

А.В. Сикан, Н.Г. Малышева

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНЕРЦИОННОСТИ РЕЧНЫХ СИСТЕМ

A.V. Sikan, N.G. Malysheva

RESEARCH OF PARAMETERS OF SLUGGISHNESS OF RIVER SYSTEMS

Рассматриваются показатели инерционности речных систем. Исследуется их зависимость от гидрографических характеристик речного водосбора. Излагается методика их определения при отсутствии данных гидрометрических наблюдений.

Parameters of river-systems sluggishness are examined. Dependence of these parameters on hydrographic characteristics of the river catchment basin is studied. The technique of calculation of the parameters is described for the case of absence of hydrometric data.

Речная система, включая ее гидрографическую сеть и водосбор, обладает определенной степенью инерционности. Во время снеготаяния и в периоды дождей часть воды не стекает сразу, а идет на пополнение объемов воды в гидрографической сети и запасов грунтовых вод. В дальнейшем происходит постепенная сработка аккумулированной на бассейне влаги. Чем больше инерционная емкость речного бассейна, тем более плавный характер носит ее гидрограф и меньше амплитуда колебаний уровней и расходов воды.

Для оценки степени сглаженности гидрографа в настоящей работе рассматриваются: средний многолетний коэффициент естественной зарегулированности – φ ; средний многолетний коэффициент k_{20} , представляющий собой отношение максимального расхода воды продолжительностью стояния 20 суток к максимальному годовому расходу; степень тесноты связи среднегодовых расходов воды со среднемесячными максимальными и минимальными расходами.

Использование не одного, а нескольких показателей позволяет выявить достаточно тонкие особенности гидрографа для каждой реки. Так коэффициент естественной зарегулированности отражает зарегулированность реки в течение всего года. Коэффициент K_{20} характеризует плавность или наоборот крутизну ветви спада половодья. А величина коэффициентов корреляции между среднегодовыми и экстремальными месячными расходами воды отражает степень зависимости максимумов и минимумов от водности года и общую устойчивость формы гидрографа.

Помимо того, что данные показатели могут использоваться в качестве параметров, характеризующих инерционные свойства водного объекта, они имеют и прикладное значение. В частности максимальные расходы воды продолжительностью стояния 20 суток рассчитываются при проектировании и ремонте

магистральных трубопроводов, а коэффициент естественной зарегулированности может использоваться для оценки так называемого «среднего рабочего уровня реки».

Основная задача настоящего исследования – разработать методику оценки перечисленных показателей для случая отсутствия гидрометрических наблюдений в расчетном створе.

Величина инерционной емкости зависит от многих характеристик речной системы, но важнейшей из них является озерность бассейна. В качестве примера на рис. 1 показаны осредненные кривые продолжительности стояния суточных расходов для рек с разной степенью относительной озерности $f_{оз}$. На рисунке видно, что озерность водосбора существенно влияет на форму кривой и годовую амплитуду расходов воды.

