

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОДОСБОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ НОРМ ГОДОВОГО СТОКА МАЛЫХ РЕК

В.Ю. Цилиндь

Учреждение образования “Брестский государственный технический университет”,
г. Брест, Беларусь

The problems of modeling annual norm of small rivers flow of Belarus with the account of their morphometrical peculiarities are considered.

Малые реки это не только источник водоснабжения, но и один из компонентов географического ландшафта, имеющий большое экологическое значение. В силу небольших размеров водосборных площадей они особенно чувствительны к любому виду хозяйственной деятельности на водосборах, которая отражается на гидрологическом, гидрохимическом и санитарно-гигиеническом режиме, состоянии водных экосистем. Водный режим малых рек интегрирует влияние местных физико-географических факторов, и в нем существенно отражаются многообразные изменения ландшафта в результате хозяйственной деятельности на водосборах. Поэтому, рациональное сочетание хозяйственной деятельности на территориях водосборов с экологически безопасным функционированием малых рек и временных водотоков является объективной необходимостью.

В настоящее время методика определения расчетных характеристик годового стока малых рек при отсутствии или недостаточности данных наблюдений разработана недостаточно. Согласно «Указаниям по определению расчетных гидрологических характеристик» (СН 435-72) норма стока определяется по картам изолиний. Однако эти карты позволяют определить лишь зональные величины стока без учета влияния на них морфометрических особенностей водосборов. Существующие рекомендации по учету влияния на сток этих факторов носят приближенный характер и не могут быть использованы для инженерных расчетов. Противоречивость выводов о влиянии морфометрических особенностей водосборов (залесенность, заболоченность, распаханность и т. д.) на сток рек обусловлена тем, что попытки численной оценки их влияния проводились, в основном, на норму годового стока в которой уже интегрировано все многообразие их проявления.

Целью данного исследования является численная оценка влияния морфометрических особенностей водосборов на гидрологический режим рек. Определения параметров и компонентов расчетных региональных формул для вычисления основных гидрологических характеристик годового стока рек, его внутригодового распределения необходимо для получения более точных данных о стоке неисследованных рек, прогнозирования и моделирования изменения гидрологического режима рек.

Для оценки влияния характеристик водосборов на степень водности были построены регрессионные модели. В качестве численного показателя для оценки влияния использовался t-критерий Стьюдента. Величина его абсолютного значения, в нашем случае, характеризует степень влияния рассматриваемого параметра на величину стока. Причем, положительные значения критерия Стьюдента говорят о том, что с его увеличением сток растет, и наоборот - рост отрицательных значений t-критерия Стьюдента свидетельствует об уменьшении стока.

На рисунке 1 представлен график влияния болот, заболоченных земель и густоты речной сети на водность рек. Как видно из графика, болота являются фактором стабилизации стока. В многоводные годы их влияние максимально и направленно на умень-

шение стока рек. В сухие наоборот, наличие на водосборной площади болот ведет к некоторому увеличению стока. Влияние болот 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.

