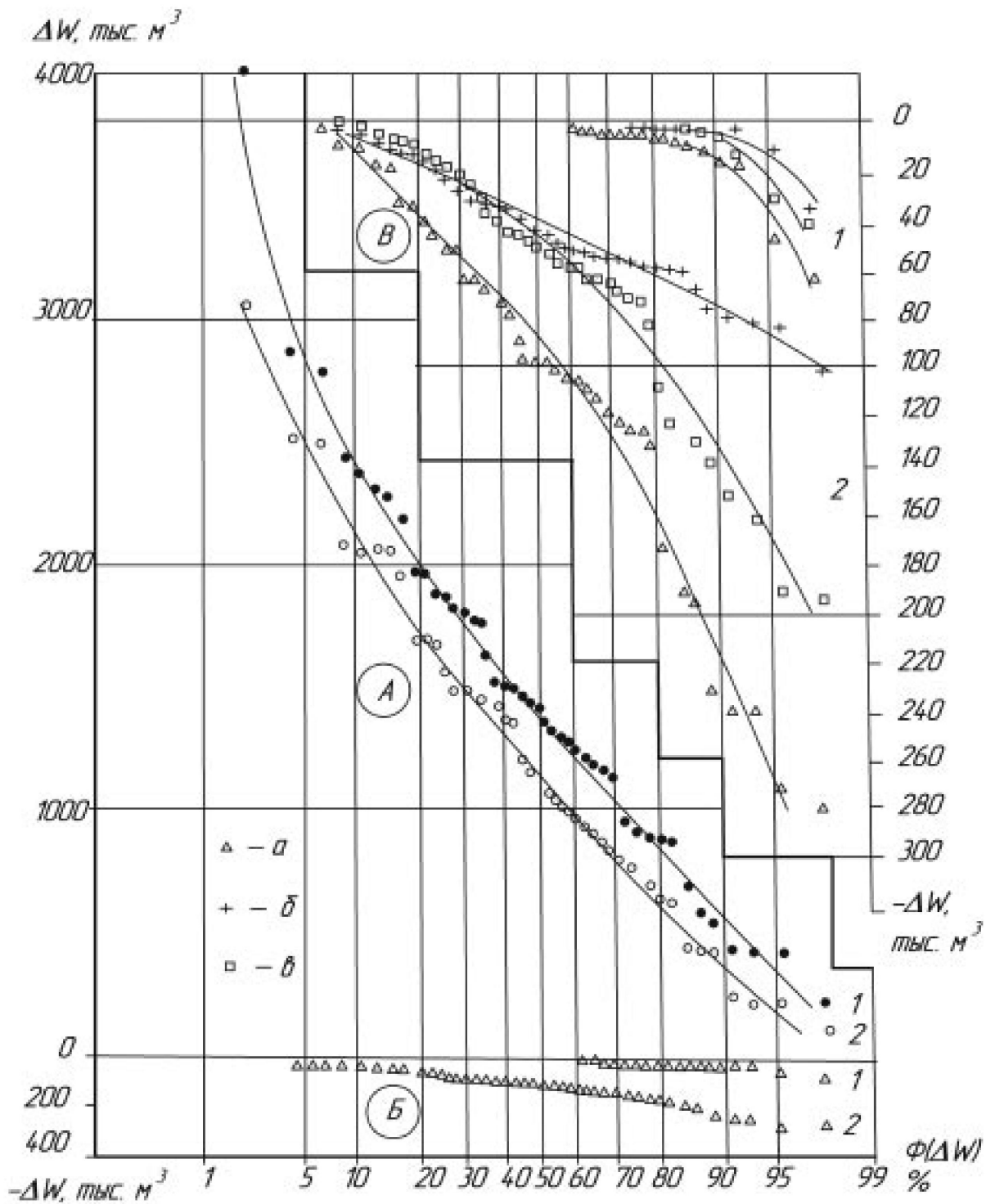


Рис. 2. Река Сосна – устье. Итоги ВХБ в вероятностной форме.

А – избытки; Б – дефициты; В – дефициты в укрупнённом масштабе.

1 – первый уровень изъятия стока; 2 – второй уровень изъятия стока;

а – суммарный годовой дефицит; б – дефицит для отраслей экономики с пониженной надёжностью водообеспечения ($P=75\%$); в – дефицит для отраслей экономики с повышенной надёжностью водообеспечения ($P=95\%$).

Коэффициент асинхронности по Верхнему Дону для обеспеченности 75% получен равным 0,92, для обеспеченности 95% равным 0,82. Проведенный анализ показал, что принятие в качестве модели водности при расчетах ВХБ Верхнего Дона годового стока одной обеспеченности для всех створов не соответствовало бы характеру пространственных изменений стока.