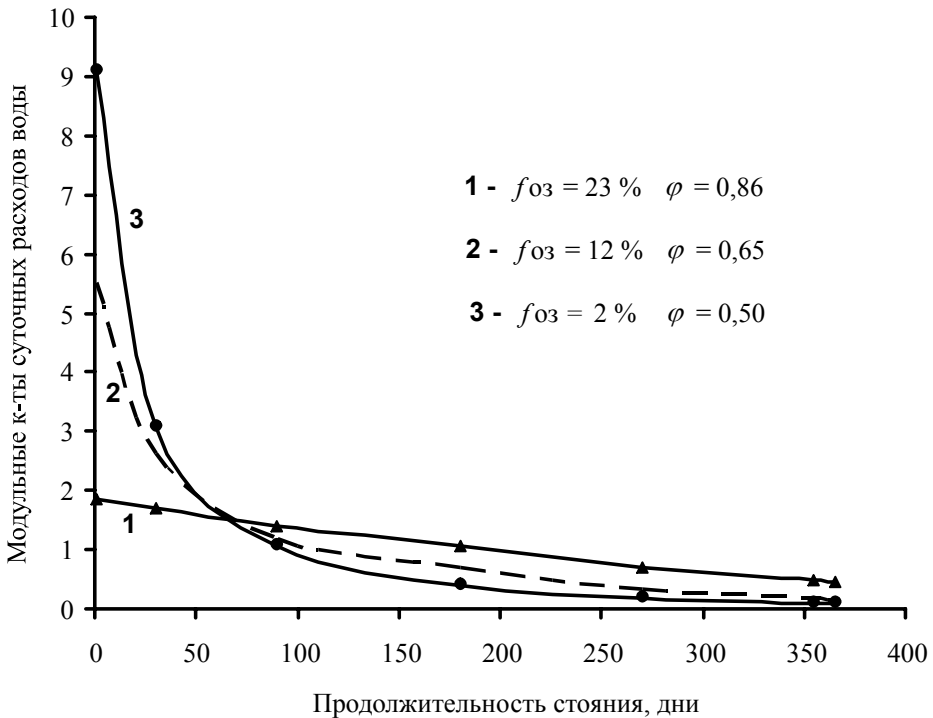


Рис. 1. Кривые продолжительности стояния суточных расходов воды для рек с различной озерностью водосборов.

1 – р. Сяньга – д. Чуралахта, $F = 1610 \text{ км}^2$, $f_{оз} = 23\%$; 2 – р. Волма – д. Лазарево, $F = 1470 \text{ км}^2$, $f_{оз} = 12\%$; 3 – р. Андома – д. Теркино, $F = 1140 \text{ км}^2$, $f_{оз} = 2\%$

Как показал анализ, выполненный на примере рек Северо-Запада России, для коэффициентов φ и k_{20} связи с относительной озерностью прослеживаются довольно четко. Однако в качестве расчетных их можно использовать только при $f_{оз} \geq 3\%$ (рис. 2, 3, табл. 1).



Рис. 2. Линеаризованная зависимость коэффициента естественной зарегулированности φ от относительной озерности водосбора для рек Северо-Запада РФ

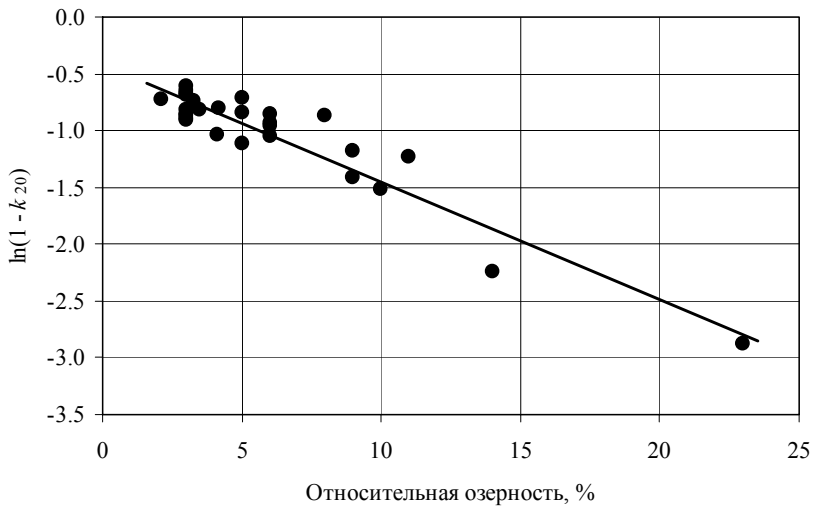


Рис. 3. Линеаризованная зависимость коэффициента k_{20} от относительной озерности водосбора для рек Северо-Запада РФ

Таблица 1

Параметры уравнений линейной регрессии зависимостей $\ln(1 - \varphi) = f(f_{03})$ и $\ln(1 - K_{20}) = f(f_{03})$

Параметры уравнения	Аргумент	
	$\ln(1 - \varphi)$	$\ln(1 - k_{20})$
1	2	3
Коэффициент парной корреляции, R	0,89	0,94
Стандартная ошибка σ_R	0,15	0,17

