

- «Научные аспекты рационального использования природных ресурсов». – Брест, 1998, с.177-183.
6. Чернышев. М.К. и др. Математическое моделирование иерархических систем. – М.: Наука, 1983 – 192с.
  7. Шведовский П.В. Эколого-социальные проблемы мелиоративно-ландшафтных преобразований. Тр. Международной научно-практической конференции "Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды", Биберах-Брест-Ноттингем, 1998 – с.44-49.
- Валуев В.Е., Цилиндь В.Ю.** –

### **РАСЧЕТЫ ГОДОВОГО СТОКА МАЛЫХ РЕК БЕЛАРУСИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОДОСБОРОВ**

Рациональное использование водных ресурсов, сочетающее ресурсосберегающую хозяйственную деятельность на водосборах с экологически безопасным функционированием малых рек и временных водотоков, является объективной необходимостью. Водный режим малых рек интегрирует в себе как влияние местных физико-географических факторов, так и многообразные изменения ландшафта в результате хозяйственной деятельности на территориях водосборов. Количественная оценка водных ресурсов и качества воды в русловой сети осуществляются, в основном, с привлечением материалов наблюдений за гидрологическим режимом больших и средних рек. Однако, прямые оценки гидрологического режима малых водотоков достаточно сложны из-за отсутствия или ограниченности рядов данных по измеренным расходам воды. Кроме того, в связи с антропогенной деятельностью на водосборах происходит постоянное изменение ус-

---

*Валуев Владимир Егорович. Профессор, кандидат технических наук. Кафедра сельскохозяйственных и гидротехнических мелиораций БГТУ.*  
*Цилиндь Валерий Юзефович. Старший преподаватель кафедры инженерной экологии и химии. Начальник информационно-вычислительного центра БГТУ*

---

ловий формирования стока – нарушается однородность гидрологических рядов. Получение основных статистических параметров гидрологических характеристик ( $\bar{Q}$  – норма годового стока;  $C_v$  – коэффициент вариации,  $C_s$  – коэффициент асимметрии) по таким данным затруднено или невозможно в рамках требований П1-98 к СНиП 2.01.14-83 [1].

Нами исследованы косвенные зависимости влияния основных морфометрических характеристик малых водосборов ( $F_i$  – общая площадь водосбора, км<sup>2</sup>;  $H_i$  – средняя для водосбора абсолютная отметка (высота);  $M_i$  – залесенность –  $f_{\text{ох.лес}}$ ,  $f_{\text{заб.лес}}$ , озеренность –  $f_{\text{оз}}$ ; заболоченность –  $f_{\text{бол}}$ ,  $f_{\text{заб.зем}}$ ,  $f_{\text{заб.лес}}$ ; уклон водосбора –  $I_{\text{в.ср.}}$ ; уклон русла реки –  $I_{\text{р.ср.}}$ ; распаханность водосборной площади –  $f_{\text{расп.}}$  и др.) на формирование стока рек. Корреляционный анализ обеспеченных величин годового стока свидетельствует о том, что степень влияния морфометрических особенностей водосборов может изменяться в широком диапазоне, вплоть до перемены знака влияния (таблица 1).

Таблица 1 – Корреляционная матрица связи морфометрических характеристик водосбора со значениями годового стока различной обеспеченности

