

З.Д. Копалиани, М.М. Жук

**О ПЕРСПЕКТИВАХ СОЗДАНИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК НЕИЗУЧЕННЫХ РЕК
НА ОСНОВЕ ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ**

Z.D. Kopaliani, M.M. Zhuk

**ON THE PROSPECT OF DESIGNING OF THE ASSESSMENT
PROCEDURE FOR UNGAGED RIVERS HYDROLOGICAL
AND HYDRAULIC CHARACTERISTICS BASED
ON THE HYDROMORPHOLOGICAL RELATIONSHIPS**

Предложен метод оценки гидрологических и гидравлических характеристик неизученных рек на основе гидроморфологических зависимостей.

Система полученных эмпирических формул позволяет выполнить приближенные расчеты гидрологических, гидравлических и русловых характеристик свободно меандрирующих рек при наличии лишь крупномасштабной карты для надежного определения типа руслового процесса и ширины реки в бровках русла.

A procedure for assessment of hydrological and hydraulic characteristics of unstudied rivers based on hydromorphological relationships is proposed.

The set of established formulae makes it possible to calculate approximately hydrological and Hydraulic characteristics of the unstudied meandering rivers using large scale topographic maps for determining of the river morphological type and its bankfull width.

В современной гидрологии наиболее надежно гидрологические расчеты выполняются для тех рек, где имеются длительные, стационарные и однородные ряды стандартных гидрологических наблюдений.

В России насчитывается более 2,5 млн больших, средних и малых рек. Количество действующих в настоящее время наблюдательных постов Росгидромета, ведущих гидрологические наблюдения на реках России, составляет 2732. Сток воды измеряется на 2201 из них. Количество постов на каждой реке обычно варьирует от 1 – 3 на малых реках до 15 на больших. Если допустить, что на одну реку, где ведутся наблюдения, в среднем приходится 5 постов, то получим, что измерениями характеристик стока воды охвачено не более 450 рек России, что составляет всего 0,02 % от их общего числа. Такая же картина наблюдается и по всему миру, где насчитывается более 20 млн рек. Таким образом, преобладающее большинство рек не охвачено данными гидрологических наблюдений.

Для расчетов характеристик речного стока в конкретных створах рек при недостатке или полном отсутствии данных гидрометеорологических наблю-

дений в гидрологии традиционно используются методы водного баланса, гидрологической аналогии, эмпирические и полуэмпирические формулы и математическое моделирование, т.е. методы основанные на использовании сведений о характеристиках речных водосборов и данных наблюдений за метеорологическими величинами. Эти методы не отличаются высокой точностью.

В качестве примера в табл. 1 представлены результаты расчетов, выполненных в ГГИ С.М. Тумановской различными методами в связи с аварией на плотине Тирлянского водохранилища на р. Тирляне на Урале.

Расчетные максимальные расходы воды дождевых паводков на р. Тирляне – в створе Тирлянского водохранилища, м³/с ($F = 523 \text{ км}^2$)

Вероятность превышения	Организация			
	Уралводоканал-проект	Бельское ВБУ	Башкир гипроводхоз	ГГИ
0,1	343	282	282	620
1	300	187	187	482* 274+
5	212	123	123	286

Примечания: * – с использованием реки-аналога Инзер-Азово;
+ – с использованием реки-аналога М. Инзер-Айгир.

Анализ данных этой таблицы показывает, что использование различных методических подходов и разных рек-аналогов в расчетах традиционными методами приводит к значительным расхождениям расчетных значений максимумов различной обеспеченности.

Вместе с отмеченным известно, что в ходе осуществления рекой своей основной природной функции – дренировать речной водосбор и транспортировать в виде наносов вместе с водой продукты разрушения горных пород и эрозии речного водосбора происходит взаимоприспособление русла (его размеров, морфологического строения, пропускной и транспортирующей способности) и гидрологического (гидравлического) режима реки. Это взаимоприспособление заключается в формировании и функционировании определенной схемы самоорганизации и саморегулирования транспорта рекой воды и наносов, внешне проявляющихся в конкретном морфологическом строении (типе, механизме функционирования) речного русла и темпах его плановых и высотных переформирований (деформаций), зависящих от конкретного сочетания независимых факторов, определяющих русловой процесс: характеристик стока воды, характеристик стока наносов и ограничивающих условий [Кондратьев и др., 1982].

