

ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ РЯДОВ ГОДОВОГО СТОКА РЕК

В. Д. Красов

Воронежский государственный университет, Россия

Поступила в редакцию 7 мая 2011 г.

Аннотация: В статье исследуется влияние антропогенного фактора на параметры годового стока на основе модификации его последовательностей (при изъятии воды). В качестве расчетной модели используется ряд наблюдений. Получены параметры годового стока в условиях нестационарности.

Ключевые слова: сток, антропогенный фактор, изъятие, модификация, нестационарность, параметры.

Abstract: The article deals with the influence of anthropogenic factors on the parameters of the annual runoff based on the modification of its sequences (with removal of water). As a computational model the author uses a number of observations. The parameters of the annual runoff in non-stationary have been obtained.

Key words: runoff, anthropogenic factor, withdrawal, modification, nonstationarity, parameters.

Исследования по направлениям, вытекающим из названия статьи, связаны с изучением влияния факторов антропогенной природы на параметры речного стока. Они могут проводиться с применением различных моделей, учитывающих особенности многолетних колебаний водности рек: рядов стока, полученных в результате гидрологических наблюдений за продолжительный период, длительных ранжированных [2] и хронологических [1] искусственных последовательностей, подчиняющихся заданному закону распределения вероятностей. Общим для них, применительно к сформулированной выше задаче, является последующая модификация в соответствии с принятым сценарием изменения стока во времени, которое может быть как в сторону увеличения, так и уменьшения водных ресурсов. Наиболее важным в этом отношении с хозяйственной точки зрения является оценка влияния безвозвратного изъятия стока (в дальнейшем – «изъятие»).

В качестве модели стока для исследования примем хронологический ряд среднегодовых расходов воды Q_i (в м³/с) продолжительностью N лет ($i = 1, 2, \dots, N$) с параметрами: среднее \bar{Q} , стандарт s , коэффициенты вариации C_v , асимметрии C_s и автокорреляции r , соотношение $h = C_s / C_v$. Вели-

чину изъятия воды обозначим через a_{ii} ; его текущие значения будут a_{ii} , среднее a_{ii} , (символ «и» означает изъятие стока).

Оценим моментные параметры \bar{Q}^* , s^* , C_v^* , C_s^* , r^* , h^* модифицированных рядов, образованных по соотношению (символ «*» относится к измененному ряду):

$$Q_i^* = Q_i - a_{ii}. \quad (1)$$

При появлении в измененном ряду отрицательных значений (т.е. при $a_{ii} > Q_i$ будем полагать $Q_i^* = 0$. Наличие интервала q_0 по вероятности нулевых значений (ИНС) влияет на характеристики модифицированного стока.

В настоящей работе предлагаются следующие сценарии модификации:

а) константа $\bar{a}_{ii} = a_{ii} = I \bar{Q} = const,$

б) прямая $\bar{a}_{ii} = \frac{m_1}{N} I \bar{Q},$

в) парабола-1 $a_{ii} = \left(\frac{m_1}{N}\right)^2 I \bar{Q}, \quad (2)$

г) парабола-2 $a_{ii} = \left[1 - \left(\frac{N - m_1}{N}\right)^2\right] I \bar{Q}.$

Здесь I – максимальное изъятие стока в долях нормы, $i = 1, 2, \dots, N$; $m_1 = i$.

Изменение параметров годового стока при различных вариантах изъятия (р. Дон, г. Калач-на-Дону)

