

Frangiz Sh. Amaeva, Candidate of Biology, scientific worker of laboratory of hydrobiology and sea chemical ecology of Precaspian Institute of Biological Resources, Dagestan Scientific Center of Russian Academy of Sciences; 45 M. Gadzhiev St., Makhachkala, Russia 367025; a_frana@mail.ru

УДК 556.5+551.482

К.Ю. Данько, А.Г. Ободовский

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА РУСЛОФОРМИРУЮЩИХ РАСХОДОВ ВОДЫ РЕК БАСЕЙНА СТЫРИ

На основе выполненной оценки колебания годового и максимального стока рек бассейна Стыри выделены репрезентативные периоды для оценки руслоформирующих расходов воды. Проведена пространственно-временная оценка руслоформирующих расходов воды рек бассейна Стыри по методике Н.И. Маккавеева. Подтверждено соответствие руслоформирующих расходов максимумам скоростных коэффициентов Шези. Предложен альтернативный подход к оценке руслоформирующих расходов воды на основе графиков $Q=f(C)$.

К л ю ч е в ы е с л о в а: руслоформирующий расход воды; реки бассейна Стыри; коэффициент Шези; фаза водности; руслоформирующая деятельность потока.

Актуальность исследования

Актуальность любой работы определяется и усиливается величиной проблем, связанных с объектом исследования, а также направлениями решения этих проблем. Реки бассейна Стыри достаточно интенсивно используются в хозяйственной деятельности. В результате канализирования и спрямления речных русел их гидравлические параметры изменились настолько, что на многих участках нарушился естественный баланс эрозионно-аккумулятивных процессов. Сброс вод с осушительных территорий (площадь 194 тыс. га [24]) вызывает постепенное заиливание рек [5; 21].

Такие последствия хозяйственной деятельности указывают на то, что особенности транспортирующей и руслоформирующей деятельности водотоков бассейна Стыри исследованы недостаточно полно, а определенные водохозяйственные проекты с учетом слабой изученности процессов руслоформирования рек выполнены на недостаточном профессиональном уровне.

Интенсивность русловых процессов, характер их направленности в первую очередь зависят от соотношения их генетических факторов (сток воды, транспорт наносов и состав аллювия) [11]. В данном случае сток (руслоформирующие расходы воды) служит определяющим, активным фактором многих аспектов руслоформирования, прежде всего интенсивности развития русловых деформаций, состояния русла и его устойчивости. Руслоформирующие расходы активно проявляются на равнинных реках в условиях свободного развития русловых деформаций [16-17; 25].

Речной сток во многом зависит от климатических факторов, которые в различные сезоны года проявляются по-разному, определяя годовые колебания расходов воды и изменения фаз водного режима. Многолетние климатические флуктуации вызывают многолетние колебания водности [2-3], особенно максимального стока. Колебания максимального стока влияют на русловые процессы через изменения величин руслоформирующих расходов воды. Перечисленные аспекты недостаточно изучены на реках Украины.

Состав аллювия играет пассивную, сдерживающую роль в развитии русловых процессов. Особенности гранулометрического состава аллювиальных отложений во многом определяют шероховатость русла, которая влияет на характер стока, а следовательно, и на величины руслоформирующих расходов воды. Взаимозависимость руслоформирующих расходов воды от шероховатости русла раскрывается через коэффициент Шези. Данный аспект проанализирован в работах А.Г. Ободовского [16; 18], где представлена базисная основа таких зависимостей на примере некоторых рек. Детальные исследования в этом направлении не проводились.

* Данько К.Ю., Ободовский А.Г., 2014

Данько Константин Юрьевич, аспирант кафедры гидрологии и гидроэкологии географического факультета Киевского национального университета им. Тараса Шевченко; Украина, ГСП - 680, Киев, пр. акад. Глушкова, 2а; dankoconst@gmail.com

Ободовский Александр Григорьевич, доктор географических наук, заместитель декана по научной работе, профессор кафедры гидрологии и гидроэкологии географического факультета Киевского национального университета им. Тараса Шевченко; Украина, ГСП-680, Киев, пр. акад. Глушкова, 2а; obodovski@mail.univ.kiev.ua

Цель работы состоит в установлении влияния определяющих факторов на условия прохождения руслоформирующих расходов воды рек бассейна Стири и определении связей руслоформирующих расходов воды со скоростными коэффициентами Шези.

Природные особенности района исследования

Река Стирь является притоком Днепра второго порядка. Ее бассейн расположен на территории двух стран – Украины и Беларуси, что делает его трансграничным. Водосборная территория Стири в рельефе представлена двумя геоморфологическими областями, где верхняя и средняя ее части находятся на Волыно-Подольской возвышенности и ее отрогах (Волинское Полесье), здесь река берет свое начало; нижняя – занимает Полесскую равнину (Припятское Полесье) [22] (рис. 1). Такой равнинный характер территории бассейна обуславливает протекание его рек в свободных условиях развития русловых деформаций.

Южная граница Полесья с зонами широколиственных лесов и лесостепной зоной довольно четко выделяется в рельефе бассейна, строении четвертичных отложений, характере почвенного покрова и растительности. Она проходит по северной окраине Волыно-Подольской возвышенности. В пределах бассейна р. Стирь кроме зоны широколиственных лесов также выделяют области Волинского Полесья, Волинского Ополя, Малого Полесья. Территория водосбора вытянута с юго-запада на северо-восток. Длина бассейна – 300 км, водосборная площадь – 13130 км² [15].

В основе бассейна залегают граниты и гнейсы. Как правило, они перекрыты трещиноватыми и сланцеватыми глинами. На последних залегают меловые отложения: пески, мергели, известняки. Меловая толща в верхней и средней частях бассейна покрыта неогеновыми породами (серые пески), на которых залегают оолитовые известняки, а также кварцевые пески. Поверхностный пласт составляют четвертичные образования, для которых характерно развитие моренных отложений, флювиогляциальных песков и суглинков, а также лесса. На территории бассейна распространены карстовые области, которые представлены ячейками развития верхнемелового карста [9; 22]. В бассейне Стири, по типу отношения к поверхности, встречается покрытый, открытый и перекрытый карст. В зонах распространения рек карст влияет на особенности русловых процессов, в частности, на характер донных отложений, от которых в свою очередь зависят транспортирующая способность потока и шероховатость русла.