Окончание табл. 1

1	2	3
R/σ_R	6,1	5,2
Коэффициент регрессии, a	-0,061	-0,10
Стандартная ошибка σ_a	0,0063	0,0074
a/σ_a	-9,63	-14,1
Свободный член, b	-0,69	-0,41
Стандартная ошибка σ_b	0,047	0,055
b/σ_b	-14,6	-7,56

Как видно из таблицы, в обоих случаях коэффициенты корреляции больше 0,7 и выполняются условия: $R/\sigma_R \geq 2$, $a/\sigma_a \geq 2$, $b/\sigma_b \geq 2$ [СП 33-101-2003]. Таким образом, полученные параметры уравнений регрессии являются надежными и могут использоваться для практических расчетов. После потенцирования расчетные формулы принимают вид:

$$\varphi = 1 - 0,5 \exp(-0,061 f_{03}); \quad (1)$$

$$K_{20} = 1 - 0,66 \exp(-0,10 f_{03}). \quad (2)$$

Как уже отмечалось, формулы (1) и (2) могут использоваться для рек с относительной озерностью более 3 %. Для расчета коэффициентов φ и k_{20} на реках с любой озерностью, в том числе и с нулевой, исследовались другие гидрографические характеристики. Установлено, что вторым по значимости фактором, влияющим на инерционные свойства системы, является площадь водосбора. Анализ показал, что связи коэффициентов φ и k_{20} с площадью водосбора являются статистически значимыми, но не могут рассматриваться как расчетные, поскольку в обоих случаях коэффициент парной корреляции меньше 0,7. Учитывая это, была рассмотрена возможность использования уравнений множественной линейной регрессии вида $\varphi = f[f_{03}, \ln(F + 1)]$ и $k_{20} = f[f_{03}, \ln(F + 1)]$ (табл. 2).

Как видно из таблицы полученные уравнения являются надежными и могут использоваться для практических расчетов. Средняя ошибка расчета коэффициента φ по полученной формуле составила 7,6 %, максимальная – 27,9 %, для коэффициента k_{20} соответственно – 6,0 % и 20 %.

Таблица 2

Параметры уравнений множественной линейной регрессии зависимостей $\varphi = f[f_{03}, \ln(F + 1)]$ и $K_{20} = f[f_{03}, \ln(F + 1)]$

Параметры уравнения	Аргументы	
	f_{03} и $\ln(1 - \varphi)$	f_{03} и $\ln(1 - k_{20})$
1	2	3
Коэффициент множественной корреляции, R	0,76	0,90
Стандартная ошибка σ_R	0,059	0,042
R/σ_R	12,9	21,4

Окончание табл. 2

1	2	3
Первый коэфф. регрессии, a_1	0,017	0,022
Стандартная ошибка σ_{a_1}	0,0019	0,0014
a/σ_{a_1}	8,96	16,2
Второй коэффициент регрессии, a_2	0,010	0,012
Стандартная ошибка σ_{a_2}	0,0048	0,0035
a/σ_{a_2}	2,14	3,50
Свободный член, b	0,46	0,40
Стандартная ошибка σ_b	0,034	0,024
b/σ_b	13,5	16,4

Анализ зависимостей минимальных месячных и максимальных месячных расходов воды от среднегодовых расходов воды показал, что устойчивые связи имеют место только для рек с очень большой озерностью (>10 %). Для этих рек коэффициенты корреляции между среднегодовым расходом воды и месячными экстремумами в большинстве случаев больше 0,7. В качестве примера на рис. 4, 5 представлены такие зависимости для реки Невы, зарегулированной Ладожским озером.