Пар-ры Ва-ри-анты	\bar{Q}^* , м ³ /с	s^* , м/с	C_v^*	C_s^*	h^*	r^*	$\bar{a}_{И}$, м ³ /с	\bar{d} , м ³ /с	$\bar{a}_{Иф}$, м ³ /с	\bar{f}_1	\bar{f}_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ест. ряд ($\lambda = 0$)	674	247	0,367	0,706	1,924	0,109	0	0	0	–	–
$\lambda = 0,10 \quad \bar{a}_{И max} = 67,4 \text{ м}^3/\text{с}$											
а	607	247	0,408	0,706	1,731	0,109	67,4	0	67,4	1,0	1,0
б	640	252	0,394	0,650	1,650	0,140	34	0	34,0	1,0	1,0
в	651	252	0,387	0,650	1,679	0,140	22,9	0	22,9	1,0	1,0
г	629	252	0,401	0,650	1,619	0,141	45,3	0	45,3	1,0	1,0
$\lambda = 0,20 \quad \bar{a}_{И max} = 135 \text{ м}^3/\text{с}$											
а	539	247	0,459	0,706	1,539	0,109	135	0	135	1,0	1,0
б	606	258	0,426	0,590	1,384	0,178	68,3	0	68,3	1,0	1,0
в	628	258	0,411	0,580	1,412	0,179	45,8	0	45,8	1,0	1,0
г	583	258	0,443	0,597	1,348	0,180	90,9	0	90,3	1,0	1,0
$\lambda = 0,50 \quad \bar{a}_{И max} = 337 \text{ м}^3/\text{с}$											
а	338	245	0,726	0,742	1,023	0,106	337	1,36	336	0,997	1,003
б	504	283	0,562	0,428	0,762	0,314	171	0,441	170	0,994	1,002
в	560	284	0,508	0,393	0,774	0,319	115	0,330	114	0,991	1,002
г	448	284	0,634	0,503	0,793	0,319	226	0,548	225	0,996	1,002

Разумеется, число возможных вариантов динамики изъятия во времени не исчерпывается приведенными выше сценариями. В рамки разработанной концепции вполне укладываются случаи учета разнообразных экологических аспектов водопользования.

В качестве конкретной гидрологической модели для задач настоящего исследования использовался ряд величин стока р. Дон у г. Калач-на-Дону, с 1876 по 1952 гг. продолжительностью 77 лет. Выбор модели обусловлен длительностью ряда и практическим отсутствием хозяйственного воздействия на сток реки, рост которого пришелся на начало 50-х годов. Параметры годового стока ряда-модели следующие: $\bar{Q} = 674 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = 0,367$, $C_s = 0,706$, $h = 1,924$, $r = 0,109$. Изъятия стока принималось в диапазоне величин $0 \leq I \leq 0,5$. Разумеется, варианты наиболее значительного уменьшения стока возможны в реальности лишь при неупорядоченном водопользовании и характеризуются

в данной работе только с позиций наибольшей общности исследований.

Результаты численных экспериментов по модификации последовательности стока представлены в таблице и на рис. (\bar{d} , $\bar{a}_{Иф}$ – средние за период N величина дефицита и фактического изъятия).

Основной вывод из полученных данных – изменение некоторых параметров весьма существенно. Уменьшение среднего \bar{Q} определяется средней величиной фактического изъятия. Хотя интервал ИНС появляется уже при $Q_{min} = 294 \text{ м}^3/\text{с}$ ($0,436 \bar{Q}$), его влияние на \bar{Q}^* даже при $a_{И} = \bar{a}_{И} = 0,5\bar{Q} = const$ ощущается слабо. Количество лет с $Q_i^* = 0$ здесь составляет всего 5 (6,5%), а корректировка среднего за счеты ИНС = $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$ или около 0,1%.

Стандарт s^* по группе вариантов «константа» практически постоянен. По другим вариантам