Следовательно, размеры речных русел (площадь поперечного сечения, ширина, глубина, уклон, шаг излучин, коэффициент извилистости, размеры и шаг русловых форм и др.) являются зависимыми величинами и отражают результат приспособления русла реки к пропуску некоторого «руслоформирующего» (доминирующего, эквивалентного, эффективного, руслонапол-

няющего) диапазона расходов воды, формирующего основной облик и размеры русла и однозначно связаны с этим расходом, имеющим, по-видимому, фиксированные вероятности превышения для различных типов руслового процесса, типов водного питания и размера реки.

Связи между геометрическими и гидравлическими характеристиками русла описываются морфометрическими, гидроморфометрическими и гидроморфологическими зависимостями, широко распространенными в литературе [Антроповский, 1969; Великанов, 1958; Глушков, 1925; Гришаниа, 1979; Копалиани, Ромашин, 1970; Лелявский, 1961; Ромашин, 1969; Thorne et al., 1977; Blench, 1973; Chitale, 1970; Kopaliani, 1988; Lacey, 1930; Leopold, Wolman, 1957; Manual..., 2003; Wahl, 1984; Wharton et al., 1989; Williams, 1978]. В иностранной литературе зависимости такого рода объединены под общим названием зависимостей «гидравлической геометрии».

Морфометрические зависимости устанавливают связи между геометрическими размерами поперечного сечения реки.

Гидроморфометрические зависимости связывают морфометрические и гидравлические характеристики поперечного сечения русла, а гидроморфологические зависимости отражают связи между гидравлическими и морфологическими характеристиками речных русел с учетом их пространственной морфологической структуры – типа руслового процесса.

Появление гидроморфологических (структурных) зависимостей в литературе о русловом процессе обязано работам ГГИ [Антроповский, 1970; Копалиани, Ромашин, 1970, Ромашин, 1969; Kopaliani, 1988].

В основе построения зависимостей гидравлической геометрии или гидроморфологических зависимостей, как известно, лежит так называемая «режимная» концепция, возникновение которой связано с практикой проектирования земляных ирригационных каналов в Индии.

Принцип проектирования «режимных», т. е. неразмывающихся и незаиляющихся каналов, находящихся в состоянии динамического равновесия, впервые был сформулирован и реализован в практике в 1885 г. Р. Кеннеди [Лелявский, 1961; Lacey, 1930]. Вслед за Кеннеди режимные зависимости, связывающие геометрические размеры земляных каналов с гидравлическими характеристиками потока предлагались множеством исследователей (В. Хоули, 1912; А. Гаррет, 1913; Ф. Вудс, 1917; Е. Линдлей, 1919; Г. Лейси, 1930 и др.).

Г. Лейси впервые распространил режимные представления и на аллювиальные русла рек [Lacey, 1930].

Поиском гидроморфометрических связей для рек в разных странах занимались С.И. Рабкин, С. Инглис, Л. Леопольд и Т. Маддок, М.А. Великанов, Т. Бленч, К.В. Гришанин и многие другие [Антроповский, 1969; Великанов, 1958; Гришанин, 1979; Blench, 1973; Inglis, 1978; Leopold, Wolman, 1957].

Во всех перечисленных работах речь идет о поперечных сечениях речных русел, т.е. доминируют двухмерные представления о морфологии речного русла.

Гидроморфометрические зависимости обычно разрабатываются с целью расчета морфометрических характеристик речных русел в зависимости от гидрологических и гидравлических характеристик потока.

