

УДК 556.00124

Белый А.В., к.геогр.н.,

Вологодский государственный технический университет, Россия

Гопченко Е.Д., д.геогр.н.,

Одесский государственный экологический университет, Украина

ВРЕМЯ РУСЛОВОГО ДОБЕГАНИЯ В ПЕРИОД МАКСИМАЛЬНОГО ПАВОДОЧНОГО СТОКА НА РЕКАХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ РОССИИ И ЕГО РАСЧЕТ

Изложены результаты научно-исследовательских работ по анализу процессов паводочного стока на реках северо-востока Нечерноземной зоны России, включающей Архангельскую, Вологодскую области и Коми-Пермяцкий АО. Рассмотрены подходы по определению времени руслового добегания, как одного из важнейших параметров формул, используемых при расчетах максимальных расходов дождевых паводков и весенних половодий. Установлены и обоснованы, с использованием материалов наблюдений на 216 гидрологических постах, параметры региональной формулы для расчета скоростей руслового добегания в период прохождения паводков редкой повторяемости.

Ключевые слова: максимальный паводочный сток, скорость руслового добегания, реки России.

Введение. Регулирующее влияние водотоков на максимальные расходы воды как весенних половодий, так и дождевых паводков, в значительной степени обусловлено продолжительностью времени руслового добегания. Величина этого параметра многих расчетных формул зависит от шероховатости русла, его формы и уклона, а также морфометрических особенностей русла и поймы конкретной реки. Обычно время руслового добегания определяют через соотношение

$$t_r = L / V_{\partial} , \quad (1)$$

где L – длина водотока от истока до расчетного створа, км;

V_{∂} – скорость добегания волны паводка, км/час.

Скорость добегания отражает достаточно сложный гидравлический процесс, подчиняющийся законам неустановившегося движения открытых потоков. Поскольку при этом взаимодействуют изменяющиеся во времени и пространстве трудно учитываемые комплексные факторы, получить значение V_{∂} с удовлетворительной точностью на основе существующих теоретических закономерностей практически невозможно.

Объекты и исходные материалы исследования. Целью настоящей работы является разработка региональной расчетной схемы, позволяющей получать значение времени руслового добегания в период максимального паводочного стока на реках региона, административно включающего Вологодскую, Архангельскую области и Коми АО.

Использованы кадастровые данные гидрологических наблюдений по 216 створам рек указанного региона.

Методы исследования. В гидрологии обычно используется ряд расчетных зависимостей для скоростей добегания, полученных либо обратным путем из того или иного уравнения, либо обоснованных фактическими данными о скоростях течения Н.В.Лалыкин [5], анализируя материалы гидрометрических наблюдений и гидравлические характеристики водотоков, установил, что скорости добегания, определяемые по продолжительности перемещения соответственных уровней паводковых волн, близки к скоростям течения в расчетных створах.

Здесь следует указать на следующее обстоятельство. В реальных условиях скорость движения волны паводка превышает среднюю скорость течения воды в русле. Поскольку гидрологические створы для измерения расходов воды обустроиваются, как правило, на благоприятных в гидравлическом отношении участках, измеренные при этом скорости оказываются несколько большими, чем на транзитных участках и близкими к скоростям движения паводочных волн.

В основе многих расчетных формул добегания лежит известное соотношение между скоростью течения V и гидравлическими элементами русла

$$V = n^{-1} I^x H^z, \quad (2)$$

где n – коэффициент шероховатости;

I – уклон русла;

H – средняя глубина потока;

x и z – эмпирические показатели, отражают особенности русла.

А.Н.Бефани [1], исходя из установленных связей между гидравлическими характеристиками водного потока и русла, предложил несколько иной расчетный вариант формулы скорости добегания

$$V = \alpha I^n Q^{m_1}, \quad (3)$$

где α – скоростной коэффициент;

Q – расход воды в расчетном створе;

n и m_1 – гидравлические показатели.

Для расчета скоростей добегания по (3) необходимо располагать соответствующими расходами воды, что на практике зачастую невозможно. Рассмотрев зависимости вида $V=f(Q)$, А.Н.Бефани установил, что подобные связи между расходами и глубинами неоднотипны в пределах всего диапазона расходов в расчетном створе. Монотонное возрастание кривой нарушается при выходе воды на пойму, когда резко изменяются гидравлические условия потока.

