

СТОК НАНОСОВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РУСЕЛ РЕК БАССЕЙНА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ¹

Общепризнанным в русловедении является положение о том, что одним из ведущих факторов русловых процессов является сток наносов [1–3]. Однако реализация его, как правило, ограничивается изучением структуры грядового рельефа дна русел, оценками баланса наносов по длине рек для выявления направленности и темпов вертикальных русловых деформаций, включением его характеристик в математические модели русловых процессов, причем в последнем случае во внимание принимается только сток взвешенных наносов. Гидролого-морфологический анализ форм проявления русловых процессов, как правило, приводится с использованием различных характеристик водности рек. И хотя образование и эволюция русел разных морфодинамических типов, отдельных форм и комплексов форм русла и руслового рельефа определяются величиной стока наносов, соотношением в нем взвешенной и влекомой составляющих, соответствующие оценки или вообще не приводятся, или ограничиваются общими соображениями. Причина этого кроется в отсутствии надежных данных о стоке влекомых наносов. Это связано как с недостаточностью измерений на гидрологических постах, так и, главное, несовершенством самих методов измерений, применение которых приводит при расчетах к искажениям, как правило, в сторону многократного занижения величины стока влекомых наносов. Отдельные попытки связать параметры русел с характеристиками стока взвешенных наносов оказались безуспешными [2]. Исключение представляют реки с очень большим стоком наносов, у которых транспортирующая способность практически полностью реализуется перемещением взвешенного материала, который в этом случае является руслообразующим. В этом отношении выделяются исследования китайских ученых (их обзор был сделан Р.С. Чаловым и др. [4]), однако и в их трудах анализ связей “параметры русла – характеристики стока наносов” отсутствует.

Другой причиной создавшегося положения является то, что из-за занижения данных о стоке влекомых наносов в литературе устоялось представление об абсолютном преобладании в стоке наносов взвешенной составляющей (80–97%), причем меньшие значения этого соотношения присущи горным рекам, а большие – равнинным [5, 6]. Это противоречит реальным данным о морфологии русел и о степени развитости грядовых форм руслового рельефа, оценкам стока наносов по смещению побочней [1, 7] и др.

С появлением методики расчета стока влекомых наносов по зависимости размеров и скоростей смещения гряд разных размеров в половодье и межень, предложенной Н.И. Алексеевским [8], появилась возможность оценки влекомой составляющей стока наносов. Ее использование для рек бассейнов Оки [9], Камы [10], Северной Двины, Оби, Лены, Хуанхэ, Янцзы [4], Волги [11] впервые дало возможность оценить фактический вклад стока наносов в русловые процессы. Однако и в этих работах отсутствовал гидролого- (с точки зрения стока наносов) морфологический анализ речных русел. Возникающий пробел в известной мере позволяют восполнить (или, во всяком случае, наметить пути дальнейших поисков в этом направлении) расчеты стока наносов и исследования их соотношений с морфологическими характеристиками русел рек бассейна Северной Двины.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 03-05-64302) и в рамках программы Государственной поддержки ведущих научных школ (проект НШ – 1443.2003.5).

Характеристики стока взвешенных наносов рек бассейна Северной Двины

Река	Гидрологический пост	Q_{cp} , м ³ /с	m	ρ , г/м ³	R , кг/с	W_R , тыс. т	M_R , т/км ² × год
Северная Двина	Абрамково	1930	2.00	22	42.5	1320	6.0
	Звоз	2570	–	22	56.5	1793	6.2
	Усть-Пинега	3310	2.31	37	122	3860	11.1
Сухона	Каликино	431	1.74	46	19.8	630	12.8
Кубена	Кубинская	45.4	1.68	9.8	0.4	13	2.7
Масляная	Семшино	2.41	1.34	9.8	0.024	0.745	3.0
Толшма	Пузовка	9.83	–	21	0.24	7.5	6.8
Юг	Гаврино	289	2.01	74	21.4	670	19.3
Шарженга	Калинино	12.4	2.00	86	1.0	33	21.5
Кичменьга	Захарово	20.6	2.14	34	0.71	22.4	11.1
Луза	Красавино	119	1.94	46	5.6	180	11.0
Вычегда	Малая Кужба	236	1.79	32	7.6	240	9.0
	Сыктывкар	625	2.25	47	30	946	14.1
	Федяково	1010	2.02	31	32	1000	8.9
Вишера	Лунь	78.3	1.81	19	1.5	47	6.0
Локчим	Бояр-Керос	52.3	–	16	0.79	25	4.1
Сысола	Первомайский	94.3	2.12	7.7	0.73	23	5.9
Вымь	Шомвуква	94.3	–	7.7	0.73	23	3.4
	Весляна	188	2.18	28	5.2	164	8.6
	Половники	264	2.52	57	15	473	18.8
Яренга	Тохта	48.5	2.11	8.5	0.29	9.1	1.8
Нижняя Тойма	Метил	17.6	1.93	9.4	0.16	5.1	3.4
Вага	Филиевская	101	1.66	42	4.2	132	10.0
	Усть-Сюма	372	–	15	5.58	180	4.1
Вель	Баламутовская	48.4	1.89	54	2.6	82	16.9
Устья	Назаровская	34.6	1.60	23	0.82	26	6.0
Ледь	Зеленинская	16.7	2.09	11	0.17	5.5	2.5
Емца	Сельцо	74.0	2.34	22	1.6	50.5	6.3
Пинега	Кулогоры	384	2.07	29	11	347	9.5

Примечание. Q_{cp} – норма стока, m – коэффициент уравнения $R = f(Q^m)$, ρ – мутность, R – расход взвешенных наносов, W_R – сток взвешенных наносов, M_R – модуль стока взвешенных наносов.