В наиболее общей постановке задание приточности к створам водохозяйственной системы является задачей стохастической. При таком подходе и уравнению (2) придается стохастический смысл. Идее учета пространственно-временных колебаний речного стока вполне соответствует предлагаемый нами способ задания приточности к створам ВХБ всеми имеющимися рядами гидрологических наблюдений за стоком (в границах выбранного репрезентативного периода) с учетом его внутригодового распределения. В этом случае результаты построения ВХБ могут быть представлены в вероятностной форме. Для определения дефицита заданной обеспеченности и оценки возможностей его покрытия в конкретном створе рекомендуется строить кривую распределения балансовых разностей ΔW .

При анализе результатов расчета ВХБ представляется целесообразным дифференцировать дефицит воды по нескольким категориям: дефицит суммарный для всех потребителей (годовой и максимальный); дефицит (годовой и максимальный) для потребителей, обслуживаемых с пониженной надежностью (например, ирригация); дефицит (годовой и максимальный) для потребителей, обслуживаемых с повышенной надежностью (например, водоснабжение), дефицит (годовой и максимальный) для потребителей за пределами расчетной обеспеченности (в интервале обеспеченности стока $p \leq P \leq 100\%$, где P – расчетная обеспеченность отдачи для данной категории потребителей); указанный дефицит, представляющий урезку водоподачи в маловодные годы, при наличии регулирования речного стока планируется заранее.

В качестве примера на рис. 2 приведены кривые обеспеченности балансовых разностей для одного из расчетных участков ВХБ Верхнего Дона – бассейна р. Сосны для двух уровней использования водных ресурсов – водопотребление 830 млн. куб. м/год и водопотребление 1245 млн. куб. м/год. Приточность задавалась всем рядом гидрологических наблюдений продолжительностью 45 лет. Наличие кривых обеспеченности различных категорий дефицита позволяет судить о необходимой степени регулирования сто-

ка для покрытия дефицита (по суммарному дефициту), о возможностях регулирования стока (по кривой избытков), о надежности водообеспечения различных потребителей (по абсциссе $F(0)$ кривых обеспеченности дефицита соответствующего потребителя). Получение кривых распределения балансовых разностей (избытков, годового и максимального дефицитов) при наличии стоимостных оценок ущерба от недодачи воды потребителям открывает возможность экономической оценки мероприятий по результатам ВХБ, в частности, обоснования расчетной обеспеченности, распределения водных ресурсов между участниками водохозяйственного комплекса, территориального перераспределения водных ресурсов и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асарин А. Е. Уровенный режим Аральского моря при развитии водопотребления в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи / А. Е. Асарин // Труды Гидропроекта. – 1964. – Сб. 12. – С. 211-221.
2. Болгов М. В. Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения / М. В. Болгов, В. М. Мишон, Н. И. Сенцова; [отв. ред. А. Е. Асарин]. – М.: Наука, 2005. – 318 с.
3. Красов В. Д. Прогноз режима Капчагайского водохранилища с учетом изменения водного режима и уровня оз. Балхаш / В. Д. Красов // Труды ГГИ. – 1974. – Вып. 220 : Проблема рационального использования водных ресурсов бассейна оз. Балхаш. – С. 17-32.
4. Красов В. Д. Расчет режима Или-Балхашской водной системы на перспективу / В. Д. Красов // Труды IV гидрологического съезда. – 1975. – Т. 5 : Гидрология озер, водохранилищ и устьев рек. – С. 87-97.
5. Красов В. Д. К методике выбора репрезентативного периода для расчета характеристик годового стока / В. Д. Красов // Водные ресурсы. – 1983. – № 5. – С. 167-169.
6. Красов В. Д. К методике анализа однородности гидрологических рядов / В. Д. Красов // Водные ресурсы. – 1986. – № 1. – С. 24-29.
7. Красов В. Д. Использование водных ресурсов ЦЧЭР и вопросы рыбного хозяйства / В. Д. Красов, В. В. Делицын // Сборник научных трудов Гидропроекта. – 1985. – Вып. 99 : Комплексное использование водных ресурсов и охрана окружающей среды. – С. 127-135.
8. Крицкий С. Н. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами / С. Н. Крицкий, М. Ф. Менкель. – М.: Наука, 1982. – 271 с.
9. Курдов А. Г. Минимальный сток рек / А. Г. Курдов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1970. – 251 с.
10. Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек / И. А. Шикломанов. – Л.: Гидрометиздат, 1979. – 302 с.