В исследовании Н.В.Лалыкина [5] установлено, что после некоторого критического расхода $Q_{кр}$, наблюдаемого в момент выхода воды на пойму, дальнейший рост расходов не сопровождается соответствующим приращением средней скорости потока. В отдельных случаях отмечено даже некоторое уменьшение последних. Этот факт позволил А.Г.Иваненко [4] разработать для района Карпат региональную формулу для расчета скоростей добегания вида

$$V_{\partial} = b Q_m^{0,33} I^{0,50}, \quad (4)$$

где V – скорость добегания пика паводка, км/час;

Q_m – максимальный расход, м³/с;

I – средний уклон русла, %;

b – параметр, учитывающий форму поперечного сечения русла и зависящий от размеров бассейна реки.

При этом установлено, что ($Q_{кр}$) зависит от площади бассейна (F) и вычисляется в [4] по эмпирической зависимости $Q_{кр} = 0,26F^{0,96}$. Автор этой зависимости рекомендует в (4) вместо рассчитываемого параметра $Q_{кр}$ использовать непосредственно площадь водосбора до замыкающего створа. В этом случае формула расчета скоростей добегания принимает вид

$$V_{\partial} = \alpha I^m F^n. \quad (5)$$

Этот же методический подход использован в аналогичных работах по рекам Белоруссии и Колымы [2,3].

Результаты исследования и их анализ. Расчет и обобщение эмпирических параметров формулы (5) возможен двумя путями – графоаналитическим и с применением методов математической статистики. В частности, в [3] авторы использовали в метод множественной линейной корреляции. В настоящей работе использован первый подход, заключающийся в последовательном анализе составляющих формулы (5).

Первоначальный анализ зависимостей средней скорости течения от соответствующего расхода воды в настоящей работе показал, что для большинства рек исследуемого региона характерно замедление приращения скорости с ростом расхода и с приближением уровней к отметкам выхода на пойму. При уровнях воды, близких к отметкам поймы, скорости течения либо остаются постоянными, либо несколько уменьшаются, что дает возможность легко идентифицировать и использовать в анализе $Q_{кр}$ (рис.1).

В случае наличия пойменных террас, что присуще многим рекам исследуемого региона, на кривых $V=f(Q)$ может наблюдаться несколько чередующихся участков подъема-спада. В этом случае отбиралось значение скорости, соответствующее максимальному расходу однопроцентной обеспеченности.

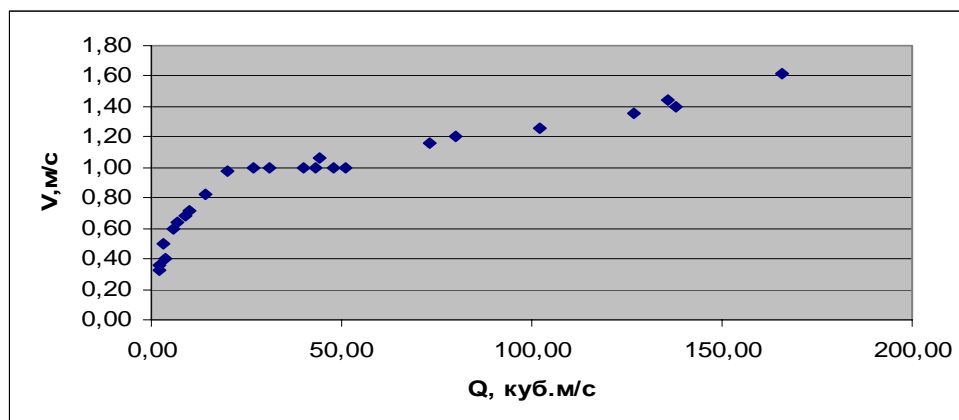


Рис.1 - Зависимость средней скорости течения от расхода воды, р.Стрельна –д.Анисимово.

Полученные таким образом скорости течения наносились на график связи (рис.2), соответствующий зависимости

$$V = aF^m. \quad (6)$$

Несмотря на значительный разброс точек в корреляционном поле в силу многофакторности причинно-следственной связи, видно, что соотношение $V=f(F)$ ведет себя относительно устойчиво для выделенных градаций средневзвешенных уклонов. Семейство кривых $V=f(Q, F)$, показанное на рис 2., имеет одинаковый наклон к оси абсцисс, что позволило установить значение параметра m . Для рек бассейнов Северной Двины, Печоры и Онеги он составил 0,25.