Рядом исследователей высказывалась идея постановки и решения обратной задачи – определения гидрологических и гидравлических характеристик реки по известным размерам речных русел. Ими же предпринимались попытки практической реализации этой идеи. Однако эти попытки нельзя признать успешными [Wahl, 1984; Wharton et al, 1989; Williams, 1978]. Причина, с нашей точки зрения, прежде всего заключается в упрощенном, двухмерном представлении речного русла в виде поперечного сечения, не учёте большого разнообразия и особенностей пространственного морфологического строения речных русел и пойм, т. е. типов руслового процесса и региональных особенностей водного режима рек, а также их абсолютных размеров.

В качестве руслоформирующего расхода воды большинство исследователей (Глушков, Разин, Лейси, Инглич, Матзес, Леопольд и Вольман, Ромашин, Копалиани, Аккерс и Чарльгтон, Хэй и др. [Маккавеев, 1955; Ромашин, 1968, 1969; Снисченко, 1991; Ackers, 1970; Hey et al., 1986; и др.] используют расход воды, соответствующий пропускной способности русла, т.е. проходящий в его бровках. В связи с отмеченным ширина реки в бровках русла приобретает особый интерес. Многие исследователи строят гидроморфометрические зависимости между этой шириной и руслоформирующим расходом воды, за который чаще всего принимается максимальный среднемноголетний расход воды.

В отличие от предшествующих исследователей, строивших подобные зависимости без учета типа руслового процесса, ниже приводится попытка построения такой зависимости для русел одного типа, свободного меандрирования – наиболее распространенного в природе на равнинных реках типа руслового процесса.

Представляет интерес также исследование связей глубины, площади поперечного сечения русла и других его характеристик при руслонаполняющем расходе воды, проходящем на уровне бровок русла с руслоформирующим расходом воды при свободном меандрировании.

Для построения указанных зависимостей М.М. Жук были составлены два массива исходных данных. Первый массив данных был извлечен из обширного материала, накопленного в Отделе русловых процессов ГГИ В.В. Ромашиным, включающем сведения по 250 морфологически однородным участкам равнинных и горно-предгорных рек СССР [Ромашин, 1968] (5 типов руслового процесса по классификации Н.Е.Кондратьева и И.В.Попова [Кондратьев и др., 1982]). Были отобраны данные, относящиеся к свободно меандрирующим рекам. Они были дополнены новыми данными по рекам Башкирии, Алтая и Западной Сибири.

Из массива данных Ромашина отбирались данные по среднемноголетним максимальным расходам воды, уточненные по Гидрологическим ежегодникам

и ОГХ (Изданию «Основные гидрологические характеристики») Государственного водного кадастра. Из таблицы измеренных расходов воды определялась ширина русла при расходах воды близких ($\pm 10\%$) к значению среднемаксимального расхода воды.

При составлении второго массива данных производился отбор данных по ширине русла более тщательно, с учетом отметок уровня, особенностей и характера выхода воды на пойму свободномеандрирующих рек [Кондратьев и др., 1982; Копалиани, 1970] и при условии совпадения значения этого руслонаполняющего уровня с уровнем воды при среднемаксимальном расходе воды, в отличие от первого массива данных, где при подборе значений ширины русла при среднемноголетнем максимальном расходе воды на уровень выхода воды на пойму внимания не обращалось.

Во втором массиве данных из таблицы измеренных расходов воды бралась также средняя глубина потока, соответствующая отобранной ширине в бровках русла.

Ко второму массиву данных были добавлены также данные Хэя по меандрирующим рекам Великобритании, Копалиани по меандрирующим рекам Колхиды, Антроповского по меандрирующим рекам СССР и ряда зарубежных авторов (см. ниже на рис. 2а и 2б). [Антроповский, 1970; Копалиани, Ромашин, 1970; Schitale, 1983; Church, 1983; Hey et al., 1986; Kellerhals, et al., 1972; MaCarthy et al.; Thorne, 1979; Williams, 1978].