Почвы исследуемой территории располагаются преимущественно на ледниковых, водно-ледниковых и древнеаллювиальных отложениях, реже на озерных отложениях и лессах. Возвышенные водораздельные территории занимают дерново-подзолистые почвы, относительно пониженные районы с близким уровнем грунтовых вод – дерново-подзолистые разной степени оглеения. Почвы дерновые и луговые имеют слабую гумусность (от 0,3-0,5 до 1,5-2,5 % гумуса), гумус грубый, с большим количеством слабоминерализованных органических остатков. Речные поймы и широкие понижения покрыты торфяными болотами, в объединении с которыми на повышенных местах залегают дерновые и луговые почвы. В местах с близким залеганием от поверхности меловых отложений (Волинское Полесье) сформировались дерново-карбонатные почвы. Небольшими сосредоточениями распространены оподзоленные почвы на лессах, лессовидных суглинках.

Легкий механический состав (преимущественно песчаные и супесчаные грунты) обусловил сплошное распространение в прошлом лесной растительности, которая сейчас в значительной мере уничтожена. Леса занимают около 22 % площади бассейна. Большие территории, покрытые мореной и флювиогляциальными супесчаными отложениями, занимали смешанные широколиственные леса с преобладанием сосны, дуба, липы, клена, граба и хорошо развитым травяным покровом. Заболоченные земли с лугово-болотной растительностью занимают 14 % и расположены преимущественно в нижней низменной части бассейна.

Климат территории бассейна умеренно-континентальный с теплым и влажным летом и достаточно мягкой зимой. Характерная среднегодовая температура воздуха изменяется от + 6,3 до + 7,2°C [24]. Бассейн находится в зоне чрезмерного увлажнения. В западном Полесье выпадает до 600-650 мм/год осадков [8]. Наибольшая их часть приходится на теплый период года и составляет 60-65% от общего годового количества осадков. Количество осадков в периоды формирования высоких паводков увеличивается в 1,5-2,5 раза по сравнению с средними многолетними их значениями за такие же временные промежутки [6; 12]. Наблюдения за метеорологическими показателями в бассейне ведутся на 4 метеорологических станциях (табл. 1).



Рис. 1. Положение бассейна Стири и сеть гидрологических наблюдений

Таблица 1

Характерные средние многолетние месячные и годовые суммы осадков по данным некоторых метеостанций в бассейне Стири и соседних бассейнах, мм

Метеостанция	Месяц												Год
	I	I	II	V	V	I	II	III	X	X	I	II	
Дубно	3 5	3 2	3 0	4 3	6 7	7 9	8 7	6 9	5 2	3 8	3 8	4 3	61 3
Луцк	3 1	3 1	2 7	3 9	6 0	6 8	7 6	6 1	5 6	3 7	3 6	3 8	56 0
Маневичи	4 2	3 8	3 4	4 3	6 5	8 2	8 4	6 0	6 0	4 4	4 9	4 9	65 0
Любешов	3 7	3 0	3 0	3 8	5 6	8 4	8 0	5 8	5 7	4 3	4 4	4 2	59 9

Гидрологический режим рек бассейна Стири представлен характерным весенним половодьем и меженью, которая зачастую прерывается паводками. Питание рек смешанное, с преобладанием снегодождевой составляющей. На весну приходится наибольшая часть годового стока (около 40 %), на лето – 20-25 %, а на осень – 16-24 %. В целом в современный период с уменьшением общей водности возрастает часть зимнего, осеннего и летнего стока при значительном уменьшении части весеннего стока. Также наблюдается возрастание доли зимнего стока на 4 %, летнего и осеннего - на 1-2 % в маловодные годы [2]. Наблюдения в бассейне за гидрологическими характеристиками ведутся на 8 гидрологических постах (рис. 1), на 5 из которых измеряются расходы воды (табл. 2)

Таблица 2

Многолетние характеристики среднего годового стока рек бассейна Стири

Река - пост	F , км ²	Характеристики стока				C_v	C_s	C_s/C_v
		Q , м ³ /с	W , км ³	q , л/с*км ²	Y , мм			
р.Стирь – с.Щуровичи	2020	11,1	0,35	5,50	173	0,35	0,75	2,16
р.Стирь – г.Луцк	7200	31,1	0,98	4,32	136	0,25	0,44	1,77
р.Стирь – с.Млынок	10900	43,1	1,36	3,95	125	0,26	0,71	2,8
р.Радоставка – с.Трийця	316	1,90	0,06	6,01	190	0,35	0,99	2,82
р.Иква – с.Большие Млыновцы	632	3,30	0,10	5,22	165	0,27	0,68	2,53

* F – площадь бассейна, км²; Q – норма стока, м³/с; W – средний многолетний объем стока, м³ (км³); q – средний многолетний модуль стока, л/с*км²; Y – средний многолетний слой стока, мм; C_v – коэффициент вариации многолетнего ряда среднегодовых расходов воды; C_s – коэффициент асимметрии многолетнего ряда среднегодовых расходов воды.

Наблюдения за стоком наносов и донными отложениями ведутся на двух постах – с. Щуровичи и с. Большие Млыновцы. Средние многолетние характеристики стока наносов и средний диаметр донных отложений представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сток взвешенных наносов, мутность и средний диаметр донных отложений

Река - пост	R , кг/с	G , тыс. т	r , т/км ² *год	S , г/м ³	$d_{50\%}$, мм
р.Стирь – с.Щуровичи *	0,072	2,27	1,12	6,6	0,38
р.Иква – с.Большие Млыновцы	0,46	14,5	23,0	150	0,29

* Мутность воды и сток наносов существенно изменены в результате антропогенного влияния; R – средний многолетний расход наносов, кг/с; G – средний многолетний объем стока наносов, тыс. т; r – средний многолетний модуль годового стока наносов, т/км²*год; S – средняя многолетняя мутность воды, г/м³; $d_{50\%}$ – средний (50%) диаметр донных обложений, мм.