Выбор объекта наших исследований определяется практически абсолютной ненарушенностью природных факторов русловых процессов рек бассейна Северной Двины, что обусловило “чистоту” получаемых выводов и репрезентативность применения методики Н.И. Алексеевского (без введения в нее поправок на возможные антропогенные изменения факторов).

Бассейн Северной Двины – одной из крупнейших рек севера Европейской России – недостаточно изучен в отношении руслового режима и стока наносов. Имеющиеся сведения касаются в основном главных рек – Северной Двины и нижней Вычегды [4, 12], причем только для Северной Двины дана полноценная характеристика стока наносов. Для юга бассейна И.Г. Джухой дана характеристика русел малых рек, но без увязки со стоком наносов [13].

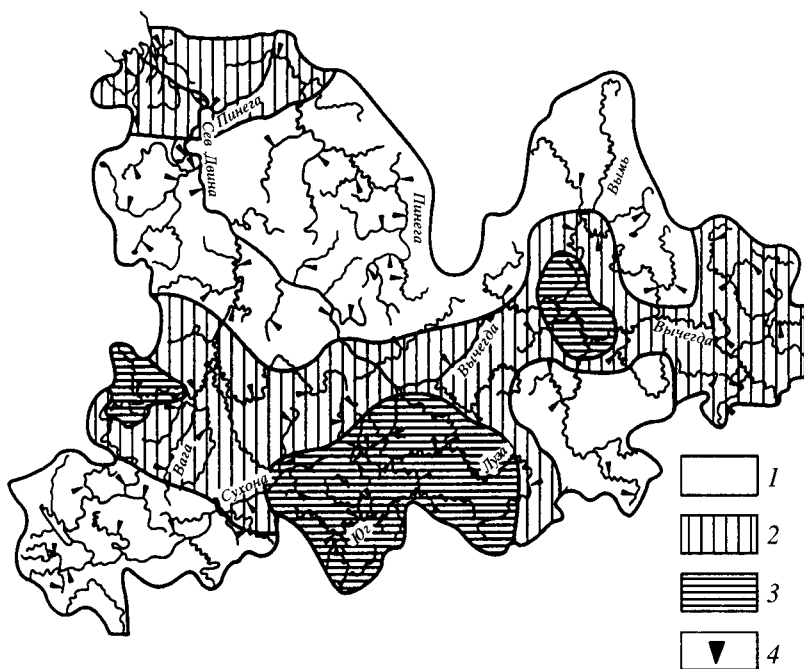


Рис. 1. Мутность воды на реках бассейна Северной Двины, г/м³
 1 – 6–25, 2 – 26–40, 3 – >41; 4 – гидрологические посты

Бассейн Северной Двины – обширная лесистая, слабовсхолмленная равнина, приподнятая по краям и медленно понижающаяся на северо-запад. С юга она ограничена Северными Увалами, с востока – Тиманским кряжем. По характеру водного режима все реки бассейна принадлежат к восточноевропейскому типу. Его многоводной фазой является короткое весеннее половодье, на которое приходится от 50 до 65% годового стока. Основные притоки Северной Двины – Сухона, Юг, Вычегда, Вага и Пинега. В геолого-геоморфологическом отношении приуроченность бассейна к центральной и северной частям Московской синеклизы, сложное распространение моренных суглинков, древнедельтовых песчаных отложений микулинского межледниковья, морских глин и аллювиальных песков [14] вместе с коренными отложениями создают пеструю картину чередования свободных и ограниченных условий развития русловых деформаций на реках бассейна, распространения врезанных, адаптированных и широкопойменных русел [15].

Сток наносов

Характеристики стока взвешенных наносов определены по стандартной методике по данным 29 гидрологических постов Росгидромета (30–80-е гг. XX века) на 22 реках бассейна (табл. 1). На этой основе составлена карта мутности рек (рис. 1), значительно уточняющая и детализирующая для этого региона “Карту мутности рек СССР” [16]. Выделено три группы районов с мутностью речной воды: 1 – 6–25 г/м³; 2 – 26–40 г/м³; 3 – более 41 г/м³. К первой группе относятся верхняя часть бассейна Сухоны, охватывающая Прикубенскую низменность, северо-западную часть бассейна Северной Двины до впадения Пинеги и локальные участки в бассейне Вычегды (в районе устья Яренги) и ее притоков. Мутность выше 41 г/м³ характерна для рек бассейна Юга, нижней Сухоны, верховьев Ваги, среднего течения Вычегды и нижнего течения Выми. Наибольшие значения мутности в бассейне отмечены для рек, стека-

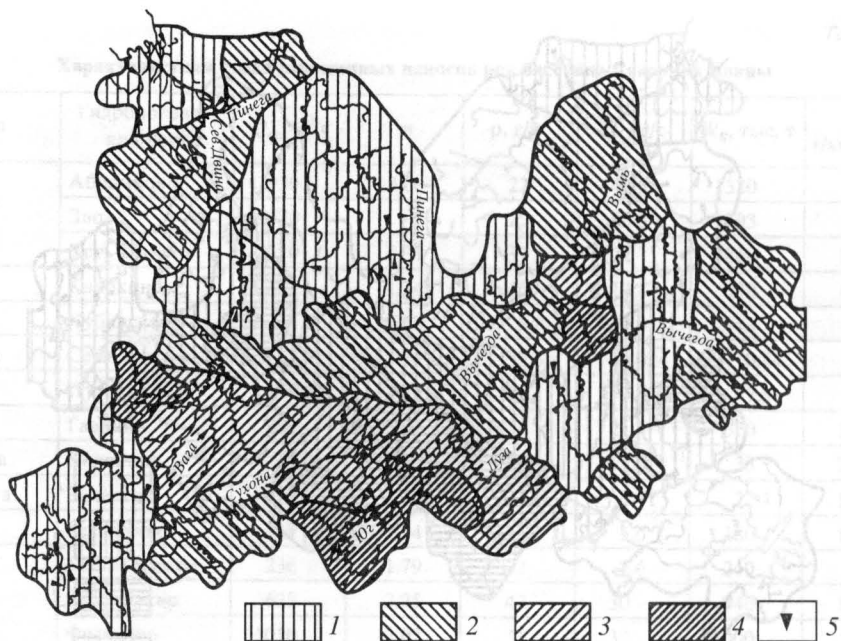


Рис. 2. Схема районирования бассейна Северной Двины по модулю стока взвешенных наносов M_R , $\text{т/км}^2 \times \text{год}$
 1 – 2–6, 2 – 6–10, 3 – 10–14, 4 – >14; 5 – гидрологические посты