Поскольку данные по ширине и глубине в бровках русла относятся к измерениям в произвольном створе излучины меандрирующей реки, возникает вопрос о репрезентативности этих данных, насколько точно и с какой погрешностью могут эти данные отражать средние условия для всей излучины.

Анализ крупномасштабных карт показывает, что ширина русла вдоль излучины свободно меандрирующей реки при руслонаполняющем расходе воды, проходящем на уровне бровок русла, меняется незначительно. Этот вопрос требует дальнейшей детальной проработки. В настоящее время можно руководствоваться результатами исследований Р.Хэя [Хей, 1986], который для 62 участков рек Великобритании с гравийным ложем, включая меандрирующие реки, установил, что ширина в бровках русла на участках перекатов составляет $1,03B_{бр}$, где $B_{бр}$ – осредненная ширина русла в бровках, полученная осреднением пяти поперечных профилей (три переката плюс два плеса). Соответственно ширина в бровках русла на участках плесов согласно Хэю составляет $0,97 B_{бр}$. Отсюда следует, что ширина русла на участках перекатов в 1,06 раз (6 %) превосходит ширину на участках плесов. Следовательно, в каком бы створе не измерялась ширина русла в бровках на участке излучины меандрирующей реки, погрешность определения этой величины будет в пределах 6 %.

Абсолютные отметки дна и, следовательно, глубина русла в пределах излучины меандрирующей реки меняется весьма существенно. По данным тех же исследований Г. Хэя средняя глубина в поперечных створах перекатов со-

ставляет $0,95 H_{бр}$, где $H_{бр}$ – средняя глубина на участке излучины, а средняя глубина в поперечных сечениях плёсов составляет $1,04 H_{бр}$. Следовательно, средняя глубина в поперечных сечениях плесов в 1,09 раз (9 %) превосходит среднюю глубину в поперечных сечениях перекаатов. Отсюда следует, что средняя глубина в произвольном поперечном створе излучины может определяться с погрешностью 9 %. Что касается максимальных глубин $H_{бр}^{макс}$ на излучинах меандрирующих русел при руслонаполняющем расходе воды для участков (створов) перекаатов и плесов, Хэем было получено:

$$H_{пер.}^{макс} = 0,91H_{бр}^{макс} , \quad (1)$$

$$H_{пл.}^{макс} = 1,09H_{бр}^{макс} , \quad (2)$$

где $H_{бр}^{макс}$ – осредненная по участку излучины (перекаатов и плесов) максимальная глубина. Из этих зависимостей следует, что колебания максимальных глубин на участке излучины более значительны, чем средних по сечению и составляет 18 %.

В общем случае с развитием излучин – увеличением их извилистости (угла разворота) максимальная в их пределах глубина закономерно изменяется.

В частности, для одной из крупнейших меандрирующих рек мира Иртыша эти изменения следуют следующей закономерности [Гендельман, 1988]

$$\frac{H_{пл.}^{макс}}{H_{макс}} = 0,06\alpha_0^2 + 0,34\alpha_0 + 0,54 , \quad (3)$$

где $H_{пл.}^{макс}$ – максимальная глубина русла в бровках берегов при угле разворота излучины α_0 в радианах; $H_{макс}$ – наибольшая глубина за весь период развития излучины.

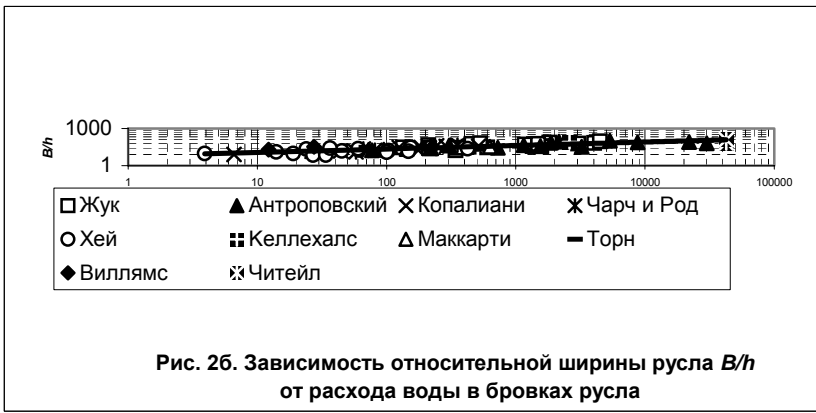
На основе описанных выше данных были построены зависимости среднemaxимальных расходов воды от ширины русла (первый массив данных), расхода воды в бровках русла от ширины потока и относительной ширины русла B/H от расхода воды в бровках русла (второй массив данных). Эти зависимости изображены на рис. 1 и рис. 2а и 2б.