	$H$	$I_{\text{в.ср.}}$	$I_{\text{р.ср.}}$	GRS	$f_{\text{оз}}$	$f_{\text{бол}}$	$f_{\text{заб.зем}}$	$f_{\text{заб.лес}}$	$f_{\text{ох.лес}}$	$f_{\text{расп.}}$
$P_{0,01\%}$	-0,02	-0,40	-0,20	-0,46	0,33	-0,10	0,00	0,25	0,08	-0,11
$P_{0,1\%}$	0,00	-0,41	-0,18	-0,45	0,38	-0,10	-0,04	0,25	0,08	-0,11
$P_{1\%}$	0,04	-0,40	-0,15	-0,43	0,41	-0,08	-0,08	0,26	0,07	-0,09
$P_{3\%}$	0,05	-0,40	-0,13	-0,41	0,43	-0,07	-0,09	0,25	0,06	-0,08
$P_{5\%}$	0,06	-0,40	-0,12	-0,41	0,43	-0,06	-0,10	0,25	0,06	-0,08
$P_{10\%}$	0,07	-0,39	-0,11	-0,39	0,44	-0,05	-0,12	0,25	0,05	-0,06
$P_{20\%}$	0,09	-0,38	-0,09	-0,38	0,43	-0,03	-0,13	0,24	0,04	-0,05
$P_{25\%}$	0,09	-0,38	-0,08	-0,37	0,43	-0,02	-0,13	0,23	0,03	-0,04
$P_{30\%}$	0,10	-0,38	-0,07	-0,36	0,43	-0,02	-0,13	0,22	0,03	-0,03
$P_{40\%}$	0,11	-0,37	-0,06	-0,35	0,42	-0,01	-0,13	0,21	0,02	-0,01
$P_{50\%}$	0,12	-0,36	-0,05	-0,34	0,41	0,00	-0,14	0,20	0,01	0,00
$P_{60\%}$	0,13	-0,35	-0,04	-0,33	0,40	0,01	-0,14	0,18	0,00	0,02
$P_{70\%}$	0,14	-0,35	-0,03	-0,32	0,39	0,02	-0,13	0,17	-0,01	0,04

	H	в.ср.	в.ср.	GRS	f <sub>оз</sub>	f <sub>бол.</sub>	f <sub>заб.зем.</sub>	f <sub>заб.лес.</sub>	f <sub>сух.лес.</sub>	f <sub>расп.</sub>
P <sub>75%</sub>	0,15	-0,34	-0,02	-0,32	0,38	0,02	-0,13	0,16	-0,01	0,05
P <sub>80%</sub>	0,16	-0,34	-0,02	-0,31	0,38	0,03	-0,13	0,15	-0,02	0,06
P <sub>90%</sub>	0,18	-0,33	0,00	-0,30	0,35	0,04	-0,12	0,12	-0,03	0,09
P <sub>95%</sub>	0,19	-0,32	0,00	-0,30	0,33	0,04	-0,12	0,10	-0,04	0,11
P <sub>97%</sub>	0,19	-0,31	0,01	-0,30	0,32	0,05	-0,11	0,08	-0,04	0,12
P <sub>99%</sub>	0,16	-0,31	-0,01	-0,34	0,27	0,03	-0,13	0,10	0,03	0,08
P <sub>99,5%</sub>	0,18	-0,28	0,02	-0,29	0,24	0,05	-0,10	0,03	-0,05	0,16

Статистические зависимости годового стока различной обеспеченности от морфометрических характеристик малых водосборов имеют вид

$$Q_{P\%} = f(F_1, H_1, I_{в.ср.}, f_{оз}, f_{бол.}, f_{заб.зем.}, f_{заб.лес.}, f_{сух.лес.}, f_{расп.}, GRS) \quad (1)$$

в которые, кроме перечисленных выше факторов, входит GRS – густота речной сети.

Степень влияния факторов оценивалась по значениям t-критерия Стьюдента для соответствующих коэффициентов регрессии, абсолютная величина которых, в данном случае, характеризует влияние рассматриваемого параметра на величину стока. Положительные значения критерия Стьюдента говорят о том, что с его увеличением годовая сток растет, и наоборот – рост отрицательных значений t-критерия Стьюдента свидетельствует об уменьшении величин ( $Q_{P\%}$ ).

Совместный анализ экспериментальных и расчетных данных показал, что во всех гидрологических районах Беларуси решающее влияние на величину годового стока малых рек оказывают климатические факторы. Они задают общую схему распределения стока в пределах каждого гидрологического района, подтверждающую теорию широтной зональности формирования климатических факторов на исследуемой территории. Зональные закономерности изменения стока по территории Беларуси нередко нарушаются существенным влиянием местных (азональных) факторов (заболоченность, залесенность, уклон реки и др.).