ющих с возвышенностей (Северные Увалы и др.). Остальная часть бассейна относится к районам со средним интервалом мутности – $26\text{--}40 \text{ г/м}^3$.

На большей части площади бассейна, характеризующейся равнинностью и малыми уклонами местности, эрозионные процессы развиты сравнительно слабо. Исключение составляют окраинные части бассейна, а также пояс конечных морен, где реки протекают в более глубоких долинах, имеют относительно большие уклоны и скорости течения. Ослабленной эрозии способствуют климатические факторы, свойства почв и грунтов, находящихся большую часть года в увлажненном или мерзлом состоянии, и, наконец, сплошная залесенность (относительно большая освещенность и сведение лесов на Прикубенской низменности компенсируется ее равнинностью и преобладанием глинисто-торфяных отложений). Поэтому мутность речных вод невелика и у большинства рек меньше 50 г/м^3 (табл. 1), благодаря чему весь бассейн входит в зону низкой средней мутности рек Северной Евразии [16].

Основной сток взвешенных наносов приходится на половодье, превышая меженный в 1.5–2 раза, а на некоторых реках – более чем в 5 раз. По длине рек он увеличивается вниз по течению в общем пропорционально росту водности реки. Однако сетка районов, выделенных по модулю стока взвешенных наносов (рис. 2), более сложна, хотя в ряде случаев совпадает с районами по мутности рек. Максимальное его значение ($21.5 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$) наблюдается на р. Шарженьге в бассейне Юга. По величине модуля выделены четыре группы районов. Бассейны Юга, Выми и верхней Вычегды относятся к районам с самыми большими величинами модуля (свыше $12 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$). Бассейны верхней Сухоны, включая Прикубенскую низменность, нижней Ваги, северо-западной части бассейна Северной Двины и некоторых притоков верхней Вычегды (Вишеры, Локчима) характеризуются очень низкими (ниже $7 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$) его значениями. Остальная часть бассейна расположена в зоне с модулями стока наносов от 7 до $12 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$.

Составленная схема в еще большей мере, чем районирование по мутности воды, уточняет и детализирует для бассейна Северной Двины “Карту модуля стока взве-

Сток влекомых наносов на реках бассейна Северной Двины

Река	Гидрологический пост	Порядок реки (по А. Шайдеггеру), N	Расход влекомых наносов, G , кг/с	Сток влекомых наносов, W_G , тыс. т	Суммарный расход наносов, $G + R$, кг/с	Соотношение стока влекомых и взвешенных наносов, W_G/W_R
Северная Двина	Абрамково	10.6*	22.5*	710*	65.0	0.53
	Звоз	11.0*	19.4*	610*	25.1	3.43
	Усть-Пинега	11.5*	20.6*	650*	407.5	0.05
Сухона	Каликино	8.5*	12.7*	400*	32.5	0.64
Кубена	Кубинская	5.3	2.54	80	2.9	6.34
Масляная	Семшино	2.0	0.63	20	0.7	26.8
Толшма	Пузовка	3.6	1.27	40	1.5	5.28
Юг	Гаврино	8.0*	5.71*	180*	27.1	0.27
Шарженга	Калинино	3.3	2.54	80	3.5	2.54
Кичменьга	Захарово	4.3	3.17	100	3.9	4.47
Луза	Красавино	7.0	4.12	130	9.7	0.74
Вычегда	Малая Кужба	8.0	5.07	160	12.7	0.67
	Сыктывкар	9.3	14.3	450	44.3	0.48
	Федяково	9.7*	17.1*	540*	49.1	0.53
Вишера	Лунь	6.04	4.12	130	5.6	2.75
Локчим	Бояр-Керос	6.2	2.22	70	3.0	2.81
Сысола	Первомайский	6.8	4.44	140	6.6	2.02
Вымь	Шомвуква	5.7	3.12	100	3.85	4.28
	Весляна	6.9	5.94	187	11.1	1.14
	Половники	7.6	7.39	233	22.4	0.49
Яренга	Тохта	5.4	4.44	140	4.7	15.3
Нижняя Тойма	Метил	5.25*	2.13*	67*	2.3	13.3
Вага	Филяевская	6.8	5.39	170	9.6	1.28
	Усть-Сюма	8.3*	7.62*	240*	13.2	1.37
Вель	Баламутовская	5.5	4.44	140	7.0	1.71
Устья	Назаровская	5.2	1.59	50	2.4	1.93
Ледь	Зеленинская	4.0	1.90	60	2.1	11.2
Емца	Сельцо	5.6	2.22	70	3.8	1.39
Пинега	Кулогоры	8.7*	12.1*	380*	23.1	1.1

Примечание. * – данные приведены по [4].

шенных наносов рек СССР” [16], согласно которой весь бассейн входит в восточную область ЕТР с модулем стока $5\text{--}20 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$. Вместе с тем она отражает слабое развитие эрозионных процессов в бассейне, которые имеют очаговое распространение и характеризуются невысокими значениями смыва [17]; на большей части бассейна проявляется только естественная эрозия, что обуславливает малый сток взвешенных наносов на реках.