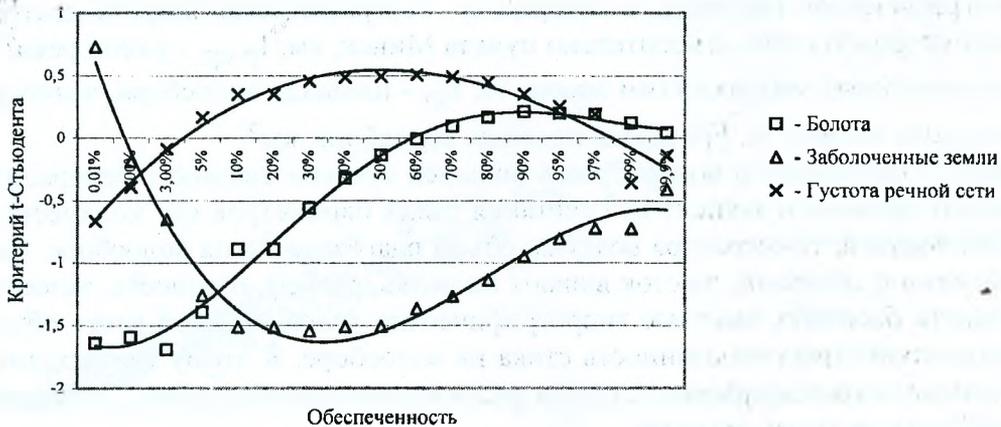


Рисунок 1. Значения t-критерия Стьюдента для параметров "Болота", "Заболоченные земли", "Густота речной сети".

Влияние заболоченных земель имеет отрицательный знак и максимально в годы с 30-40% обеспеченности понижаясь как с уменьшением, так и с увеличением водности года.

Влияние густоты речной сети максимально-положительно в годы 50% обеспеченности снижаясь как в мало- так и в многоводные годы.

Исследования показали (рисунок 2), что влияние залесенности территории минимально во влажные годы (обеспеченность менее 20%) и в засушливые (обеспеченность 95% и более). Выявленная закономерность объясняется тем, что в зимний период на залесенных водосборах, медленнее идут процессы таяния снега и испарения, приводя к увеличению годового стока.

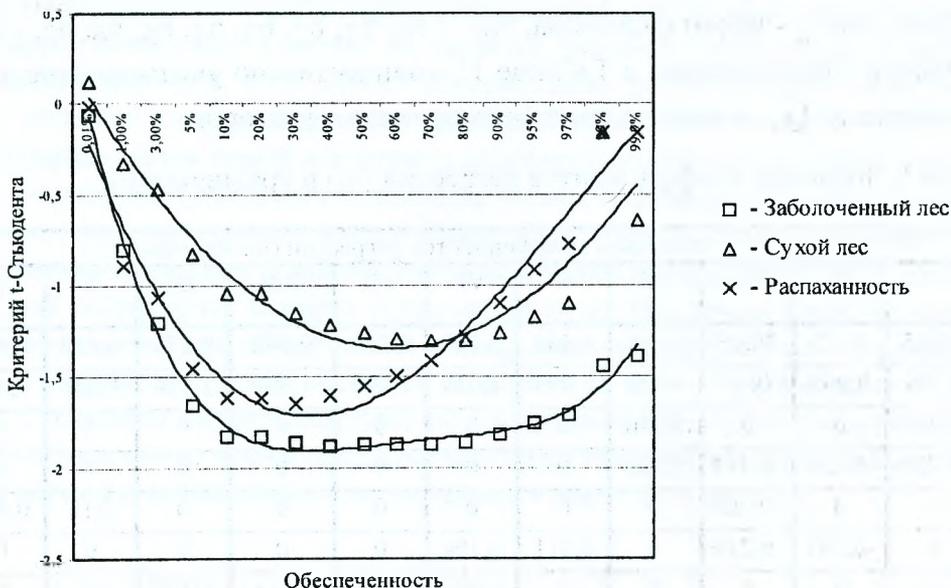


Рисунок 2. Значения t-критерия Стьюдента для параметров "Заболоченный лес" и "Сухой лес".

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

$$\bar{Q}_r = 2.3 \cdot 10^6 \cdot \bar{X}_r^{0.668} \cdot (\varphi + 300)^{0.386} \cdot (I_{p.c.} + 1)^{0.193} \cdot (f_{3л} + f_{сл} + 1)^{0.107} \cdot F_i^{1.12}, \quad (1)$$

где \bar{Q}_r - норма годового стока, м³/с; \bar{X}_r - годовая норма атмосферных осадков, мм; $(\varphi + 300)$ - географический параметр, в котором φ - географическая широта центра водосбора в километровой сетке относительно пункта Минск, км; $I_{p.c.}$ - уклон реки, %; $f_{сл}$ - площадь водосбора, занятая сухим лесом, %; $f_{3л}$ - площадь водосбора, занятая лесом на заболоченных землях, %; F_i - общая площадь водосбора, км².

