

МАСШТАБНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПОТОК-РУСЛО ПО ДЛИНЕ РЕК

Алексеевский Н.И.

МГУ, Москва, , n_alex50@mail.ru

SCALE EFFECTS OF CHANGE OF STREAM-CHANNEL SYSTEM CHARACTERISTICS IN RIVERS

Alekseevsky N.I

MSU, Moscow, n_alex50@mail.ru

Рассмотрены масштабные эффекты изменения гидрографических, осредненных гидрологических и морфодинамических характеристик системы поток-русло в различных звеньях древовидной структуры русловой сети крупных водосборов России.

Scale effects of change of hydrographic, hydrological and morphodynamics characteristics of stream-channel system in various places of tree-like structure networks of large basin of Russia are considered.

Системой поток-русло считается участок реки или ее конкретный поперечный створ, в пределах которых существует постоянное или временное взаимодействие водного потока и речных (пойменных и русловых отложений), приводящее к формированию количественного соответствия гидравлических и морфометрических характеристик водного потока и русла. В многолетнем, межгодовом и сезонном масштабах времени указанное соответствие может нарушаться на относительно короткое или длительное время. Это сопровождается изменением направленности и интенсивности русловых переформирований, сменой морфодинамических типов русла, увеличением или уменьшением объема речных отложений.

Характеристики системы поток-русло зависят от некоторой совокупности факторов. Зональные факторы определяют условия увлажнения водосборных территорий и величину составляющих речного стока, тип водного режима. В масштабах сезонной изменчивости речного стока большинство характеристик системы поток-русло – нелинейная функция изменяющихся расходов воды. Орографические факторы влияют на тип рек (горные и равнинные), морфологию долин и русел, их уклоны. При переходе от горных к равнинным рекам уменьшается их уклон, возрастает вероятность формирования рек с широкой поймой. От гидрографических факторов зависит размер (порядок N) водотоков и, следовательно, размер системы поток-русло. Тип рек, сезонное изменение фаз водного режима и размер рек влияют на гидравлические характеристики потока, вероятность формирования бурного или спокойного состояния потока, выраженность турбулентного режима течения.

Осредненные за многолетний период времени характеристики системы изменяются по длине рек в зависимости от их порядка [1]. Масштабный эффект изменения i -той характеристики системы поток-русло x_i учитывает коэффициент $K_i = x_i(N)/x_i(N-1)$. Он соответствует коэффициенту бифуркации Р.Хортона или параметру степенной функции $x_i(N) = x_i(N=1)N^{K_i}$ (фрактальной размерности). Исторически первые оценки масштабных эффектов принадлежат Р. Хортону. В настоящее время «законы Хортона» сохранили лишь академическое значение, поскольку были получены в предположении о постоянстве порядка главной реки от ее истока к устью. Развитие идей Хортона привело к формированию представлений о непрерывном изменении

порядка главной реки вследствие впадения малых, средних и крупных притоков. В зависимости от критерия выбора реки с порядком $N = 1$ получались отличающиеся оценки выраженности масштабного эффекта. Принимая в качестве реки $N_p = 1$ временные водотоки в овражно-балочной сети, Н.А. Ржаницын [4] показал, что коэффициент масштабных изменений протяженности русловой сети K_L – функция зональных факторов. Для степных, лесных и заболоченных водосборов центра европейской части России коэффициент K_L соответственно равен 1,83; 1,41 и 1,26. При этом площади водосборов нарастают в соответствии с величиной $K_F = 3$, независимо от природных условий. В предположении, что реки $N_q = 1$ – постоянные водотоки с длиной 10–15 км, Е.А. Черных [5] установила, что в разных частях бассейна Камы $K_L = 1,4 \div 1,9$. В рамках системы кодирования рек, предложенной А. Шайдеггером (река $N_{ш} = 1$ – водоток длиной менее 10 км, $N_{ш} = 1 + \log_2 S$, где S – число таких водотоков в бассейне главной реки выше расчетного створа). Увеличение порядка реки от $N_{ш}$ к $N_{ш+1}$ приводит к увеличению количества водотоков в среднем в 1,6 раза, а их протяженности – в 1,3 раза. По данным А.Г. Косицкого [2], величина K_L зависит от густоты речной сети ξ . Чем больше эта гидрографическая характеристика, тем меньше выражено масштабное изменение длины рек при увеличении $N_{ш}$. Закономерное уменьшение K_L описывает уравнение $K_L = 1,41 - 0,18 \xi$. При этом площадь водосборов рек увеличивается в соответствии с величиной $K_F = 2$, а продольные уклоны естественных водотоков – уменьшаются, поскольку $K_I = 0,7$. По данным Е.А. Черных [4], в разных районах бассейна Камы величина K_I изменяется от 0,37 до 0,65 (при изменении N_q в пределах от 2 до 15).

Н.А. Ржаницын [3] первым обнаружил закономерное увеличение средних многолетних расходов воды при возрастании размера рек N_p . Несмотря на различия условий формирования среднего многолетнего стока степных, лесных и заболоченных водосборов центра России, оказалось, что величина $K_Q = 2,83$. Увеличение максимальных расходов воды происходит медленнее, поскольку $K_{Qmx} = 2,24$. Наши исследования показывают, что увеличение порядка изученных рек с $N_{ш}$ до $N_{ш+1}$ сопровождается возрастанием нормы стока воды Q в 2 раза [1]. Это обусловлено аналогичным изменением площадей водосборов и зональным «постоянством» модуля стока воды. Для максимальных и минимальных расходов воды средняя величина коэффициентов масштабных изменений (K_{Qmx} и K_{Qmn}) соответственно равна 1,8 и 2,3. Они испытывают значительную пространственную изменчивость, которая обусловлена редуционными свойствами речных бассейнов. Наименьшие масштабные изменения максимальных расходов воды наблюдаются на реках лесной и лесостепной зон ($K_{Qmx} = 1,7$). В большей степени возрастают максимальные расходы воды рек в зоне тайги ($K_{Qmx} = 1,8 \div 1,9$). Наоборот, минимальные расходы воды рек этой природной зоны испытывают менее выраженное масштабное изменение по сравнению с реками степных регионов. Данная закономерность контролируется пространственным изменением величины редуционных коэффициентов стока. Уменьшение модуля стока при увеличении размера реки выражено тем меньше, чем больше густота речной сети.