Методическая основа и результаты исследований

Проблематикой определения руслоформирующих расходов воды занимались много ученых, которые разработали ряд разнообразных подходов к их определению. Некоторые из них рассчитаны для горных рек, другие адаптированы к равнинным, отдельные методы являются универсальными.

В Украине и странах СНГ наибольшее распространение и признание приобрели подходы к оценке руслоформирующих расходов воды равнинных рек, разработанные Н.И. Маккавеевым [14] и К.В. Гришаниным [4], а также метод, который базируется на оценке руслоформирующего расхода воды при руслонаполняющем уровне «bankfull stage» – Q_{bf} . Этот метод один из наиболее актуальных в западных странах [27-28]. Одним из примеров его реализации является анализ многолетних кривых расходов $Q=f(H)$, по которым определяется расход при уровне затопления береговых бровок.

Особенности применения и проверенная опытом репрезентативность полученных результатов определили весомую актуальность и показательность методики Н.И. Маккавеева. Это связано в первую очередь с тем, что его подход позволяет оценить гидрологическую составляющую руслового режима рек, учитывая энергетический потенциал потока, крупность наносов и статистическую обеспеченность каждого интервала расходов. По максимумам функций (1) вычисляется руслоформирующий расход воды:

$$Q_{\phi} \uparrow f(-Q_{\phi}^{\sigma} PI), \quad (1)$$

где σ – коэффициент, который учитывает ширину разлива реки ($\sigma = 1$ до выхода воды на пойму; $\sigma = 0,9$ при ширине затопленной поймы меньше двойной ширины русла; $\sigma = 0,5$ при ширине затопленной поймы больше десятикратной ширины русла); Q_{ϕ} – средний расход воды каждого из

интервалов, на которые разбивается весь диапазон расходов, наблюдающихся в расчетном створе (при этом берутся ежедневные расходы воды), m^3/c ; n – показатель степени, которая зависит от крупности руслового аллювия ($n=2$ для рек с песчаным дном; $n=2,5$ для рек с гравийно-галечным дном; $n=3$ для рек с галечно-валунным дном); P – вероятность превышения ежедневных расходов для соответствующего интервала, %; I – средний уклон свободной поверхности потока для соответствующего интервала расходов.

Данный подход позволяет оценить величину влияния потока на русло по трем его основным уровням – в русле, при выходе на пойму и на пойме. Определенные дополнения к этой методике сделаны в работе [16].

С целью оценки многолетней изменчивости руслоформирующих расходов воды расчеты по методике Н.И. Маккавеева выполнены на основе данных двух временных периодов по 25 лет (1961–1985 и 1986–2010). Причина выбора указанных временных интервалов заключается в научно-практической сути их выделения. Во-первых, методикой Н.И. Маккавеева предусмотрено, что для определения Q_{ϕ} наиболее репрезентативным является анализ диапазона расходов 25–30-летнего периода для того, чтобы учесть как маловодные, так и многоводные фазы водности реки [16;26]. Во-вторых, такие временные интервалы практически соответствуют фазам водности рек бассейна Стири [2] (рис. 2,а), а также согласовываются с многолетней изменчивостью максимального стока, фазово-циклические флуктуации которого близки к избранным периодам (рис. 2,б). В этом контексте значительное внимание фазам колебания максимального стока следует уделять из-за того, что он играет определяющую роль в русловых процессах.

Во время паводков, в особенности половодий, скорость потока достигает наибольших значений, движение наносов идет по всему руслу, поток насыщается взвешенными наносами, происходят активные русловые переформирования [14]. Поэтому при выделении расчетных периодов необходимо анализировать многолетнюю динамику колебания максимальных расходов воды. Подобные исследования уже проводились для р. Десны [17], где полученные результаты показали четкую зависимость руслоформирующих расходов от фаз водности, особенно – доминирующее влияние именно максимального стока. В связи с этим избранные интервалы не только удовлетворяют условиям методики Н.И. Маккавеева, но и подтверждают исследования А.Г. Ободовского [16], а также С.С. Левковского [10] и В.Р. Булдея [1], которые установили, что для рек бассейна Днепра изменение полных циклов маловодных и многоводных периодов происходит в течение 25–30 лет.

Таким образом, с целью оценки руслоформирующих расходов воды для 3 гидрологических постов (с. Щуровичи, г. Луцк и с. Млынок), которые расположены на р. Стирь, и постов с. Трийца и с. Большие Млыновцы, которые находятся соответственно на р. Радоставка и Иква, были построены и проанализированы эпюры зависимости (1). Эпюры представлены на рис. 3, а полученные результаты по определению Q_{ϕ} занесены в табл. 4.

Оценка данных результатов свидетельствует, что для рек бассейна Стири наблюдаются два – три диапазона руслоформирующих расходов, что подтверждается исследованиями А.Г. Ободовского [19]. Нижний максимум практически всегда несколько выше среднегодового расхода, с 25–42 % обеспеченности. Такие особенности присущи большинству рек Восточно-Европейской равнины [13]. Общий анализ табл. 4 свидетельствует, что условия прохождения руслоформирующих расходов воды в двух разных периодах существенно различаются. Имеются различия в количестве интервалов руслоформирующих расходов, их величинах и обеспеченности в разные временные промежутки. В течение первого периода (1961–1985) на реках наблюдались по два и даже три интервала Q_{ϕ} . В большинстве случаев руслоформирующие расходы здесь представлены верхним и нижним интервалами. Годовые обеспеченности верхних интервалов расходов являются довольно незначительными, в пределах 0,07–0,2 %, что характеризует расходы воды как близкие к максимальным. В этот период активная руслоформирующая деятельность потока отмечается на всех уровнях русло-пойменного комплекса.