Влияние особенностей водосборов в большей степени связано с перераспределением стока во времени и зависит от сочетания таких параметров как количество и интенсивность осадков, температура воздуха, объем влагозапасов на водосборе. Наряду с климатическими факторами, на сток влияют площадь, рельеф, озерность, залесенность, заболоченность бассейна, местные гидрографические условия, что в итоге обуславливает естественную зарегулированность стока на водосборе. К этому необходимо добавить возможность трансформации стока в рассматриваемом бассейне в результате хозяйственной деятельности человека.

Исследование влияния параметров водосбора на *внутригодовое распределение стока* позволило определить круг факторов, статистически значимо воздействующих на этот сложный природный процесс, а также найти оптимальный вид физико-математической модели стока. В общем виде, модель месячного среднего многолетнего стока, в зависимости от определяющих его факторов, можно представить как:

$$\bar{Q}_{m,i} = b_0 \cdot \bar{Q}_r^{b_1} \cdot F_i^{b_2} \cdot \varphi^{b_3} \cdot I_p^{b_4} \cdot f^{b_5} \cdot f_{л}^{b_6} \cdot I_{\%}^{b_7}, \quad (2)$$

где $\bar{Q}_{m,i}$ - месячная величина среднего многолетнего стока, м³/с; \bar{Q}_r - значение среднего многолетнего годового стока, м³/с; F_i - площадь водосбора для расчетного створа, км²; φ - координата географической широты центра водосбора относительно пункта Минск, км; I_p - уклон реки %; $f_{л}$ - общая залесенность водосбора ($f_{сл} + f_{3л}$), %; f_3 - заболоченность водосбора, %; I_B - уклон водосбора, ‰; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$, - коэффициенты регрессии (представлены в Таблице 1), количественно учитывающие в модели влияние на величину $\bar{Q}_{m,i}$ основных стокоформирующих факторов.

Таблица 1. Значения коэффициентов регрессии (b_j) в уравнении(6)

Параметры уравнения	Величины коэффициентов регрессии (по-месячно)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
b_0	11,65	8,75	39,68	0,145	0,445	0,340	0,314	0,246	0,271	0,439	0,999	1,138
b_1	1,359	0,999	0,88	0,619	1,097	1,039	1,068	1,098	1,174	1,146	1,095	1,083
b_2	-0,305	0	0	0,346	0	0	0	0	0	0	0	0
b_3	-0,288	-0,431	-0,414	0,265	0	0	0	0	0	0	0	-0,096
b_4	0	0	-0,167	0	0	0	0	0	0	0,18	0,099	0
b_5	0	-0,107	-0,219	0	0,211	0,104	0	0	0	0	0	0
b_6	0	0	0	0	0	-0,073	-0,086	-0,11	-0,087	0	0	0
b_7	0	0	0	0	0	0,092	0,19	0,259	0,216	0	0	0
R^2	0,94	0,91	0,94	0,94	0,96	0,95	0,95	0,93	0,94	0,94	0,96	0,97

Предлагаемые методики и физико-математические модели определения нормы годового стока малых рек Беларуси, его внутригодового распределения при отсутствии данных гидрометрических наблюдений всесторонне проверены, получаемые по ним результаты близки к экспериментальным, что позволяет рекомендовать их для практического использования (рисунок 3).