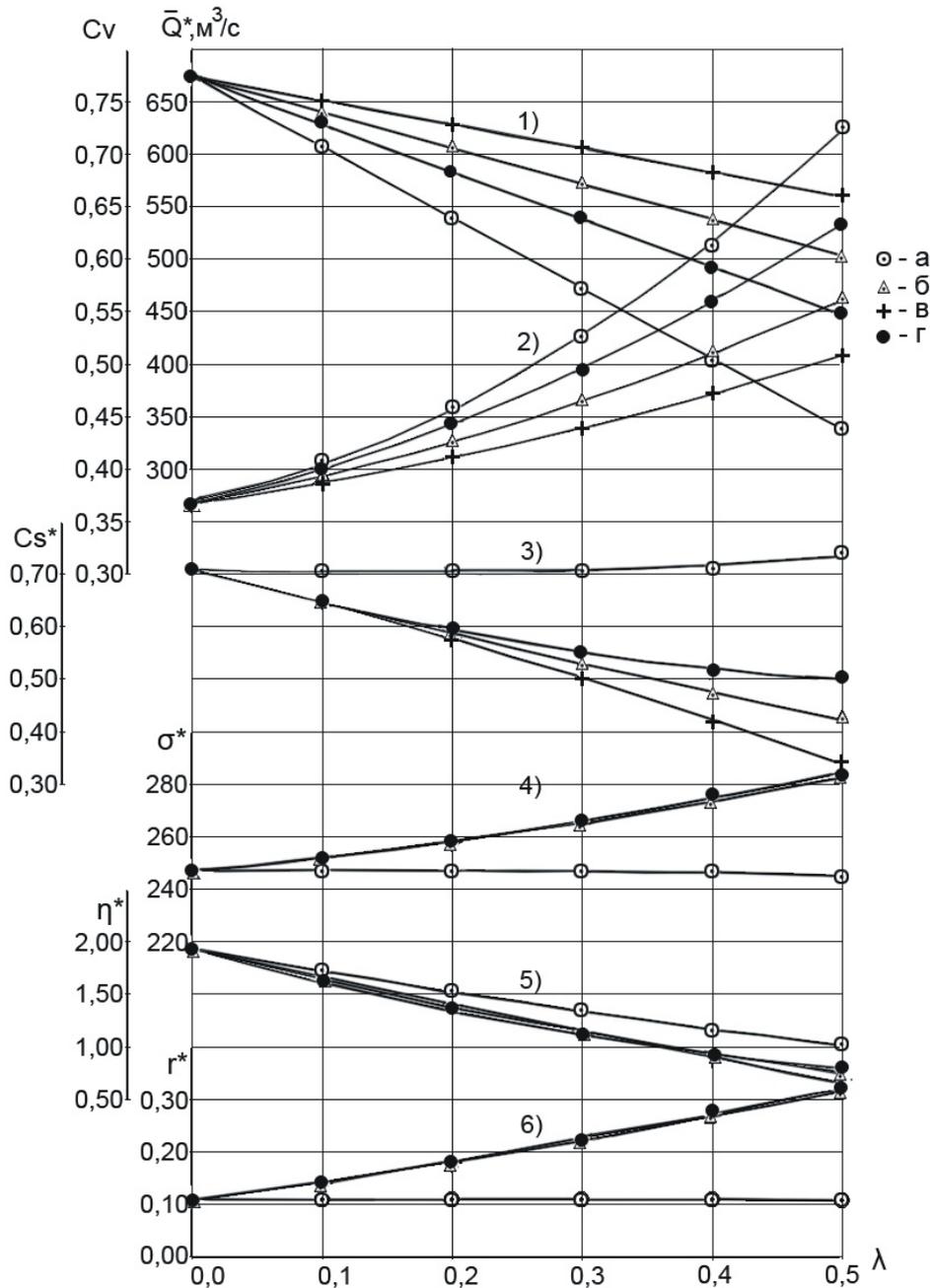


Рис. Трансформация параметров стока при изъятии из его годовых величин

1 – \bar{Q}^* 2 – C_v^* 3 – C_s^* 4 – s^* 5 – h^* 6 – r
 а – константа б – прямая в – парабола-1 г – парабола-2

обнаруживает практическое совпадение для одинаковых величин изъятия, с последующим увеличением s^* по сравнению с s для наибольшего изъятия $a_{II\max} = 0,5\bar{Q}$ на 15% ($a_{II\max} = I\bar{Q}$). Наиболее значительные изменения с ростом изъятия претерпевают коэффициент вариации и отношение h^* . Величина C_s^* в варианте «константа» при $I = 0,5$ по сравнению с C_v возрастает почти в два раза.