В современный период условия прохождения руслоформирующих расходов воды подвержены определенным изменениям. Как правило, уменьшилось количество интервалов по постам, состоялось вертикальное перераспределение между интервалами. Обеспеченности всех интервалов стали ниже. Все это указывает на изменения в условиях влияния руслоформирующих расходов на трансформацию русло-пойменного комплекса. Тенденции таких изменений прежде всего связаны с особенностями многолетних колебаний водности [2] (рис. 2). На характер руслового режима существенно повлияло общее уменьшение максимального стока. Выход воды на пойму наблюдается уже не каждый год. К примеру, на посту г. Луцк за 1961–1985 гг. пойма затоплялась почти каждый год. За этот 25-летний период 18 лет были достаточно многоводными по максимальному стоку и верхний интервал руслоформирующих расходов проявился в полной мере. За последний 25-летний период (1986–2010) выход воды на пойму был зафиксирован лишь 8 раз.

Углубления русел рек в процессе их спрямления и канализирования (с целью установления судоходных путей на р.Стырь, отвода вод с осушаемых территорий, расчистки русел) вызвали существенное снижение отметок дна и, как следствие, уровней воды. К примеру, на р. Иква, на участке поста с. Большие Млыновцы, в 1975 г. спрямили 700 м русла, дно было углублено на 0,9–1,0 м [7]. Такое хозяйственное влияние на отдельных реках служит причиной того, что весеннее половодье теперь не сопровождается выходом воды на пойму (р. Иква – с. Большие Млыновцы – пойма не затопляется с 1974 г.) (рис. 3,в).



а



б

Рис. 2. Разностные интегральные кривые колебания водного стока рек бассейна Стири:
а – среднегодового стока; б – максимального стока

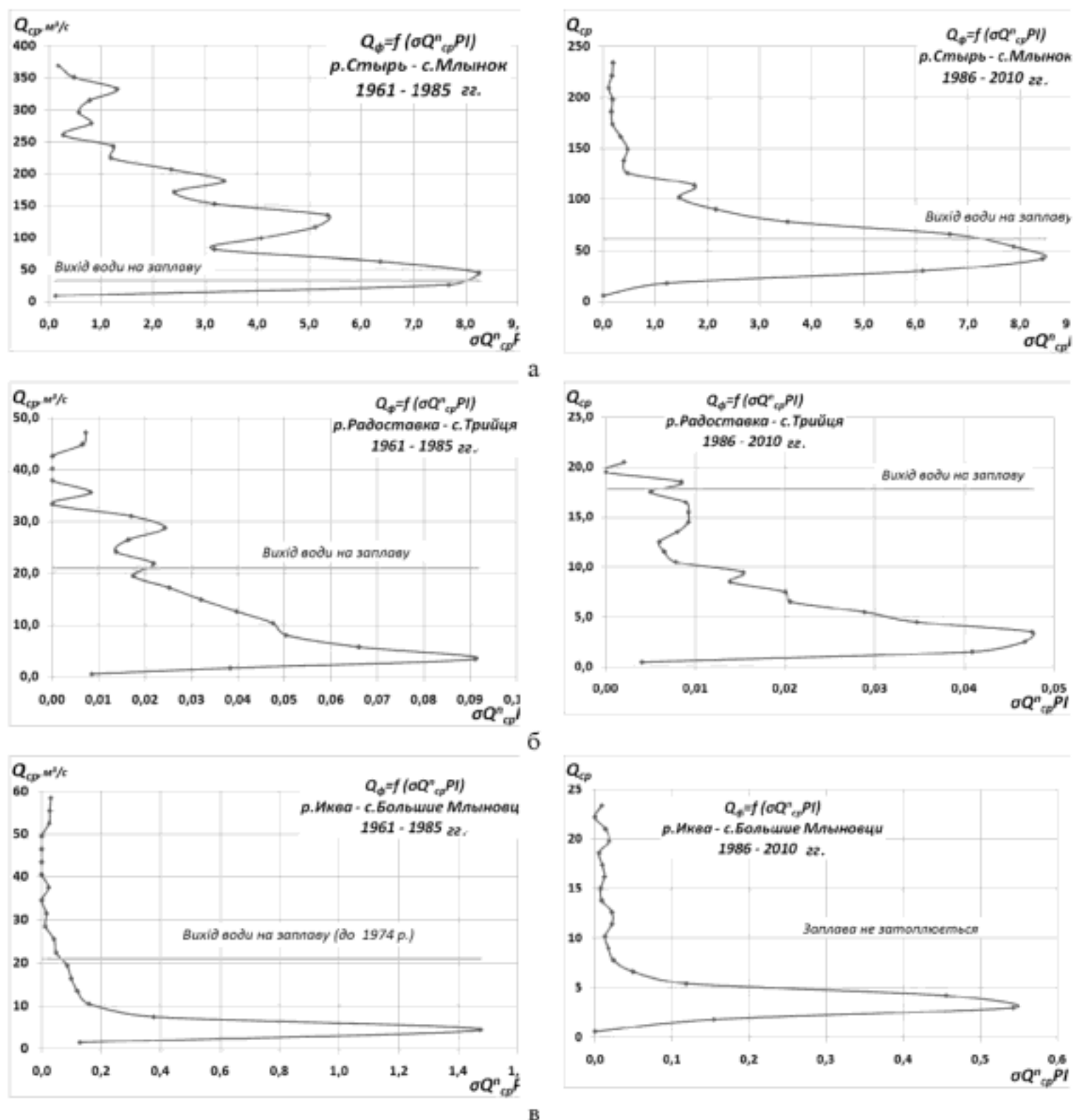


Рис. 3. Эпюры зависимости $Q_{cp}=f(\sigma Q_{cp} PI)$ для г/п рек бассейна Стыри по двум временным периодам:
а – с. Млынок, б – с. Трийця, в – с. Большие Млыновцы

В течение последних 25–30 лет вследствие существенного переформирования русел и общего снижения водности верхний и средний интервалы расходов не проявляются в полной мере, а в ряде случаев вообще исчезают (г. Луцк, с. Трийця) (табл. 4).