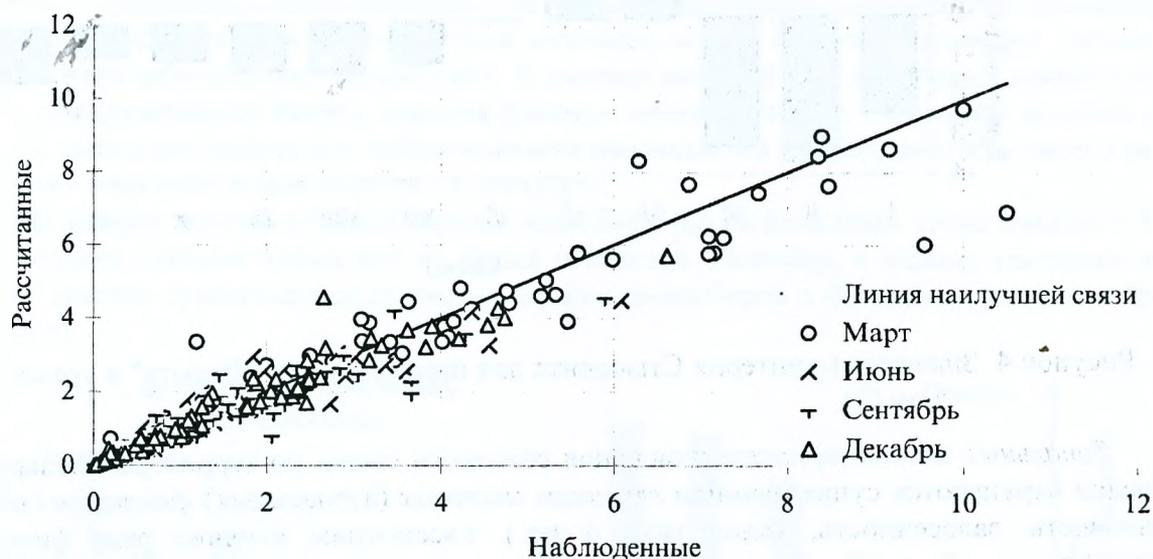


Рисунок 3. График связи наблюдаемых $(\bar{Q}_{mi})_{\text{набл.}}$ на малых реках Беларуси и рассчитанных $(\bar{Q}_{mi})_{\text{расч.}}$ по уравнению (2) месячных норм годового стока.

В результате статистического анализа данных по водосборам малых рек Беларуси, получены зависимости, которые позволили комплексно проанализировать имеющуюся информацию за различные расчетные интервалы, давать количественную и качественную оценку влияния параметров расчетного уравнения на результирующий сток. Для этой цели, в настоящей работе использован t-критерий Стьюдента.

Как показал анализ гидрографов стока малых рек, во всех гидрологических районах Беларуси решающее влияние на характер распределения стока в году оказывают климатические факторы. Они задают общую схему распределения стока малых рек в пределах каждого гидрологического района. Наибольшее влияние широтного параметра (φ) проявляется зимой и в период весеннего половодья. Высокие отрицательные значения t-критерия Стьюдента в декабре, январе и феврале (рисунок 4) свидетельствуют о том, что, с продвижением на север, доля зимнего стока уменьшается. Это вызвано частыми оттепелями в южных районах и накоплением снежных запасов на севере исследуемой территории. В марте сохраняется та же тенденция влияния широтного параметра, однако, она уже обусловлена асинхронностью таяния снега. Характер влияния широтного параметра резко меняется в апреле и мае. Положительные значения t-критерия Стьюдента свидетельствуют об увеличении стока при продвижении с юга на север, что обусловлено всеми предшествующими процессами накопления снеготазпасов в зимний период и асинхронностью их таяния в марте (рисунок 3).