Они соответственно имеют следующий аналитический вид:

$$Q_{макс} = 0,48B^{1,44} ; \quad (r^2 = 0,94); \quad (4)$$

$$Q_{бр} = 0,44B_{бр}^{1,48} ; \quad (r^2 = 0,97); \quad (5)$$

$$(B/H)_{бр} = 6,0Q_{бр}^{0,29} ; \quad (r^2 = 0,74) . \quad (6)$$



Из (4) имеем:

$$B_{\text{макс}} = 1,67 Q_{\text{макс}}^{0,69}, \quad (7)$$

а из (5) –

$$B_{\text{бр}} = 1,72 Q_{\text{бр}}^{0,67}. \quad (8)$$

Из (6) с учетом (8) получим:

$$H_{\text{бр}} = 0,29 Q_{\text{бр}}^{0,39}. \quad (9)$$

Для площади поперечного сечения в бровках русла $\omega_{\text{бр}} = B_{\text{бр}} H_{\text{бр}}$ с учетом (8) и (9) будем иметь:

$$\omega_{\text{бр}} = 0,50 Q_{\text{бр}}^{1,06}. \quad (10)$$

Для средней по сечению русла скорости потока $V_{\text{бр}} = \frac{Q_{\text{бр}}}{\omega_{\text{бр}}}$ из уравнений (5) и (10) получим:

$$V_{\text{бр}} = 0,88 B_{\text{бр}}^{1,48} Q_{\text{бр}}^{-1,06}. \quad (11)$$

Средняя скорость поперечного сечения в бровках русла $V_{\text{бр}}$ с учетом (5) и (8), соответственно может быть определена также по зависимости:

$$V_{\text{бр}} = 2,09 B_{\text{бр}}^{-0,09} \quad (12)$$

или

$$V_{\text{бр}} = 1,96 Q_{\text{бр}}^{-0,06}. \quad (13)$$

Используя зависимости (8) и (9), можно получить для меандрирующих рек выражение для расчета числа Глушкова [Глушков, 1975] – широко известного в литературе морфометрического параметра, предложенного автором еще в 1925 г. для поперечных сечений в бровках русел, $\Gamma = \frac{\sqrt{B}}{H}$. Эта зависимость с учетом (8) и (9) получает вид:

$$\Gamma = 4,5 Q_{\text{бр}}^{-0,06}. \quad (14)$$

В выражении (14) морфометрическая зависимость Глушкова превращается в гидроморфометрическую и даже в гидроморфологическую, поскольку она кроме морфометрических характеристик содержит гидравлическую характеристику потока – расход воды и относится к определенному морфологическому типу русла – свободному меандрированию.

Как следует из зависимости (14), число Глушкова Γ слабо зависит от расхода воды и меняется в узких пределах от $\Gamma = 3,4$ для малых меандрирующих рек ($Q_{бр} = 100 \text{ м}^3/\text{с}$) до $\Gamma = 2,6$ для больших ($Q_{бр} = 10\,000 \text{ м}^3/\text{с}$).

В работе [Manual on Sediment..., 2003] показано, что для свободно меандрирующих участков русла р. Янцзы число Глушкова меняется в пределах $\Gamma = 2,55 - 3,27$. Использование числа Γ без привязки к конкретным типам руслового процесса теряет свою четкость и демонстрирует изменчивость в широких пределах, достигая для блуждающих участков р. Хуанхэ значений 19,0 – 32.