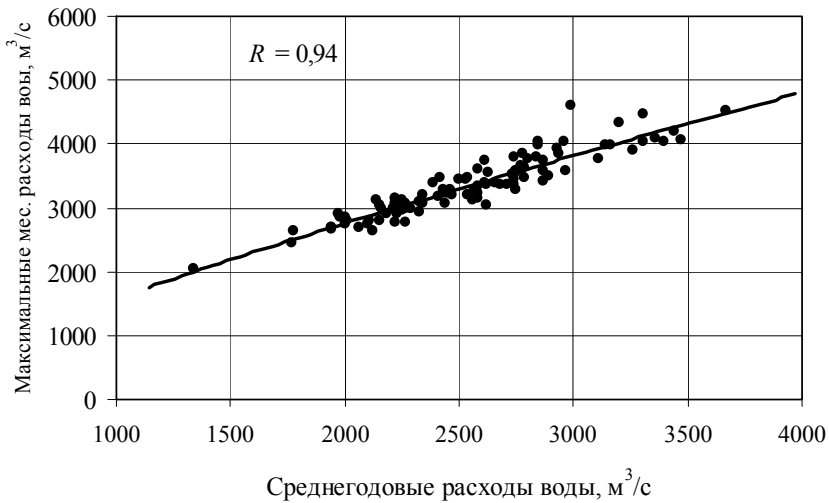


Рис. 4. Зависимость максимальных месячных расходов реки Невы от среднегодовых расходов воды (аппроксимация: $Q_{\max} = 6,20Q_{\text{ср}}^{0,80}$)

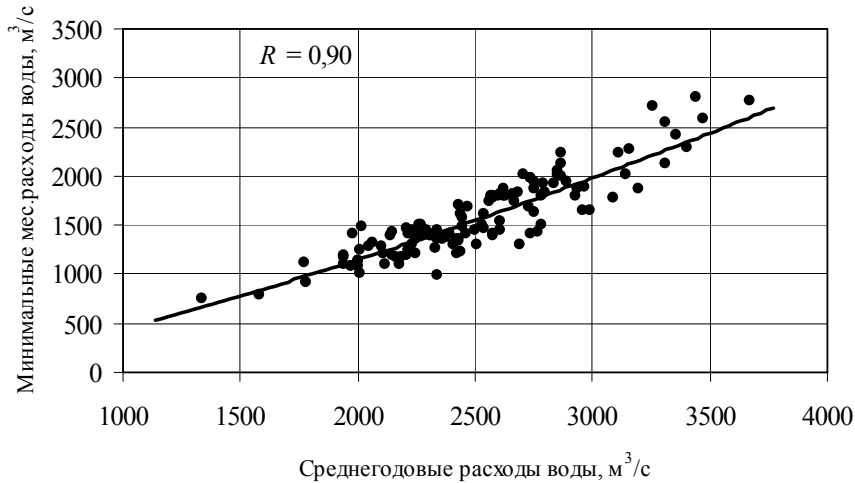


Рис. 5. Зависимость минимальных месячных расходов реки Невы от среднегодовых расходов воды (аппроксимация: $Q_{\min} = 0,040Q_{\text{ср}}^{1,34}$)

Для рек с небольшой озерностью связи минимальных месячных и максимальных месячных расходов со среднегодовыми расходами воды остаются статистически значимыми, но коэффициенты корреляции могут быть существенно ниже 0,7. Такого рода зависимости не целесообразно использовать для практических расчетов, но значения коэффициентов корреляции данных зависимостей являются достаточно информативной характеристикой инерционных свойств речных систем.

Рассмотренные показатели могут использоваться для описания резервуара медленной сработки двухемкостной стохастической модели формирования речного стока [Сикан А. В., 1991, 1994].

Данное исследование выполнялось в рамках гранта РФФИ 07-05-01037.

Литература

1. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. – М.: Стройиздат, 2004. – 72 с.
2. Сикан А.В. Математическая модель речного стока в виде нестационарного случайного процесса. Расчетные гидрологические характеристики // Межведомственный сборник научных трудов, вып. 110. – Л.: изд. ЛГМИ, 1991, с. 44–51.
3. Сикан А.В. Моделирование рядов годового стока по схеме нестационарного случайного процесса. Вопросы экологии и гидрологические расчеты // Сборник научных трудов (межведомственный), вып. 116. – СПб.: изд. РГГМИ, 1994, с. 95–99.

Ключевые слова: речная система, инерционность, коэффициент естественной зарегулированности, озерность, экстремальные расходы воды.