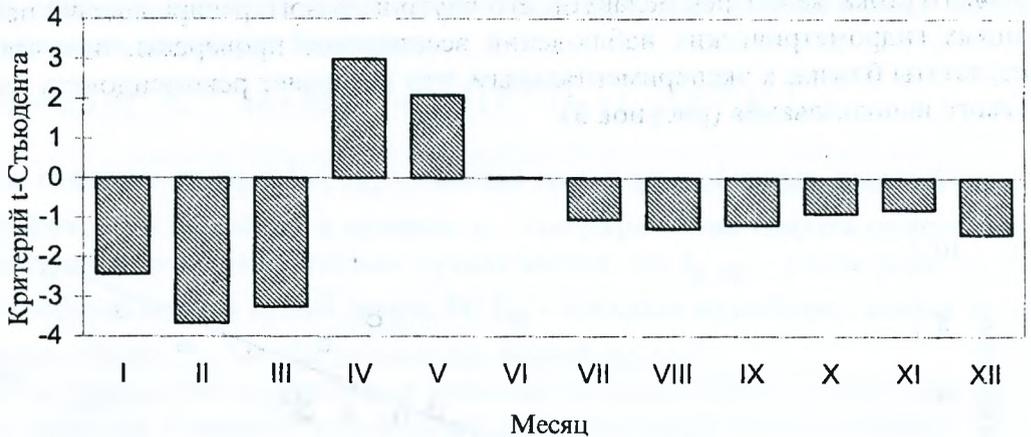


Рисунок 4. Значения t-критерия Стьюдента для параметра - φ "Широта" в уравнении (2).

Зональные закономерности изменения сезонного стока по территории Беларуси нередко нарушаются существенным влиянием местных (азональных) факторов (заболоченность, залесенность, уклон реки и т.д.). Рассмотрим влияние ряда физико-географических факторов на внутригодовой режим стока малых рек.

Регулирующее влияние леса на внутригодовой режим расходов малых рек наблюдается почти во всех гидрологических районах Беларуси, хотя оно неоднозначно в различные сезоны (рисунок 5). С увеличением степени залесенности водосборов $f_{л}$, доля весеннего стока в его годовой величине уменьшается, а летнего - увеличивается. Что касается зимнего стока, то влияние залесенности водосборов на его величину практически незаметно, хотя, в феврале - залесенность вызывает некоторое уменьшение стока. В марте залесенность максимально снижает сток. Это вызвано асинхронностью таяния снега на открытых местах и в лесу. Снег в лесу тает медленнее, процесс снеготаяния затягивается и уже в мае - прослеживается значительное увеличение стока, которое распространяется на июнь, хотя, и в меньшей степени.

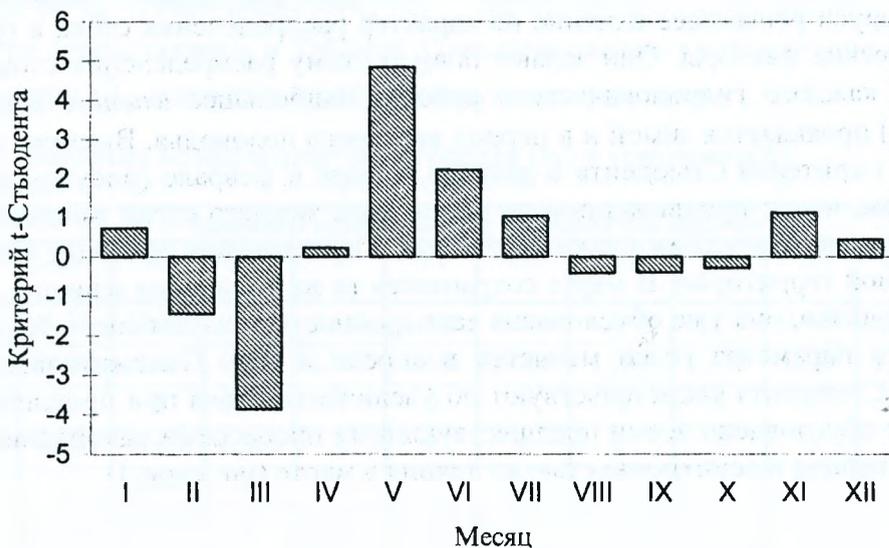


Рисунок 5. Значения t-критерия Стьюдента для параметра - $f_{л}$ "Залесенность" в уравнении (2).

Кроме того, нами рассмотрены связи заболоченности (f_3) с режимом выпадения атмосферных осадков (\bar{X}_{Mi}), с уклоном водосборной площади (I_B), учтено влияние заболоченности (f_3) на внутригодовое распределение стока и т. п.