Наблюдения за влекомыми наносами в бассейне Северной Двины были нерегулярными и полностью прекращены с 1952 г. Расчеты, выполненные по методике Н.И. Алексеевского [8] (табл. 2) показывают, что на большинстве рек сток влекомых наносов превышает сток взвешенных, причем на некоторых реках во много

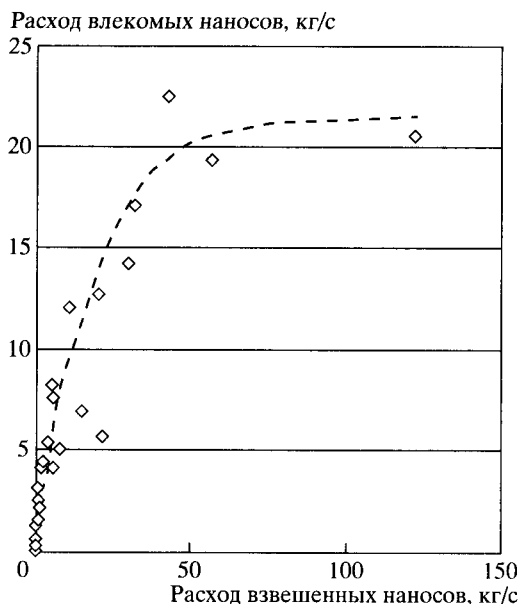


Рис. 3. Связь расхода влекомых и взвешенных наносов на реках бассейна Северной Двины

раз. Действительно, при незначительной эрозии почв на залесенной территории основным источником поступления твердого материала в реки является подмыв ими берегов, представленных поймой, террасами или другими элементами рельефа, полностью или в значительной мере сложенными аллювиальными, ледниковыми, флювиогляциальными, древнедельтовыми песчаными или опесчаненными отложениями. Поэтому на всех реках широко развиты обсыхающие в межень прирусловые песчаные отмели (побочни, осередки, косы), ширина которых соизмерима, а иногда превосходит ширину меженного русла; на разветвленных участках рек такие отмели полностью заполняют второстепенные рукава; на меандрирующих реках их длина соизмерима с шагом излучин, а в разветвленном является основой формирования островов.

Изменения характеристик стока влекомых наносов по длине рек связаны с увеличением их размеров (порядка, водоносности), обнаруживая в то же время зависимость от конкретных условий его формирования. Большая часть стока влекомых наносов проходит в период половодья (60–80%).

При прочих равных условиях доля стока влекомых наносов возрастает с уменьшением порядка рек, т.е. к их верховьям. Самая большая величина доли стока влекомых наносов характерна для возвышенных частей бассейна. Вместе с тем зависимость расходов влекомых наносов от расходов взвешенных на различных реках бассейна за многолетний период неоднозначна (рис. 3). До значения $R = 50$ кг/с она аппроксимируется уравнением $G = 2.15R^{0.58}$. При дальнейшем увеличении стока взвешенных наносов (при $R > 50$ кг/с) увеличение расхода влекомых наносов с ростом расхода взвешенных не происходит. Аналогичные результаты были получены К.И. Россинским и В.К. Дебольским, согласно которым при повышенном стоке взвешенных наносов у дна потока возникает “защитный слой”, предохраняющий “крупные наносы донных отложений от взвешивающего воздействия потока” [18]. Это же объясняет, по-видимому, уменьшение доли стока влекомых наносов при увеличении размеров (порядка) реки.

Полученная зависимость свидетельствует о том, что на реках разного порядка транспортирующая способность потока реализуется за счет разных составляющих

стока наносов. Реки высоких порядков транспортируют больше взвешенного материала, в то время как реки низких порядков транспортируют больше влекомого. Это явление можно объяснить тем, что водосборная площадь, являющаяся источником бассейновой составляющей стока наносов, которая перемещается в основном во взвеси, растет быстрее чем площадь взаимодействия потока и русла, влияющая на величину русловой составляющей стока наносов.

Руслоформирующие расходы воды

Полнота оценки стока наносов как фактора русловых процессов обеспечивается анализом условий прохождения руслоформирующих расходов воды Q_{ϕ} , которым соответствует наибольший сток наносов и при которых происходят наиболее интенсивные русловые деформации [1]. Сведения о них были опубликованы [19, 15]. В последующем была выполнена модификация методики Н.И. Маккавеева. Она заключается, во-первых, во введении в расчетную зависимость $Q_{\phi} = \max[f(\sigma Q^m P)]$ (здесь Q – среднее значение интервалов расходов, P – его вероятность, I – уклон) параметра m на основе районирования территории бассейна по его значениям, полученным из связи $R = f(Q^m)$ [20]; во-вторых, коэффициент σ , учитывающий ширину разлива реки во время половодья, и равный 1 до выхода воды на пойму, вводится с момента образования на затопленной пойме транзитного пойменного потока, когда осуществляется его взаимодействие с русловым, т.е. при уровне на 0.5–1 м превышающем бровку поймы. Это привело к необходимости заново провести расчеты Q_{ϕ} .