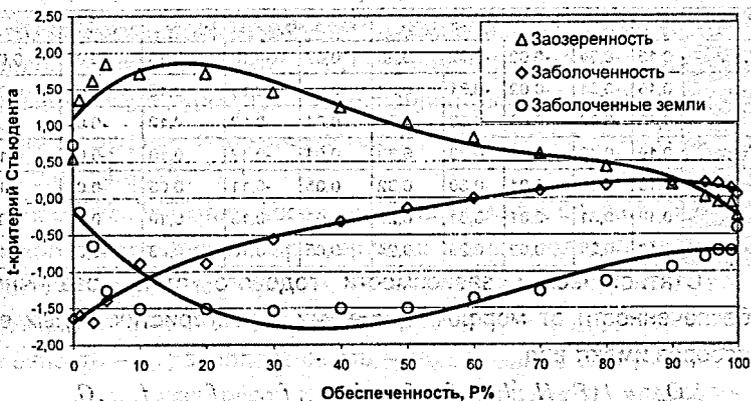


Рис. 1 – Значения t-критерия Стьюдента для параметров: "заозеренность" –  $f_{оз}$ ; "заболоченность" –  $f_{бол}$ ; "заболоченность земель" –  $f_{заб.зем.}$

Наличие на водосборной площади озер ( $f_{оз}$ ) приводит к перераспределению стока во времени за счет аккумуляции выпавших на их поверхность осадков и части стока с водосбора, а также – к увеличению потерь на испарение с водной поверхности. В результате этого влияния (рисунок 1), среднегодовой сток на водосборах малых рек уменьшается в маловодные и увеличивается во влажные годы по сравнению с водосборами без озер. Влияние озер на годовой сток становится существенным при озерности водосбора более 2...5%.

Влияние заболоченности на годовой сток неоднозначно. Оно определяется климатическими и гидрогеологическими условиями, в которых существует болото, собственно типом болот (верховые, низинные, переходные) и стадией болотообразовательного процесса, зависит от реального состояния поверхности болот, наличия на ней пространств открытой воды, а также, в целом, – от степени заболоченности водосборов на исследуемой территории. Определенным критерием при оценке влияния болот на годовой сток является, как и в случае с озерами, соотношение испарения

с суши и с водной поверхности. Годовой сток с заболоченных водосборов приблизительно равен зональному стоку.

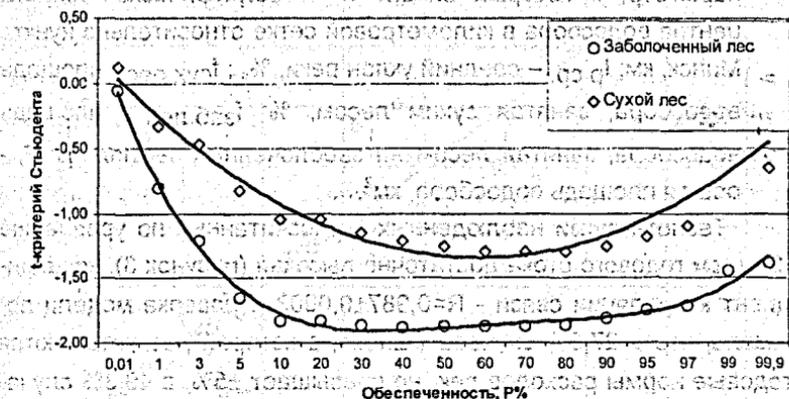


Рис. 2 — Значения t-критерия Стьюдента для параметров:

"заболоченный лес" —  $f_{\text{заб.лес}}$ ; "сухой лес" —  $f_{\text{сух.лес}}$

Влияние леса на годовой сток малых рек интегрирует вклад большого количества физико-географических факторов: общая увлажненность территории (климатические условия), рельеф, почвогрунты, гидрогеологическое строение бассейна, глубина вреза русла реки, вид, густота и возраст лесов; наряду с размером занимаемой ими площади (общей залесенностью) и пр. Исследования показали, что влияние залесенности территории (рисунок 2) минимально во влажные годы (обеспеченность 5...20%) и в засушливые (обеспеченность 95 и более процентов). Выявленная закономерность объясняется тем, что в зимний период на залесенных водосборах, медленнее идут процессы таяния снега и испарения, приводя к увеличению годового стока.