В условиях исследуемой территории, заболоченность слабо сказывается на внутригодовом распределении стока. Сток с заболоченных водосборов, по сравнению со стоком с суходолов, менее выражен. На более заболоченных водосборах суммарные величины среднего многолетнего стока *весеннего сезона* больше, а *летнего* - меньше, чем на мало заболоченных водосборах. В средних многолетних величинах зимнего стока не обнаруживается явного влияния фактора заболоченности. *Снижение* величин *годового стока* под действием заболоченности наблюдается в июле, достигая своего максимума - в августе, и замедляется - в сентябре.

В зимние месяцы влияние уклона водосбора (I_B) на величины стока связано с более полным отводом талых вод во время оттепелей. Поэтому, в период весеннего паводка заметно существенное снижение стока с водосборов с большими уклонами (рисунок б).

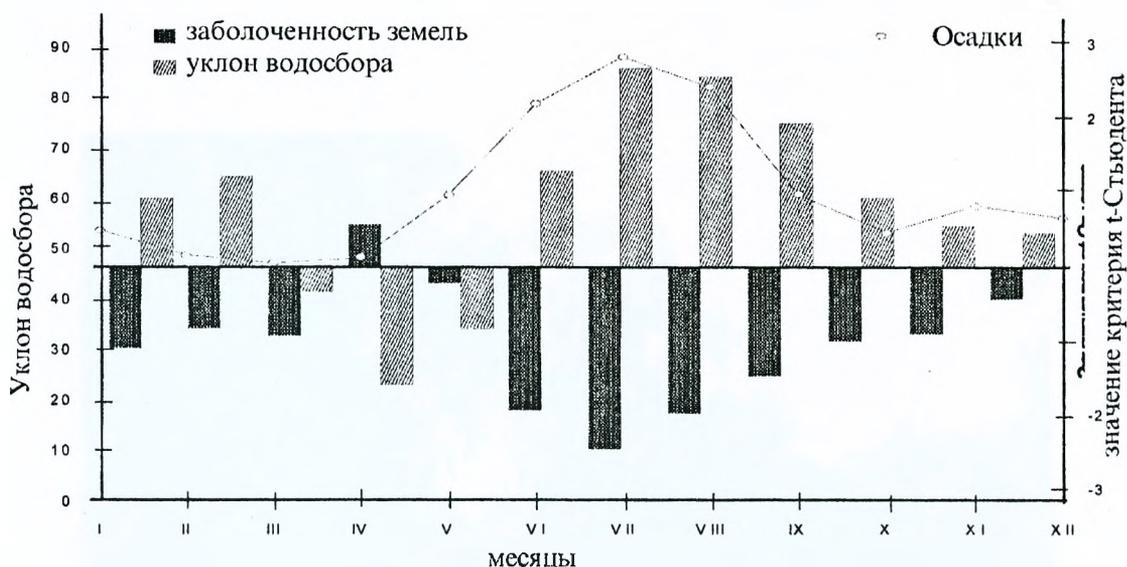


Рисунок б. График связи норм атмосферных осадков (\bar{X}_{i}) со значениями t-критерия Стьюдента параметров - I_B "Уклон водосбора" и - $f_{3.з}$. "Заболоченность земель".

Кроме этого, уклон водосбора повышает сток за счет более интенсивного отвода воды в русловую сеть, снижая, тем самым, ресурсы влаги, участвующие в процессе суммарного испарения. Это явление характерно для летних месяцев, когда теплоэнергетические ресурсы климата максимальные. Начиная с июня, влияние уклона на сток постепенно увеличивается, достигая максимума в августе, и снижается к сентябрю. Это хорошо коррелирует с гидрографом атмосферных осадков, которые, в рассматриваемые месяцы, в основном, и формируют водный режим малых рек.

Данные модели могут быть использованы как для определения норм годового стока малых рек, так и для моделирования воздействий изменения стока в результате хозяйственной деятельности на водосборах.