По длине рек происходят закономерные изменения среднего многолетнего расхода взвешенных наносов R_0 . В разных природных условиях коэффициент K_R колеблется в пределах от 1,8 до 2,3 (в среднем равен 2,1). Территориальная изменчивость K_R контролируется соответствующим изменением модуля стока воды и ее мутности. По данным А.Г. Косицкого, связь между величиной K_R и модулем стока M_Q ($M_Q > 3$ л/с·км²) имеет вид $K_R = 0,068 M_Q + 1,64$. Увеличение среднего многолетнего расхода влекомых наносов G_0 вдоль речных систем выражено слабее по сравнению с изменением R . Величина коэффициента K_G колеблется в пределах $1,2 \div 1,6$ (средняя величина равна 1,4). Неравенство $K_G < K_R$ обусловлено уменьшением доли влекомых и увеличением доли взвешенных наносов в суммарном их стоке при возрастании размера реки.

Подобие рек существует не только в отношении гидрографических и гидрологических характеристик системы поток-русло. Оно в полной мере относится и к морфометрическим

характеристикам [4]. При увеличении порядка реки $N_{ш}$ коэффициент K_B изменяется от 1,3 (бассейн Колымы) до 1,6 (бассейн Печоры) [1]. При увеличении $N_{ш}$ от 6 до 14 ширина речных русел в бассейне Дона возрастает с 13,8 до 240 м ($K_B = 1,4$). Большая изменчивость средней скорости течения v_0 и глубины потока h_0 по длине рек в значительной мере обусловлена морфологией участка реки. Поэтому закономерное изменение характерно лишь для произведения $v_0 h_0$. Поскольку коэффициент масштабных изменений средних многолетних расходов воды $K_Q = 2$, а средней ширины русла $K_B = 1,4$ (или $\sqrt{2}$), то коэффициент масштабного изменения произведения $v_0 h_0$ также равен $\sqrt{2}$ (в соответствии с уравнением неразрывности). Поэтому (при $N_{ш} = \text{const}$) существует согласованное изменение скорости и глубины потока. В плесовых ложинах скорости потока относительно малы по сравнению с перекатами, а глубины, наоборот, меньше на перекатах и больше в плесах.

Высота разных типов гряд, представленных в структуре руслового рельефа на перекатах и находящихся в динамическом соответствии с гидродинамической структурой водного потока, пропорциональна N_q^2 , а их длина возрастает в 3,5÷4,6 раз (в зависимости от типа гряд) при увеличении N_q на единицу. Тип гряд влияет и на масштабные изменения скорости их смещения. Закономерности эволюции элементов иерархии гряд в период половодья обуславливают синхронное снижение скорости одних (смываемых) типов гряд ($K_{cd} = 0,28 \div 0,38$) и возрастание скорости других (активно смещающихся) типов гряд ($K_{ca} = 4,6 \div 5,4$). В межень эта эволюция характерна только для микроформ руслового рельефа. Их скорость смещения обратно пропорциональна порядку реки N_q , а коэффициент ее масштабного $K_{cd} = 0,5$. Эта закономерность соответствует известной в теории руслового процесса качественной формуле К.В. Гришанина: «в крупных реках гряды перемещаются медленнее».

В зависимости от порядков рек находятся параметры излучин. Исследования О.М. Пахомовой [3] в бассейне р. Белая показали, что шаг и длина излучин, стрела прогиба и радиуса их кривизны закономерно изменяются при увеличении размера реки $N_{ш}$. Для малых и средних рек характерно, что увеличение размера реки с $N_{ш}$ до $N_{ш} + 1$ сопровождается увеличением этих параметров соответственно на 29; 30; 25 и 24%. Одновременно изменяется (возрастает) объем русловых и пойменных отложений. Эта закономерность вполне ожидаема, поскольку мощность русловых и пойменных отложений линейно увеличивается с возрастанием средних многолетних расходов воды.

Таким образом, масштабные эффекты – особое свойство русловых систем водосборных территорий к трансформации стока и характеристик системы поток-русло. Они прослеживаются в их закономерном изменении при увеличении размера (порядка) рек. Коэффициент масштабных изменений зависит от типа характеристик системы поток-русло, вида речного стока. Чаще всего величина $K_i > 1$, а в общем случае $0 < K_i \leq 7$.

Литература

1. Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н., Косицкий А. Г. Масштабные эффекты изменения стока в русловой сети территории//География, общество и окружающая среда. Т. VI: Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы. М.: Издательский Дом «Городец», 2004. С.345–374.
2. Косицкий А.Г. Особенности формирования речного стока в разных природных условиях // Вестник МГУ, Сер. 5 География, 1999, №1.
3. Пахомова О. М. Горизонтальные русловые деформации и их связь с порядковой структурной речной сети//Геоморфология. 2002. № 4.
4. Ржаницын Н. А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 238 с.
5. Черных Е.А., Опыт применения гидроморфометрического подхода для изучения рек бассейна Камы //Гидрология и метеорология, вып. 7, Пермь, 1974.