В результате комплексного исследования стокоформирующих факторов, с использованием методов математической статистики, получена математическая модель нормы годового стока малых рек Беларуси

$$\bar{Q}_r = 2,3 \cdot 10^6 \cdot \bar{X}_r^{0,668} \cdot (\varphi + 300)^{0,386} \cdot (I_{p.c.p.} + 1)^{0,193} \cdot (f_{\text{сух.лес}} + f_{\text{заб.лес}} + 1)^{0,107} \cdot F_i^{1,12} \quad (2)$$

где  $\bar{Q}_r$  - норма годового стока, м<sup>3</sup>/с;  $\bar{X}_r$  - годовая норма атмосферных осадков, мм;  $(\varphi + 300)$  - географически параметр, в который входит  $\varphi$  - географическая широта центра водосбора в километровой сетке относительно пункта Минск, км;  $I_{p.c.p.}$  - средний уклон реки, ‰;  $f_{\text{сух.лес}}$  - площадь водосбора, занятая сухим лесом, ‰;  $f_{\text{заб.лес}}$  - площадь водосбора, занятая лесом на заболоченных землях, ‰;  $F_i$  - общая площадь водосбора, км<sup>2</sup>.

Теснота связи наблюденных и рассчитанных по уравнению (2) норм годового стока достаточно высокая (рисунок 3), коэффициент корреляции связи -  $R = 0,987 \pm 0,0003$ . Проверка модели показала, что в 27,5% случаев ошибка, с которой рассчитываются годовые нормы расходов рек, не превышает  $\pm 5\%$ , в 49,3% случаев -  $\pm 10\%$ , в 65,2% случаев -  $\pm 15\%$ , в 85% случаев -  $\pm 20\%$ , и ошибки более  $\pm 25\%$  - составляют только 1,4% случаев. Таким образом, можно считать, что, предлагаемая математическая модель адекватно отражает в целом за год гидрологический режим водосборов малых рек Беларуси и позволяет рассчитывать с достаточной, для практических целей, точностью норму их годового стока. Кроме этого, использование данной модели позволяет моделировать изменения стока реки при изменении, в результате хозяйственной деятельности, морфометрических особенностей водосборов.

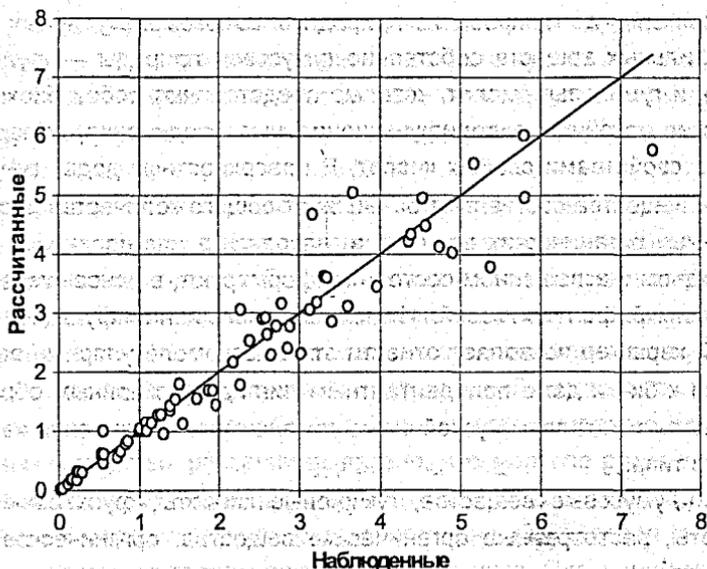


Рис. 3 – График связи наблюдаемых ( $\bar{Q}_{г.набл.}$ ) на малых реках Беларуси и рассчитанных ( $\bar{Q}_{г.расч.}$ ) по уравнению (2) норм годового стока.

### Литература

1. Пособие к строительным нормам и правилам – П1-98 к СНиП 2.01.14-83 "Определение расчетных гидрологических характеристик". Официальное издание. – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2000.- 175с.

Головач А.П. – кандидат технических наук, доцент кафедры гидрологии и гидрохимии БГТУ.

## СОСТАВ И СВОЙСТВА ГЛАВНЫХ КЛАССОВ РАСТВОРЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРИРОДНЫХ ВОД

Головач Анна Петровна. Ассистент, Кафедра инженерной экологии и химии БГТУ.