Кроме этого, формирование и прохождение руслоформирующих расходов обусловлены еще рядом параметров [5]. К ним относятся фракционный состав наносов русла и поймы, особенности растительного покрова и многообразия русло-пойменного комплекса и морфологические особенности русла, его конфигурация, извилистость, а также уклоны водной поверхности и дна. Перечисленные параметры обуславливают шероховатость русла. Исходя из этого предыдущие исследования в этой области выявили, что прохождению руслоформирующих расходов воды могут соответствовать максимумы скоростных коэффициентов Шези – C ($m^{0.5}/c$) [16; 18]. Таким образом, можно предположить, что руслоформирующий расход зависит от состояния русла, его шероховатости и гидравлических параметров, которые определяют этот показатель. Скоростной коэффициент Шези – C – это составляющая формулы Шези, так называемого уравнения равномерного движения жидкости (2)

$$V \propto C\sqrt{RI}, \quad (2)$$

где V – скорость потока (средняя), м/с; C – коэффициент Шези, который зависит от шероховатости русла, м^{0.5}/с; R – гидравлический радиус русла, м; I – уклон водной поверхности (абсолютный).

Таблица 4

Руслоформирующие расходы воды, рассчитанные по методике Н.И. Маккавеева

Река – пост	Интервал Q_{ϕ}	Годы			
		1961 - 1985		1986 - 2010	
		Q_{ϕ} м ³ /с	$P, \%$	Q_{ϕ} - м ³ /с	$P, \%$
р.Стырь – с.Щуровичи	Верхний	69,0	0,13	69,8	0,12
	Средний	33,0	2,26	29,3	1,95
	Нижний	9,01	39,1	11,3	24,7
р.Стырь – м.Луцк	Верхний	216	0,19	-	-
	Средний	-	-	-	-
	Нижний	40,1	21,8	35,0	22,5
р.Стырь – с.Млынок	Верхний	135	0,9	114	0,71
	Средний	45	21,6	42,0	22,7
	Нижний	-	-	-	-
р.Радоставка – с.Трийца	Верхний	28,8	0,07	-	-
	Средний	21,9	0,09	18,5	0,05
	Нижний	3,46	15,3	3,51	7,74
р.Иква – с.Большие Млыновцы	Верхний	-	-	-	-
	Средний	-	-	-	-
	Нижний	4,50	51,9	3,01	42,9

Параметр C зависит от ряда характеристик, таких как породы, составляющие дно и берега русла, гидравлический радиус R . Кроме того, коэффициент Шези зависит от формы самого русла, его извилистости, характера близлежащей поймы и т.п. Поэтому в научной литературе можно встретить значительный ряд разнообразных расчетных зависимостей и подходов к его определению [23]. Наибольшее практическое применение приобрела формула Н.Н. Павловского [20], которая дает возможность рассчитывать скоростные коэффициенты при разных морфодинамических условиях. По формуле Н.Н. Павловского коэффициент C рассчитывается по уравнению (3), где C и n – обратно пропорциональные величины

$$C \propto \frac{R^y}{n}, \quad (3)$$

где y находится по уравнению (4)

$$y \propto 2,5\sqrt{n} \text{ и } 0,13 \text{ и } 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} \text{ и } 0,1), \quad (4)$$

если $R < 1$ м, то

$$y \propto 1,5\sqrt{n}, \quad (5)$$

если $R > 1$ м, то

$$y \propto 1,3\sqrt{n}, \quad (6)$$

здесь n – безразмерный параметр шероховатости русла и поймы, который зависит от состояния русла (растительность, форма, фракционный состав горных пород русла), для равнинных рек изменяется в диапазоне 0,025 - 0,08; y – показатель степени R , что зависит от величины n .

Если руслоформирующим расходам воды соответствуют максимумы скоростных коэффициентов Шези C , то и энергия потока и его транспортирующая способность, и скорость будут иметь наименьшее сопротивления русла. Таким образом, условия прохождения руслоформирующих расходов соответствуют состоянию потока, при котором силы скоростного напора могут в разы

превышать силы трения. Таким образом, максимумы функции $Q=f(C)$ должны отвечать или быть близки к максимумам зависимости (1).

С учетом вышесказанного для рек бассейна Стыри были построены эпюры зависимости $Q=f(C)$ по данным пяти указанных гидрологических постов. Эпюры построены по данным измеренных расходов воды, где диапазон расходов на графиках (рис. 4) полностью соответствует расходам расчетных интервалов для определения Q_{ϕ} (рис. 3). Коэффициенты Шези C при этом являются нормированными в соответствии с заданными средними расходами интервалов, используемых в методике Н.И. Маккавеева. Связи $Q=f(C)$ также построены для двух расчетных периодов (1961–1985 и 1986–2010) (рис. 4). Это дает возможность сравнивать результаты табл. 5.

Полученные результаты в целом подтвердили предыдущие исследования [16;18]. Из графиков зависимости $Q=f(C)$ (рис. 4) видно, что величины коэффициента C при постепенном возрастании расходов воды существенно изменяются. Коэффициент C при возрастании расходов реагирует больше на смену гидравлического радиуса потока, шероховатости и морфометрии русла. Это подтверждает и обосновывает утверждение о том, что при максимальных значениях коэффициента C имеет место наименьшее общее сопротивление русла. Шероховатость снижается, следовательно, возрастает транспортирующая способность потока.