Весь юг бассейна Северной Двины (табл. 3), включая бассейны Сухоны, Сысолы и верхнюю часть бассейна Юга, характеризуется прохождением Q_{ϕ} до выхода воды на пойму, причем на западе бассейна в ее бровках наблюдается один Q_{ϕ} , а на востоке – два. На остальной территории бассейна Q_{ϕ} проходит как при затопленной пойме, так и в ее бровках, имея два интервала; лишь в бассейне Ваги до выхода воды на пойму имеется только один Q_{ϕ} . Для верхнего (при затопленной пойме) Q_{ϕ} на большинстве рек характерна очень малая обеспеченность (0.6%), и только на Северной Двине она больше, закономерно снижаясь к устью (от 3.5% на г.п. Абрамково до 0.7% на г.п. Усть-Пинега). Это обеспечивает сравнительно небольшую роль верхнего Q_{ϕ} в формировании русла. В результате пойменная многорукавность и разветвленное русло развиты только на Северной Двине и нижней Вычегде, а формирование прорванных излучин характерно лишь для меандрирующего русла Вычегды. На верхней Вычегде и некоторых других реках формирование прорванных излучин и пойменной многорукавности, обычно сопровождающих прохождение верхнего Q_{ϕ} , не происходит из-за залесенности поймы.

Морфодинамические типы русел, их распространение и условия формирования

Широкое распространение в бассейне Северной Двины моренных суглинков, пересечение реками выходов на поверхность коренных скальных (гипсы, известняки) и полускальных (мергели, песчаники, опоки) пород обуславливает преобладание врезанных русел (около 60%), однако по отдельным рекам в зависимости от геологического строения и рельефа территории распространение врезанных и широкопойменных колеблется в широких пределах: на Сухоне и ее притоках более 90% длины рек приходится на врезанные русла; на Пинеге соотношение близко к среднему по бассейну; на Северной Двине оба типа русла имеют одинаковое распространение; на Вычегде преобладают, а в бассейне Юга развиты только широкопойменные русла (табл. 4, [15, 21]).

Широкопойменные русла разных морфодинамических типов сопровождаются ответвлениями русла, создающими пойменную многорукавность. На разветвленной Северной Двине пойменные рукава субпараллельны руслу главной реки, слабо изви-

Руслоформирующие расходы на реках бассейна Северной Двины

Район	Река	Гидрологический пост	Интервалы расходов					
			верхний		средний		нижний	
			Q_{ϕ} , м ³ /с	P , %	Q_{ϕ} , м ³ /с	P , %	Q_{ϕ} , м ³ /с	P , %
I	Кубена	Кубинская	–	–	390	2.97	–	–
	Масляная	Семшино	–	–	43	2.19	–	–
II	Юг	Гаврино	3828	0.55	2099	2.74	370	32.6
	Шарженга	Калинино	192	0.46	141	1.00	75.1	3.10
	Кичменьга	Захарово	279	0.14	196	1.23	92.7	5.75
III	Луза	Красавино	1898	0.27	1139	2.60	–	–
	Вага	Филиевская	1968	0.19	956	1.59	–	–
	Вель	Баламутовская	1120	0.05	544	0.93	–	–
IV	Сухона	Каликино	–	–	3097	0.82	1793	4.37
	Вычегда	Сыктывкар	–	–	2250	5.0	1100	11.0
	Сысола	Первомайский	–	–	884	1.04	98	40.1
	Устья	Назаровская	–	–	424	1.15	200.7	4.75
V	Северная Двина	Абрамково	9500	3.53	7500	6.40	1500	56.1
		Звоз	19065	0.80	11685	4.01	1845	36.1
		Усть-Пинега	28055	0.67	19005	2.43	4525	24.7
	Вычегда	Малая Кужба	2131	1.22	1249	4.60	514	16.1
		Федяково	5575	1.20	4037	4.08	961	23.9
	Вишера	Лунь	1201	0.16	736	1.64	116	32.8
	Вымь	Весляна	2887	0.14	1662	0.75	787	4.9
		Половники	4059	0.14	2337	0.75	1353	3.01
	Яренга	Тохта	735	0.14	445	0.4	105	5.3
	Вага	Усть-Сюма	4892	0.30	3113	1.64	444	26.0
	Ледь	Зеленинская	196	0.57	123	2.60	21.8	28.3
	Емца	Сельцо	442	0.39	327	2.03	57.7	64.6
	Пинега	Кулогоры	4750	0.05	3250	1.19	1750	5.31

Примечание. Районирование проведено в соответствии с принципами, изложенными в [15].

листы; на меандрирующей Вычегде они также меандрируют, образуя крутые излучины (полои Лука, Прось, Ленский).

Большинство широкопойменных рек бассейна меандрирует. Соответственно условиям прохождения Q_{ϕ} (отсутствие или малая обеспеченность верхнего интервала) на меандрирующих участках Юга, Сухоны, верхней Вычегды, Пинеги преобладают крутые петлеобразные излучины; в среднем и нижнем течении Вычегды излучины имеют сегментную форму, много прорванных излучин. На Северной Двине ниже слияния с Вычегдой широкопойменное русло почти полностью разветвленное, выше по течению преобладает прямолинейное неразветвленное русло. На нижней Вычегде простые сопряженные и одиночные разветвления приурочены к участкам с односторонней поймой. Наличие трудноразмываемых берегов, сложенных коренными пермо-триасовыми или моренными отложениями, обуславливает заметную долю на всех реках вынужденных и адаптированных излучин, образующихся на широкопойменных участках там, где русло подходит к этим берегам. Врезанное русло Северной Двины часто разветвленное, на других реках в условиях ограниченного развития русловых деформаций преобладают врезанные излучины.