Несмотря на значительный разброс точек в корреляционном поле в силу многофакторности причинно-следственной связи, видно, что соотношение $V=f(F)$

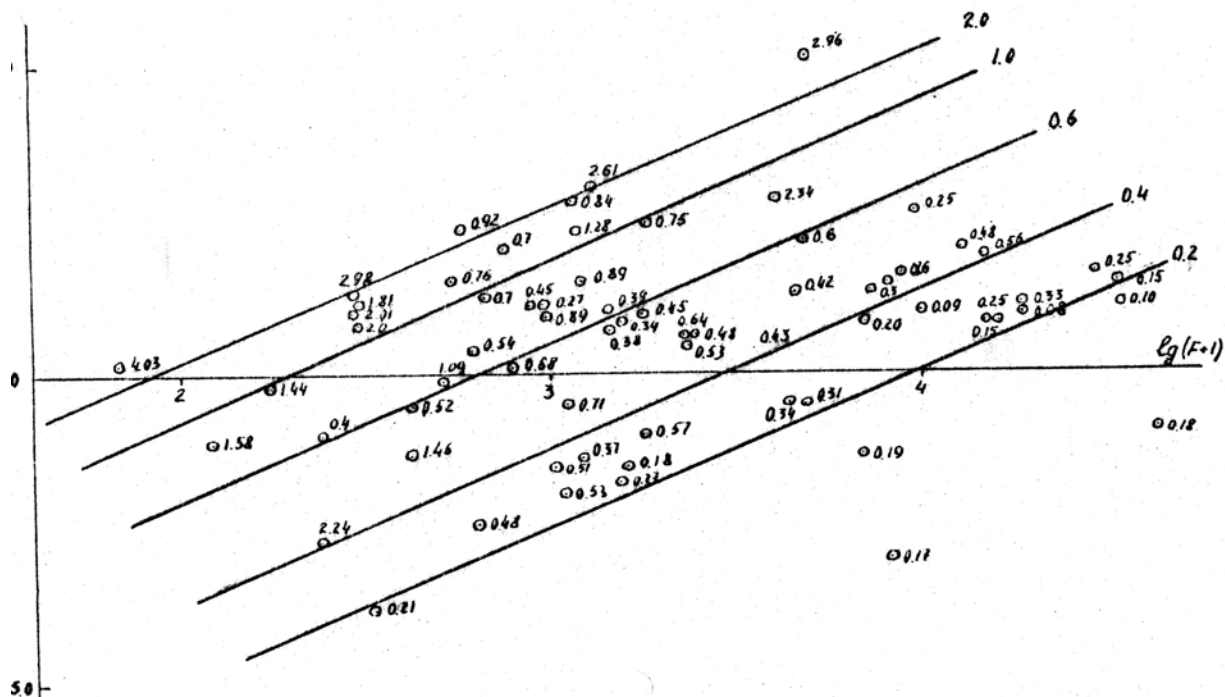


Рис.2 - Зависимость скоростей течения (V), соответствующих уровням выхода воды на пойму от площади водосбора рек (F).

ведет себя относительно устойчиво для выделенных градаций средневзвешенных уклонов. Семейство кривых $V=f(Q, F)$, показанное на рис 2., имеет одинаковый наклон к оси абсцисс, что позволило установить значение параметра m . Для рек бассейнов Северной Двины, Печоры и Онеги он составил 0,25.

Чтобы получить величину параметра a , зависящего, как установлено, в основном от уклона реки, необходимо исключить влияние площади водосбора, составив графическую корреляцию вида (рис.3)

$$a = f(I) = \alpha I^n, \tag{7}$$

где I – средневзвешенный уклон реки;
 n и α - гидравлические параметры.

Зависимость (7) также обнаруживает большой разброс точек, связанный с недоучетом множества факторов, приводящих к замедлению средних скоростей течения. Однако можно воспользоваться научным фактом, установленным Н.В.Лалыкиным, что нижняя огибающая поля точек зависимости $\lg a=f(\lg I)$ описывает изменение параметра a для случаев идеальных, т.е. в отсутствие гидравлического сопротивления, иначе для случаев скоростей добегаания.

Потенцируя выражение уравнения для этой кривой, получаем искомые гидравлические параметры: $\alpha = 0,14, n = 0,46$.

Вывод. Региональная формула скоростей добегаания рекомендуется для практического использования на реках северо-восточного Нечерноземья, имея вид

$$V_0 = 0,14 I^{0,46} F^{0,25} \text{ м/с}, \tag{8}$$

где I – средневзвешенный уклон реки, ‰,
 F - площадь водосбора реки, км².