Система полученных эмпирических зависимостей (4) – (14) позволяет выполнить приближенные расчеты (оценки) гидравлических, гидрологических и русловых характеристик свободно меандрирующих рек при полном отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений и других сведений о речном водосборе, при наличии лишь крупномасштабной карты (аэрофото или космического снимка), позволяющих надежно определить лишь тип руслового процесса и ширину русла.

Эти расчеты рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

Определив по карте ширину свободно меандрирующего русла $B_{бр}$, по зависимости (5) определяется значение расхода воды в пределах бровки русла $Q_{бр}$, а затем по зависимости (11) или (12) и (13), среднюю скорость потока при этом расходе воды.

По зависимости (9) определяется средняя глубина русла на участке излучины при руслонаполняющем расходе воды, а по зависимости (10) – площадь поперечного сечения русла при этом расходе воды.

По известным значениям скорости и глубины потока можно определить среднее значение числа Фруда $Fr = V_{бр} / \sqrt{gH_{бр}}$ на участке излучины, соответствующее руслонаполняющему расходу воды.

По эмпирической зависимости М.М. Гендельмана для коэффициента Шези при руслонаполняющем расходе воды в свободно меандрирующих реках

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = 1,6 Re^{1/8}, \quad (15)$$

где $Re = \frac{vH}{\nu}$ – число Рейнольдса, можно рассчитать $C = 5,0 Re^{1/8} \text{ м}^{0,5}/\text{с}$, после чего из выражения $Fr = \frac{C}{\sqrt{g}} \sqrt{I}$ можно определить и уклон водной поверхности I при $Q_{бр}$, подставив в выражение $I = \frac{g}{C^2} Fr^2$ найденное значение

коэффициента Шези C и уже известное значение числа Fr .

Имея значения скорости и глубины потока, по зависимостям В.Н. Гончарова и В.Ф. Талмаза, по таблицам неразмывающих скоростей потока [Учет деформаций..., 1985] $V_0 = f(d, H)$ определяется диаметр донных наносов песчано-гравийного или гравийно-галечного материала на дне меандрирующих рек. При этом следует иметь в виду, что скорость потока, рассчитанная по зависимостям (11) – (13) при данной глубине, будет находиться с неразмывающей скоростью потока в соотношениях примерно $V = 1,5V_0$ для песчаного материала и $V = 1,3V_0$ для гравийно-галечного материала, соответствующих наиболее вероятным значениям подвижности русла $\frac{V}{V_0} = 1,5$ и $\frac{V}{V_0} = 1,3$ при руслонаполняющем расходе воды $Q_{бр}$, (соответственно для песчано-гравийного и гравийно-галечного русла). Поэтому в таблицах $V_0 = f(d, H)$ следует находить диаметр частиц d , соответствующий при глубине $H_{бр}$ скорости $V_0 = 0,67V_{бр}$ для песчаных русел и $V_0 = 0,78V_{бр}$ для гравийно-галечных русел.

Крупность донных наносов, полученная таким путем, в среднем будет хорошо соответствовать реальным значениям, имея в виду естественную пространственно-временную неоднородность донных отложений и наносов на дне реки. Достаточно надежно можно будет определить, из наносов какой крупности (мелкий, средний, крупный песок, гравий или галька) сложено дно реки.

Далее можно определить относительную гладкость потока $H_{бр} / d$ и высоту микроформ $h_r = 0,13H_{бр}$, а по зависимости $C_r = 0,019VFr^3$, можно получить скорость перемещения микроформ (гряд) на дне реки [Учет деформаций..., 1985].