Таким образом, связи $Q=f(C)$ можно воспринимать как особый метод оценки руслоформирующих расходов воды. Представленные в табл. 5 величины руслоформирующих расходов, полученные данным способом за разные временные периоды, отображают численное сравнительное соответствие Q_{ϕ} , полученных по методу Н.И. Маккавеева и через $Q=f(C)$. Они аппроксимируются зависимостью с коэффициентом корреляции, равным 0,801 (рис. 5).

Представленные в табл. 5 результаты оценки Q_{ϕ} разными способами, имеют несущественные различия. В период 1961–1985 гг. величины руслоформирующих расходов, рассчитанные по методу $Q=f(C)$, в основном меньше относительно Q_{ϕ} , рассчитанных по методу Н.И. Маккавеева. В современный период (1986 – 2010) наблюдается обратное соотношение. Следует заметить, что интервалы Q_{ϕ} проявляются более четко на зависимостях $Q=f(C)$. Это в первую очередь объясняется тем, что методика Н.И. Маккавеева предусматривает вероятность превышения, повторяемость одного интервала расходов по отношению к другому. А метод $Q=f(C)$ заключается в выявлении условий, при которых гидравлические параметры потока будут наиболее благоприятны для прохождения руслоформирующих расходов воды.

Таким образом, применение указанного метода оценки руслоформирующей деятельности потока имеет высокую степень целесообразности, т.к. не требует длинных рядов данных (для методики Н.И. Маккавеева необходимы данные за 25-30 лет, т.е. 9125-10950 ежедневных расходов воды [16; 26]). Для оценки руслоформирующих расходов зависимостью $Q=f(C)$ достаточно лишь материалов измеренных расходов воды, что однозначно усиливает метод.

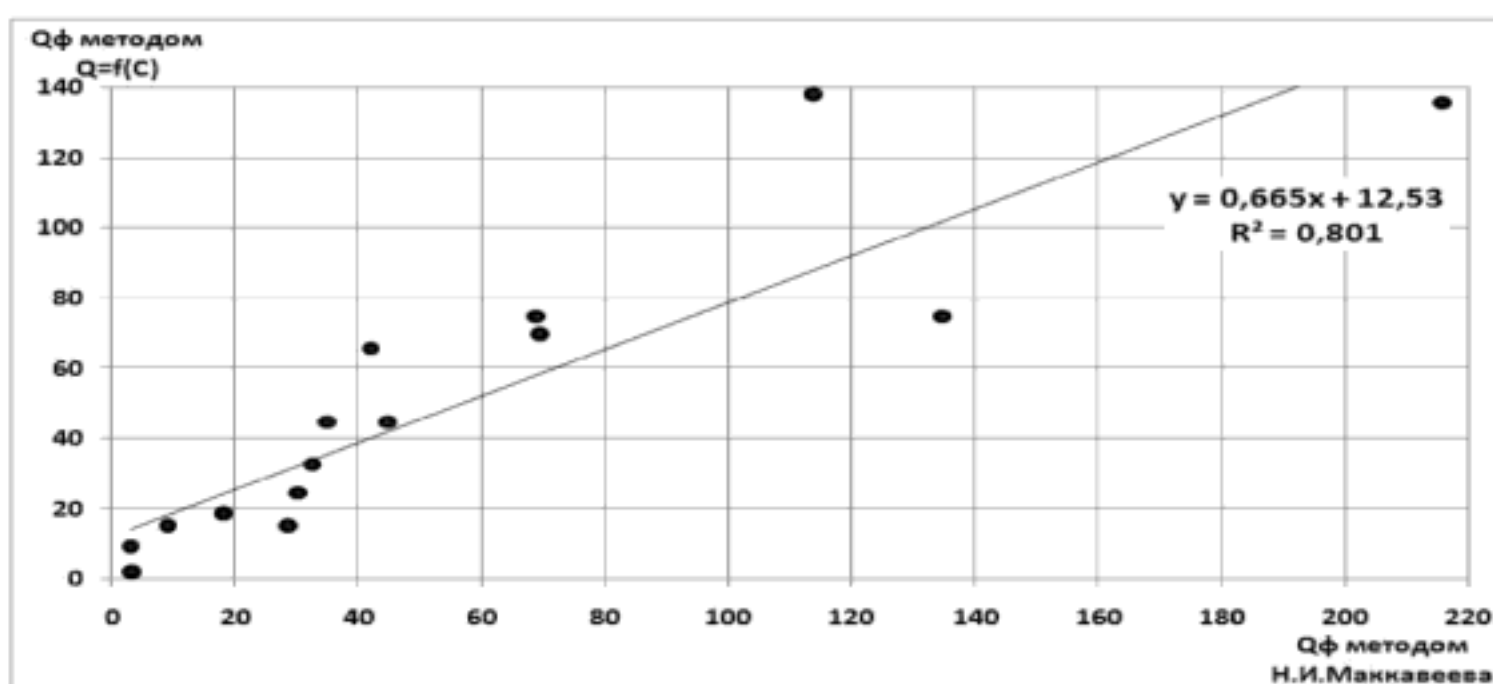


Рис. 5. Сравнительная зависимость руслоформирующих расходов воды, рассчитанных методом $Q=f(C)$, от руслоформирующих расходов, полученных методом Н.И. Маккавеева