В вариантах $a_{II} \neq const$ изменение C_v^* обусловлено, наряду с другими факторами, и неравномерностью изъятия во времени. По степени увеличения C_v^* здесь «лидирует» «парабола-2», затем – «прямая» и «парабола-1». Для них при $I = 0,5$ увеличение C_v^* находится в диапазоне $38,4 \div 72,8\%$.

Коэффициент C_s^* для $a_{II} = const$ равен C_s до изъятий $\bar{a}_{II} = 0,4\bar{Q}$. Лишь при $\bar{a}_{II} = 0,5\bar{Q}$ C_s^* испытывает влияние ИНС и повышается на 5,1%. В

вариантах $a_{II} \neq const$ увеличение изъятия к концу ряда сказывается на уменьшении C_s^* , наиболее значительном для «параболы-1». Здесь при $I = 0,5$ происходит падение C_s^* более чем в два раза по сравнению с C_s .

Соотношение $h^* = C_s^* / C_v^*$ по мере возрастания

изъятия уменьшается, причем наиболее интенсивно в варианте «парабола-1», где достигает при $I = 0,5$ $h^* = 0,676$, что в 2,8 раза меньше h . Коэффициент автокорреляции r^* для случая $a_{II} = const$ практически постоянен при всех рассмотренных изъятиях. В остальных вариантах r^* увеличивается с ростом изъятия, достигая при $I = 0,5$ $r = 0,314 \div 0,319$, т.е. в 2,9 раза больше r .

Полезно установить степень изменения параметров модифицированного стока в диапазоне реальных изъятий (при $I = 0,1$ и $I = 0,2$). Анализ показывает, что при изъятии стока, равном 10% от нормы уменьшение среднего значения стока Q по вариантам сценария (а ÷ г) составляет соответственно: 10; 5,05; 3,4 и 6,7%. Коэффициент вариации C_v^* возрастает на 11,2; 7,4; 5,4 и 9,3%, коэффициент асимметрии C_s^* в варианте «константа» остается без изменения, а в остальных сценариях уменьшается на 8%; соотношение h^* снижается,

причем, для «константы» на 10%, а в других вариантах (б ÷ г) еще больше: 14,0; 12,7 и 15,9%. И, наконец, коэффициент автокорреляции r^* при отсутствии прироста в сценарии «константа» в остальных вариантах изъятия (б ÷ г) возрастает, причем, в процентном отношении значительно всех других параметров: 28,4 и 29,4%.

При $I = 0,2$ изменения всех перечисленных параметров (кроме C_s^* в варианте «константа», где приращение равно нулю по сравнению с $I = 0,1$) возрастают, как минимум, вдвое.

Оценка параметров речного стока в условиях нестационарности открывает возможности для более точного подхода к установлению квантилей, а в конечном итоге – к более обоснованному выбору вариантов использования водных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красов В. Д. Применение моделированных последовательностей при оценке антропогенного воздействия на сток рек / В. Д. Красов, П. С. Лысачев // Материалы 9-ой Международной научной конференции по вопросам информатики. – Воронеж, 2009. – Т. 1. – С. 375-378.

2. Красов В. Д. Трансформация гидрологических параметров под воздействием крупномасштабных изъятий стока / В. Д. Красов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2008. – № 1. – С. 116-120.

Красов Вячеслав Дмитриевич
кандидат технических наук, доцент кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (4732) 66-56-54, E-mail: root@geogr.vsu.ru

Krasov Vyacheslav Dmitriyevitch
Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the chair of management of nature of geography, geoecology and tourism department of the Voronezh State University, Voronezh, tel. (4732) 66-56-54, E-mail: root@geogr.vsu.ru