Подставляя в общее выражение для расхода донных наносов на единицу ширины русла при грядовом движении наносов $q_r = 0,6h_r C_r$, приведенные выше значения h_r и C_r для расхода донных наносов на единицу ширины русла, будем иметь

$$q_r = 0,001VH_{бр} Fr^3 \text{ м}^3/\text{с}\cdot\text{м}. \quad (16)$$

Секундный расход донных наносов для полной ширины русла будет

$$Q_r = B_{бр} q_r \text{ м}^3/\text{с}, \quad (17)$$

или в сутках

$$Q_r = 86,4B_{бр}VH_{бр} Fr^3 \text{ м}^3/\text{сут}. \quad (18)$$

В настоящей работе, относящейся к меандрирующим рекам, среднеголетний максимальный расход воды соответствует уровню воды в бровках русла. Этот вопрос требует дальнейшей проверки на более обширном и на-

дежном материале, поскольку по этому поводу у различных исследователей имеются различные мнения. Этот вопрос исследовался ими без учета типов руслового процесса [Wahl, 1984; Wharton, 1989; Woodyer, 1968]. В дальнейшем представляется целесообразным выполнить подобные исследования и по другим типам руслового процесса.

Переход от среднемаксимальных расходов воды к среднегодовым расходам и к максимальным расходам вероятностей превышения 1 %, 5 %, 10 % для неизученных рек представляется возможным на основе обобщения региональных параметров кривых распределения среднегодового и максимального стока, установленных по данным многолетних гидрометеорологических наблюдений на изученных реках региона. Направления таких исследований указаны в работах ГГИ [Доброумов, 2002; Katolikova, 1994].

Представленные в настоящей статье результаты убеждают в целесообразности продолжения исследований в направлении поиска и разработки методов расчета гидрологических и гидравлических характеристик неизученных рек на основе гидроморфологических, структурных зависимостей. Эти методы могут рассматриваться как вспомогательные или альтернативные к традиционно используемым в настоящее время в гидрологии методам при отсутствии или недостатке данных гидрометеорологических наблюдений.

Литература

1. *Антроповский В.И.* Гидроморфометрические зависимости и их дальнейшее развитие. // Тр. ГГИ, 1969, вып. 169, с. 34–86.
2. *Антроповский В.И.* Связь типов руслового процесса с определяющими факторами. // Тр. ГГИ, 1970, вып. 183, с. 70–80.
3. *Великанов М.А.* Русловой процесс. – М.: Физматгиз, 1958. – 396 с.
4. *Гендельман М.М.* Исследование свободного меандрирования речных русел. – Геоморфология, 1988, № 3, с. 38–45.
5. *Гендельман М.М.* Анализ руслового процесса р. Пяндж на предгорном участке. // Тр. ГГИ, 1988а, вып. 336, с. 3–28.
6. *Глушков В.Г.* Морфология речного русла. Труды I Всероссийского гидрологического съезда. – Л., 1925, с. 286–290.
7. *Гришанин К.В.* Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 341 с.
8. *Доброумов Б.М., Тумановская С.М.* Наводнения на реках России, их формирование и районирование. // Метеорология и гидрология, 2002, № 12, с. 70–78.
9. *Католикова Н.И.* К вопросу о руслоформирующем расходе воды. – Сб. работ по гидрологии, 2004, с. 41–53.
10. *Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Сницченко Б.Ф.* Основы гидроморфологической теории руслового процесса. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 271 с.
11. *Копалиани З.Д., Федорова З.Н.* Натурные исследования процессов затопления поймы и развития пойменных течений на р. Поломети у с. Заречье. // Тр. ГГИ, 1970, вып. 183, с. 26–32.
12. *Копалиани З.Д., Ромашин В.В.* Проблемы русловой динамики горных рек. // Тр. ГГИ, 1970а, вып. 183, с. 81–98.
13. *Лелявский С.Н.* Введение в речную гидравлику. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 228 с.
14. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия его бассейна. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 348 с.
15. *Ромашин В.В.* Типы руслового процесса в связи с определяющими факторами. // Тр. ГГИ, 1968, вып. 155, с. 56–63.