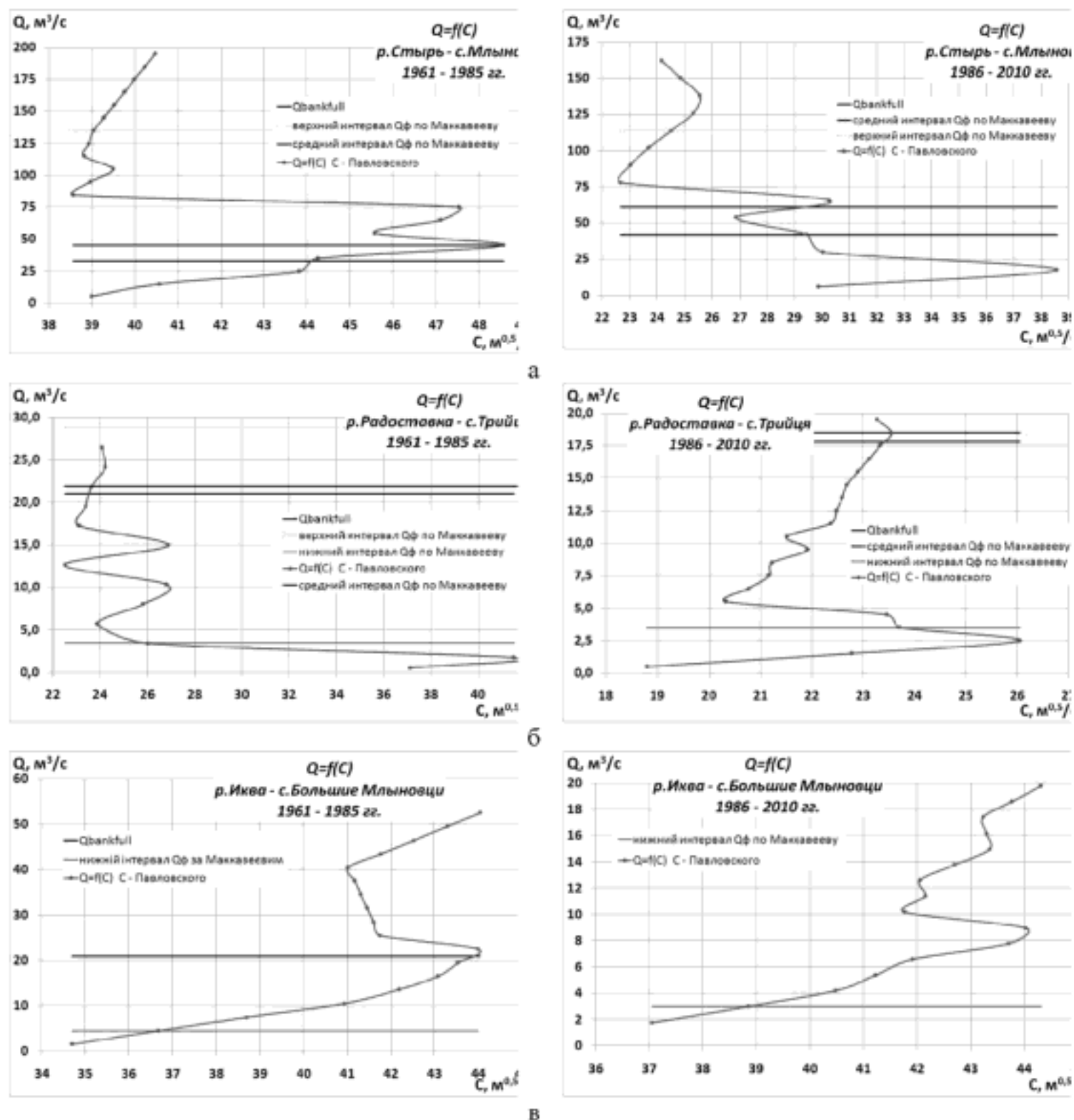


Рис. 4. Эпюры зависимости $Q=f(C)$ для г/п рек бассейна Стыри по двум временным периодам:
а – с. Млынок, б – с. Трийця, в – с. Большие Млыновцы

Выводы

Пространственно-временная оценка руслоформирующих расходов воды рек бассейна Стыри выполнена по данным двух расчетных временных периодов по 25 лет (1961-1985 и 1986-2010). Временные интервалы соответствуют фазам водности рек и удовлетворяют условиям методики Н.И. Маккавеева. Величины руслоформирующих расходов воды рек бассейна Стыри (полученные по методике Н.И. Маккавеева) в большинстве случаев проявляются на двух интервалах. Верхний интервал расходов (на пойме) выделяется не очень четко, что говорит о недостаточной повторяемости соответствующих максимальных расходов воды. Нижний и средний интервалы (в русле и в пределах бровок соответственно) проявляются в зависимости от размеров реки и характера изменчивости водности.

Таблица 5

Сравнительная таблица полученных руслоформирующих расходов по методу Н.И. Маккавеева и через $Q=f(C)$

Река - пост	Интервал Q_{ϕ}	Методика Н.И.Маккавеева		Методика $Q=f(C)$		Методика Н.И.Маккавеева		Методика $Q=f(C)$	
		1961 - 1985				1986 - 2010			
		Q_{ϕ}	C	Q_{ϕ}	C	Q_{ϕ}	C	Q_{ϕ}	C
		m^3/c	$m^{0.5}/c$	m^3/c	$m^{0.5}/c$	m^3/c	$m^{0.5}/c$	m^3/c	$m^{0.5}/c$
р.Стырь – с.Щуровичи	Верхний	69	33,7	75	33,9	869,	31,1	69,8	31,2
	Средний	32,5	31,9	33	31,9	530,	31,6	24,8	37,2
	Нижний	9,01	31,7	15	33,7	311,	32,1	-	-
р.Стырь – м.Луцк	Верхний	216	35,9	136	39,4	-	-	105	39,5
	Средний	-	-	56	47,8	-	-	75	47,5
	Нижний	40,1	47	-	-	135,	44,3	45	48,6
р.Стырь – с.Мильнок	Верхний	135	39,0	75	47,5	114	24,5	138	25,6
	Средний	45	48,6	45	48,6	42	29,4	66	30,3
	Нижний	-	-	-	-	-	-	18	38,6
р.Радоставка – с.Тригиз	Верхний	28,8	-	15,0	26,9	-	-	-	-
	Средний	21,9	23,7	-	-	518,	23,6	18,5	23,6
	Нижний	3,46	26	1,73	41,2	13,5	23,7	2,51	26,1
р.Иква – с.Большие Млыновцы	Верхний	-	-	-	-	-	-	-	-
	Средний	-	-	22,5	44	-	-	-	-
	Нижний	4,5	22,1	-	-	13,0	14,6	9,01	44

Анализ связей $Q=f(C)$ подтвердил соответствие руслоформирующих расходов воды максимумам скоростных коэффициентов Шези. По аналогии с методикой Н.И. Маккавеева выявленные особенности таких соответствий позволяют определять Q_{ϕ} как максимумы функции $Q=f(C)$. Применение данного способа актуализируется через обусловленность Q_{ϕ} высоким энергетическим потенциалом с низкими значениями сил трения, которые показательно проявляются на зависимостях $Q=f(C)$. Это лишь усиливает объективность полученных результатов.