Таблица 4

**Распространение морфодинамических типов русел на реках бассейна Северной Двины (в % от длины)
[15, 21 с уточнениями]**

Река	Типы русел							
	врезанные			широкопойменные				
	прямолинейные	излучины	разветвления	прямолинейные (в том числе одиночные разветвления)	вынужденные и адаптирован- ные излучины	прорванные излучины	сегментные и петлеобраз- ные излучины	разветвления
Северная Двина	8	14	28	9	—	—	—	41
Юг с притоками	—	5	—	9	5	—	81	—
Сухона с притоками	17	76	—	3	—	—	4	—
Вычегда с притоками	7	24	—	9	5	9	35	11
Пинега	30	28	—	5	15	—	15	7
Другие реки	26	52	—	—	4	2	14	2
Всего по бассейну	13	44	3	6	4	3	22	5

Таблица 5

Распределение морфодинамических типов русла на Северной Двине (от слияния с Вычегдой до устья) [4]

Тип русла	Всего км	% от общей длины участка
Врезанное	290	48
Относительно прямолинейное, неразветвленное	51	8
Врезанные излучины	103	17
Параллельно-рукавные разветвления	68	11
Пойменно-русловые разветвления	16	3
Одиночные разветвления	30	5
Односторонние разветвления	22	4
Адаптированное	39	6
Относительно прямолинейное, неразветвленное	15	2
Односторонние разветвления	24	4
Широкопойменное	281	46
Относительно прямолинейное, неразветвленное	33	5
Вынужденные излучины	8	1
Адаптированные вписанные излучины	10	2
Свободные излучины	6	1
Параллельно-рукавные разветвления	39	6
Пойменно-русловые разветвления	41	7
Одиночные разветвления	92	15
Односторонние разветвления	52	9

На *Северной Двине* (табл. 5) в широкопойменном разветвленном русле преобладают одиночные (15%) и сложные параллельно-рукавные и пойменно-русловые (13%) разветвления. В условиях ограниченного развития русловых деформаций возрастает доля прямолинейного русла и врезанных излучин, хотя здесь по-прежнему широко развиты разветвления с преобладанием сложных их форм (14%). По распространению морфодинамических типов русло Северной Двины можно разделить на ряд участков. На верхнем (выше устья Вычегды – Малая Северная Двина) русло в основном прямолинейное, неразветвленное, проходящее вдоль правого коренного берега. На втором участке (между устьями Вычегды и Ваги) река имеет широкую пойму (от 5–6 до 10 км), сужающуюся вниз по течению; в результате широкопойменное русло сменяется адаптированным, а затем – врезанным. В районе впадения

р. Нижней Тоймы сужение дна долины связано с пересечением рекой конечно-моренных гряд. Общее сужение русла происходит в районе устья Ваги вследствие смены литологии коренных пород: мергелисто-песчаниковых отложений пермо-триаса известняками карбона. Русло здесь разветвленное (сопряженные и параллельно-рукавные, реже – одиночные разветвления).

Ниже устья Ваги и до слияния с Пинегой (третий участок) русло врезанное или адаптированное. От устья Пинеги до вершины дельты (четвертый участок) русло входит уже в устьевую область Северной Двины. Русло широкопойменное, разделенное большими островами на два основных рукава, соединяющихся иногда поперечными протоками (пойменно-русловые разветвления). У г. Архангельска перед вершиной дельты река собирается в едином русле.

Сухона может быть разделена на три участка: верхние два – широкопойменные, нижний – врезанный. В верхнем течении (между Кубенским озером и устьем р. Наремки) она протекает по Прикубенской древнеозерной низменности, имея широкую глинистую унаследованную пойму и образуя крутые петлеобразные излучины. Ниже слияния с Вологдой и Лежей в русле появляются песчаные перекаты. Ниже впадения Наремки врезанное русло приурочено к каньонообразной долине, с крутыми, обрывистыми склонами; русло прямолинейное, реже с одиночными разветвлениями. Врезанное русло нижней Сухоны либо представлено пологими излучинами, либо прямолинейное. Оно здесь скальное, сформированное в коренных триасовых мергелях, опоках, песчаниках, имеются пороги. Песчаные наносы здесь не образуют аккумулятивных форм, а выносятся потоком на приустьевой участок реки. Перед слиянием с Югом (ниже г.п. Каликино) русло становится сначала адаптированным, а затем на среднем и нижнем участках реки широкопойменным, прямолинейным.

Притоки Сухоны свободно меандрируют, и лишь перед впадением в главную реку их русла становятся врезанными [13].

Юг и его притоки в основном свободно меандрируют [22]. Ширина поймы превышает ширину русла в 3–100 раз. Увеличение водности реки обуславливает закономерное изменение параметров свободных излучин и их формы вниз по течению. На верхнем Юге, где сток влекомых наносов невелик, более распространено прямолинейное русло; по мере его увеличения появляются извилины стрежня меженного потока, огибающего зарастающие подводные побочни. Ниже развиты высокие, обсыхающие в межень побочни, сегментные и петлеобразные излучины. В нижнем течении излучины пологие. В низовьях Юга, где сказывается подпор от Сухоны, встречаются одиночные разветвления.

Вычегда имеет врезанное русло лишь в верховьях; в ее бассейне этот тип русла характерен в основном для рек правобережья (Выми, Яренги и др.). В верхнем течении (выше слияния с Сысолой) русло свободно меандрирует.

Ниже слияния с Сысолой река также в основном свободно меандрирует, но уже велика доля прямолинейного русла, одиночных и односторонних разветвлений. Излучины, как правило, сегментные. В нижнем течении у выпуклых берегов излучин формируются группы островов, разделенные маловодными протоками (разветленно-извилистое русло). Встречаются отдельные вынужденные и адаптированные излучины.

Сысоло и ее притоки в основном свободно меандрируют.

Почти на всем протяжении *Выми* преобладает прямолинейное врезанное русло. Небольшой участок со свободными русловыми деформациями имеется лишь в верхнем течении: здесь развиты сегментные и петлеобразные излучины.

Вага в верховьях имеет свободномеандрирующее русло, но, протекая затем среди моренных отложений, формирует врезанные излучины. В среднем течении у г. Вельска выделяется участок с вынужденными и адаптированными излучинами.