16. Ромашин В.В. О структурном подходе к русловой морфометрии. // Тр. ГГИ, 1969, вып. 169, с. 18–33.
17. Сниценко Д.В., Сниценко Б.Ф. Оценка современного гидроморфологического состояния малых рек по материалам космических съемок. / В сб.: Современное состояние малых рек СССР и пути их использования, сохранения и восстановления. Секция русловых процессов ГКНТ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991, с. 85–95.
18. Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтепроводов) ВСН 163-83. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 143 с.
19. Ackers P., Charlton F.G. The geometry of small meandering streams.// Proc. Inst. Civ. Eng. Suppl., 1970, 12, p. 289–317.
20. *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. Ed. By C.R. Thorne, R.D. Hey and M.D. Newson. 1977. John Wiley and Sons Ltd. p. 372.
21. Blench T. Factors controlling size, form and slope of stream channels. Intern. Seminar on hydraulics of alluvial streams. New Delhi, 15-19 January 1973, p. 9.
22. Chitale S.V. River channel patterns. Journal of the Hydraulic Division. Proc. ASCE, vol. 96, No. HY1, January, 1970, p. 201–221.
23. Church M., Rood K. Catalogue of alluvial river-channel regime data. Dep. Of Geography, Univ. of British Columbia, Vancouver, 1983, 99 p.
24. Hey R.D., Thorne C.R. Stable Channels with Mobile Gravel Beds. Journal of Hydraulic Engineering, 1986, vol. 112, No. 8, p. 671–689.
25. Inglis C. Historical note on empirical equations, developed by engineers in India for flow of water and sand in alluvial channels. Second meeting IAHSR, Stockholm 79. V. 1948. Appendix 5, p. 93–106.
26. Katolikova N.I. On the problem of the account water discharge characteristics in the channel process. Proc. UNESCO Intern. Symp. On River Engineering Methods. Vol 1. '6 – 20 May, 1994, St. Petersburg, 1994, p. 108–116.
27. Kellerhals R., Neill C.R., Bray D.I. Hydraulic and geomorphic characteristics of rivers in Alberta. Alberta Cooperative Research program in Highway and River Eng., Rep. 72-1, 1972. 52 p.
28. Kopaliani Z.D. Discrete approach to study river-bed deformations in mountain and piedmont zone. Proc. Of Intern Conf. of fluvial hydraulics. Budapest, 1988, p. 292–297.
29. Lacey G. Stable channels in alluvium. Minutes Proc. Inst. Civ. Eng. 229, 1930, p. 259–292.
30. Leopold L.B., Wolman M.G. River channel patterns: braided, meandering and straight. US Geological Surv. Prof. Paper, No. 282-13, 1957, p.
31. Manual on Sediment Management and Measurement. WMO Operational Hydrology Report No 47. WMO No 948. 2003, p. 158.
32. McCarthy T.S., et al. The sedimentary dynamics of active fluvial channels on the Okavango fan, Botswana. Sedimentology, 38, 1991, p. 471–487.
33. Thorne C.R., Lewin J. Bank processes, bed material movement and planform development in meandering river. In D.D. Rhodes and G.F. Williams (Ed.) Adjustment of the Fluvial System, 1979, p. 117–137.
34. Wahl K.L. Evolution of the use of channel cross section characteristics for estimating streamflow characteristics. US Geol. Surv. Water Supply Pap. 2262, Sel. Pap. Hydrol. Sci., 1984, p. 53–66.
35. Wharton G., Arnell N.W., Gregory K.J., Gurnell A.M. River Discharge estimated from Channel dimensions. // Journal of Hydrology, 1989, 106, p. 365–376.
36. Williams G.P. Bankfull Discharge of Rivers. // Water Resources Research, 1978, vol. 14, No. 6, p. 1141–1154.
37. Williams G.P. River meanders and channel size. // Journal of Hydrology, 1986 No. 88, p. 147–164.
38. Woodyer K.D. Bankfull frequency in rivers. // J. Hydrology, 1986, 6, p. 114–142.