Библиографический список

1. Булдей В.Р. Гидромелиоративное строительство и охрана окружающей среды. К.: Будівельник, 1980. 200 с.
2. Василенко Є.В., Дутко В.О., Коноваленко О.С., Данько К.Ю. Закономірності внутрішньорічного розподілу стоку річки Стир та особливості його змін // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія . 2011. Т.1 (22). С.80-87.

3. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно гідрологічний аналіз). К.: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
4. Гришанин К.В. Теория руслового процесса. М.: Транспорт, 1972. 215 с.
5. Данько К.Ю. Оцінка типів русел річки Стир та умов їх стійкості // Молоді науковці – географічній науці: Збірник наукових праць Всеукраїнської конференції з міжнародною участю. К.: Видавництво географічної літератури «Обрії», 2012. Вип. VIII. С. 223-226.
6. Дутко В.О., Москаленко С.О. Особливості паводкового режиму річок басейнів Західного Бугу та Правобережжя Прип'яті // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2008. Т.15. С.63-68.
7. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. I. Реки и каналы. Т. II Украинская ССР. Вип. 2. Бассейн Днепра.
8. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Бабіченко. К.: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
9. Климчук Л.М., Блінов П. В., Велічко В.Ф. та ін. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності. Київ, 2008.
10. Левковский С.С. Водные ресурсы Украины. Охрана и использование. К.: Вища школа, 1979. 200 с.
11. Лохтин В.М. О механизме речного русла. Казань, 1895. 76 с.
12. Лук'янець О.І., Сусідко М.М. Річки правобережжя Прип'яті в періоди високої водності: повторюваність дощових паводків та особливості гідрологічного режиму // Наукові праці УкрНДГМІ. 1999. Вип. 247. С.136-143.
13. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
14. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.
15. Материалы по типизации рек Украинской ССР / Н.И. Дрозд. К.: Изд-во АН УССР, 1953. 349 с.
16. Ободовський О.Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України). К.: Ніка-Центр, 2001. 274 с.
17. Ободовський О.Г., Данько К.Ю. Просторово-часова динаміка руслоформуючих витрат води річки Десна // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2013. Т.1 (28). С.29-37.
18. Ободовский А.Г. Руслоформирующая деятельность рек равнинной части Украины и ее экологический аспект // Экологические проблемы эрозии почв и русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1992. С.134-141.
19. Ободовський О.Г., Цайтц Є.С. Руслові процеси // Малі річки України. Довідник / За ред. А.В. Ящика. К.: Урожай, 1991. С.144-151.
20. Павловский Н.Н. Гидравлический справочник ОНТИ. Л.- М., 1937.
21. Подтоплением Дубну необходимые средства / Примак Август / Legal Smoke: [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <http://legalsmoke.ru/podtoplennom-dubnu-neobxodimye-sredstva/>
22. Рельєф України. Навчальний посібник / Б.О. Вахрушев, І.П. Ковальчук, О.О. Комлев, Я.С. Кравчук, Е.Т. Палієнко, Г.І. Рудько, В.В. Стешок. За загальною редакцією В.В.Стецюка. К.: Видавничий дім "Слово", 2010. 688 с.
23. Ржаницын Н.А. Речная гидравлика. Ч. I. Расчет руслового стока / ОНТИ Энергоиздат. М.-Л., 1934. 209 с.
24. Управление водными ресурсами бассейна р. Припять / под общей ред. М.Ю. Калинина и А.Г. Ободовского. Минск: Белсэнь, 2008. 269 с.
25. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. I: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
26. Чалов Р.С., Виноградова Н.Н., Зайцев А.А. Практические работы по курсам «Воднотехнические изыскания» и «Русловые процессы» / под ред. проф. Р.С.Чалова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. 128 с.
27. Leopold L.B., Wolman M.G. River channel patterns – braided, meandering and straight // US Geol. Surv. Prof. Pap. 1957. 282-B. P. 1-85.
28. Rosgen D. Applied river morphology. Minneapolis, Minnesota: Printed Media Company. 1996. Second edition. 342 p.

K.Y. Danko, O.G. Obodovskyi

SPATIOTEMPORAL ASSESSMENT OF RIVER BED FORMATION' DISCHARGE OF STYR BASIN

The representative periods for assess river's bed formation discharge that based on conducted assessment of the annual and maximum runoff fluctuations of Styr river were allocated. The spatiotemporal assessment of bed formation discharge of Styr river's basin were performed according to N.I. Makkaveev technique. The compliance between river's bed formation discharge and picks of Chezy coefficient was confirmed. An alternative approach to assessing river's bed formation discharge based on graphs $Q=f(C)$ was offered.

K e y w o r d s: river bed formation discharge; Styr basin rivers; Chezy coefficient of velocity; period of water content; bed formation activity of stream.

Danko Konstantin Yuriyovych, graduate student, engineer of the first category of Taras Shevchenko National University of Kyiv; 64/13 Volodymyrska St., City of Kyiv, Ukraine 01601; dankoconst@gmail.com

Obodovskyi Olexandr Grygorovych, Doctor of Geography, Professor, Professor of the Hydrology and Hydroecology Departmant, Deputy Dean, research affaires of Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13 Volodymyrska St., City of Kyiv, Ukraine 01601; obodovskiy@univ.kiev.ua