Сложное чередование широкопойменных и врезанных участков отмечается на *Пинеге*. В пределах первых река меандрирует, изредка встречаются одиночные разветвления. В среднем течении выделяется участок с вынужденными и адаптированными излучинами. Врезанное русло, как правило, извилистое, реже – прямолиней-

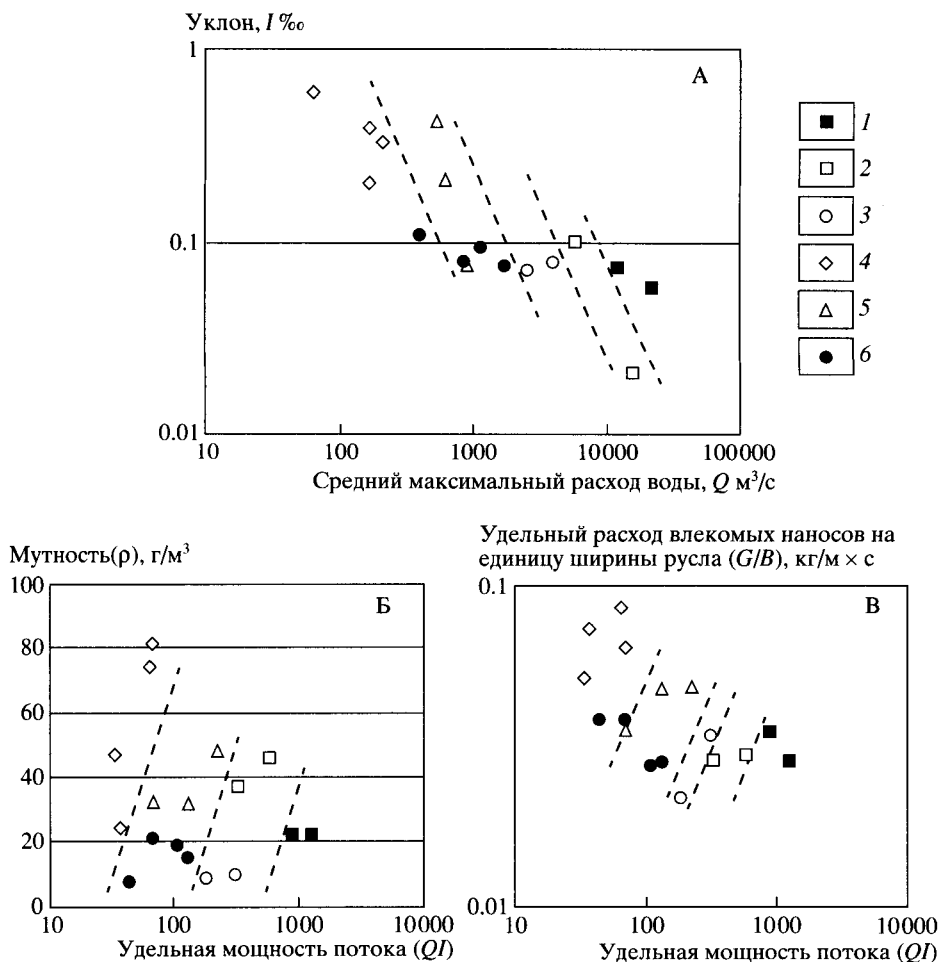


Рис. 4. Распределение морфодинамических типов русел на реках бассейна Северной Двины
 А – в поле QI -диаграммы, Б – в поле диаграммы мощность QI – мутность p , В – в поле диаграммы мощность QI – удельный расход влекомых наносов на единицу ширины русла G/B .

Разветвления: 1 – сложные формы, 2 – одиночные; излучины: 3 – пологие и прорванные, 4 – петлеобразные, сегментные, 5 – вынужденные и адаптированные; 6 – прямолинейное неразветвленное русло

ное. Притоки Пинеги нередко имеют скальное русло. На Юле пороги следуют иногда через 1 км; их образование обусловлено наличием выступов скального ложа и крупных валунов и глыб, поступающих из моренных отложений.

Одним из методов выявления условий формирования различных типов речных русел является анализ QI -диаграмм [4, 23, 24]. Положение точки в поле диаграммы определяется удельной (на единицу длины) мощностью потока $N = pgQI$: чем выше и правее в поле диаграммы расположена точка, тем большему значению мощности она соответствует. На QI -диаграмме для рек бассейна Северной Двины (рис. 4, А) видно, что точки, соответствующие разветвленному руслу, расположены в области с наибольшей величиной произведения QI , причем самую правую часть графика (максимальный расход воды) занимают сложные формы разветвлений; точки, соответствующие одиночным разветвлениям, расположены левее. Отдельные области по мере уменьшения QI занимают последовательно пологие и прорванные излучины, прямолинейное неразветвленное русло, адаптированные излучины. В области самой малой мощности расположены сегментные и петлеобразные излучины.

Характерно, что прорванные излучины в поле QI -диаграммы расположены между разветвленными и прямолинейными руслами. По-видимому, они формируются в условиях, более близких к формированию разветвленных русел, чем излучин. Действительно, они возникают при спрямлении крутых сегментных излучин, если Q_{ϕ} проходит при затопленной пойме. Последнее обычно является условием образования разветвленных русел.