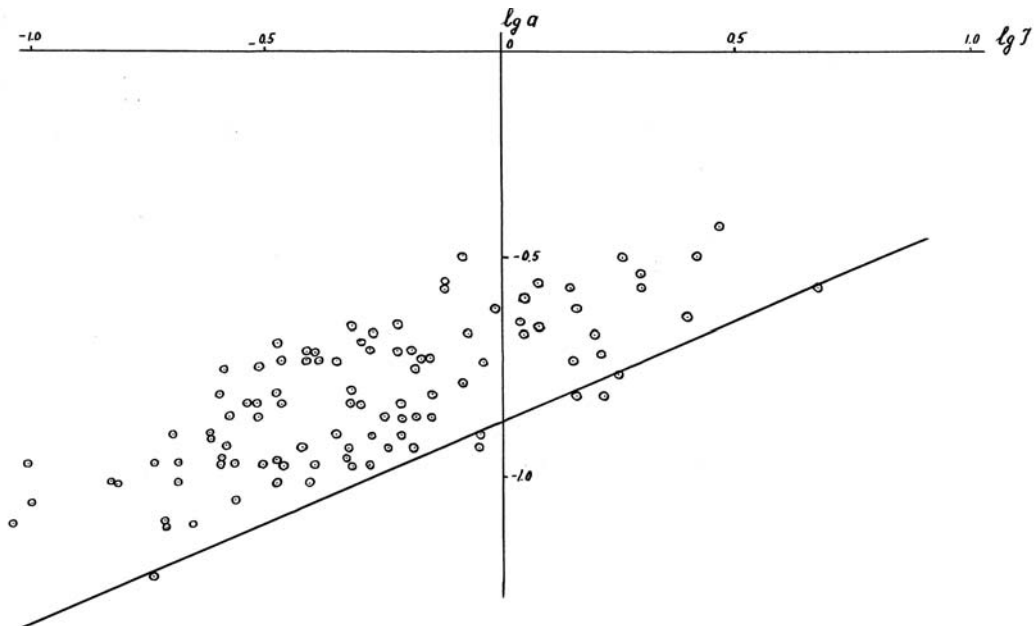


Рис.3 - Зависимость параметра a от средневзвешенного уклона I ‰.

Список литературы

1. Бефани А.Н. Расчет добегаия речных паводков// Метеорология, климатология и гидрология: респ. межвед. научн.сб.,вып.17,1981/Киев-Одесса, «Вища школа», 1981, с.3-10.
2. Гопченко Е.Д.О расчете скоростей руслового добегаия на горных реках северо-востока СССР// Метеорология, климатология и гидрология: респ. межвед. научн.сб.,вып.5,1969/Киев-Одесса, «Вища школа», 1969, с.3-7.
3. Зиновьева Л.Е.,Поляков М.М. Расчет скоростей добегаия на реках Белоруссии// Метеорология, климатология и гидрология: респ. межвед. научн.сб.,вып.17,1981/Киев-Одесса, «Вища школа», 1981, с.21-26.
4. Иваненко А.Г. Исследование скоростей добегаия паводков на реках Закарпатской области// в сб.:Труды ОГМИ,1961, вып.24,1961,с.60-69
5. Лалыкин Н.В. О расчете скоростей добегаия //в сб.: Труды ОГМИ, 1958, вып.15/Л.,ГМИЗ,1958.с.73-87.

Channel travel time and calculation during the period of maximal flood of Russia north-eastern European part. An. Bely, Evg. Gopchenko

Formula for calculation of channel travel speeds during the seldom recurrence rain flood period in the north European area of Russia was developed. The basis this of equation is the dependence between the channel travel speeds, square of columbine and river slope. Numerical values of empirical hydraulic parameters of this formula are proved by observation data from 216 hydrometric stations.

Keywords: maximal flood, channel travel time, rivers of Russia.

Час руслового добігання в період максимального паводочного стоку на річках північно-східного Нечорнозем'я Росії і його розрахунок. Бєлий А.В., Гопченко Є.Д.

Розроблена формула для швидкостей руслового добігання в період проходження дощових паводків рідкісної повторюваності на півночі європейської Росії. В основу управління встановлена залежність між швидкістю добігання і площею водозбору і ухилом річки. Отримані чисельні значення емпіричних гідравлічних параметрів формули обґрунтовані даними спостережень на 216 гідрометричних постах регіону.

Ключові слова: максимальний паводковий стік, час руслового добігання, річки Росії.