Для учета стока наносов как фактора русловых процессов был построен график мощности (ρ) ~ удельная мощность потока (QI) (рис. 4, Б). На нем точки, соответствующие различным типам русел, расположились аналогично графику “удельный (отнесенный к ширине русла) расход влекомых наносов (G/B) ~ удельная мощность потока (QI)” (рис. 4, В). Анализ графиков позволяет говорить, что при одних и тех же значениях мощности потока различия в стоке наносов (в наибольшей степени влекомых) приводят к формированию разных типов русла. Наиболее низкий сток влекомых наносов характерен для прямолинейных неразветвленных русел. В этом же поле на диаграмме располагаются вынужденные и адаптированные излучины. При большем стоке влекомых наносов развиваются излучины наиболее сложных форм (сегментные, крутые, петлеобразные). Такой же результат при анализе графика $\rho \sim QI$ был получен для ряда крупных рек Евразии, на котором Северная Двина (разветвленное русло) представлена одной точкой [4]. Характерно, что разветвленные русла в поле диаграммы (G/B)/ QI отвечают, с одной стороны, наибольшей мощности потока, с другой – пониженным значениям удельного расхода влекомых наносов. Последнее, однако, отражает влияние большой ширины разветвленных русел, обеспечивая расплывчатость потока, формирование в нем нескольких динамических осей, малую его устойчивость и рассредоточенность донных наносов по ширине русла. Пограничную область на графике между прямолинейным и разветвленным руслом занимают пологие сегментные и прорванные излучины. Последние представляют специфическую форму разветвления, возникающую при спрямлении излучины, тогда как первые по проявлению русловых процессов тяготеют к прямолинейным неразветвленным.

Менее ясной и более сложной выглядит роль соотношения взвешенных и влекомых наносов в развитии того или иного типа русла. Анализ данных таблицы 2 и распространение русел рек разных типов показывает, что на меандрирующих реках большие значения G/R соответствуют формированию наиболее крутых излучин петлеобразной формы. Максимальное значение G/R на Северной Двине (трехкратное превышение) соответствует развитию разветвлений во врезанном русле (г.п. Звоз).

Заключение

Приведенные данные позволяют говорить о характере связей стока наносов и морфодинамических типов русел, причем полученные результаты в целом не противоречат существующим теоретическим представлениям по этому вопросу. Для рек с высокой водностью, большим стоком наносов и долей влекомой его составляющей (Северная Двина, Вычегда в нижнем течении) характерно формирование разветвленного русла. Уменьшение влекомой составляющей стока наносов в зависимости от величины продольного уклона реки приводит к формированию или прямолинейного (при относительно больших уклонах), или извилистого (при меньших уклонах) русла. При уменьшении водности формирования разветвленного русла не происходит. Если река при этом транспортирует достаточное количество влекомых наносов, формируется извилистое русло с сегментными или петлеобразными излучинами, в зависимости от доли стока влекомых наносов, причем рост доли влекомых наносов приводит к развитию петлеобразных излучин, снижение – сегментных или прорванных излучин. При недостатке стока наносов в условиях большой мощности потока формируются врезанное извилистое или прямолинейное русло.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во МГУ, 2003. 355 с.
2. Кондратьев Н.Е., Ляпин А.Н., Попов И.В., Федоров Н.Н. Русловой процесс. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 372 с.
3. Чалов Р.С. Общее и географическое русловедение. М.: Изд-во МГУ, 1997. 112 с.
4. Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: Изд-во МГУ, 2000. 212 с.
5. Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 288 с.
6. Копалиани З.Д. О соотношении расходов донных и влекомых наносов // Гидрофизические процессы в реках и водохранилищах. М.: Наука, 1985. С. 143–147.
7. Чалов Р.С. Определение расхода донных наносов по скорости смещения аккумулятивных форм рельефа речного русла // Количественные методы в географии. М.: Изд-во МГУ, 1964. С. 19–22.
8. Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 202 с.
9. Бабак Ю.В., Турыкин Л.А., Чалов Р.С. Сток наносов, руслоформирующие расходы воды и морфодинамические типы русел рек бассейна Оки // Геоморфология. 2000. № 4. С. 57–71.
10. Чалов Р.С., Штанкова Н.Н. Сток наносов, руслоформирующие расходы воды и морфодинамические типы русел рек бассейна Камы // Вопр. физ. географии и геоэкологии Урала. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2000. С. 195–205.
11. Чалов Р.С., Штанкова Н.Н. Сток наносов, доля стока влекомых наносов в нем и их отражение в формах проявления русловых процессов на реках бассейна Волги // Тр. АВН. Вып. 9. 2003. С. 195–205.
12. Белый Б.В., Иванов В.В., Никитина Л.Н. и др. Морфология и динамика русла нижнего течения Вычегды в период активных дноуглубительных работ и после их прекращения // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 13. М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 146–183.
13. Джуха И.Г. Особенности формирования русел малых рек Вологодской области в связи с их хозяйственным использованием // Геоморфология. 1986. № 1. С. 66–71.
14. Геоморфологическое районирование СССР и прилегающих морей. М.: Высш. шк., 1980. 344 с.
15. Русловой режим рек Северной Евразии. М.: Изд-во МГУ, 1994. 336 с.
16. Сток наносов, его изучение и географическое распределение. Л.: Гидрометеиздат. 1977. 240 с.
17. Литвин М.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: Академкнига, 2002. 256 с.
18. Россинский К.И., Дебольский В.К. Речные наносы. М.: Наука, 1980. 216 с.
19. Власов Б.Н., Чалов Р.С. Районирование европейской территории СССР по условиям прохождения руслоформирующих расходов воды на реках // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1991. № 6. С. 32–42.
20. Ободовский А.Г., Цайтц Е.С., Чалов Р.С. Географическое обоснование методики определения руслоформирующего расхода воды (на примере рек Украины) // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1987. № 5. С. 67–71.
21. Морфология и динамика русел рек Европейской части России и сопредельных государств. М-б 1:2000000. Федеральная служба геодезии и картографии РФ. 1999. 4 л.
22. Джуха И.Г., Чалов Р.С. Морфология и динамика русла р. Юг как пример руслоформирующей деятельности малой реки // Геоморфология. 1983. № 1. С. 83–91.
23. Алабян А.М. Типы русел равнинных рек и факторы их формирования // Геоморфология. 1992. № 4. С. 37–42.
24. Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В. и др. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: Геос, 1998. 288 с.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
23.01.2004

THE SEDIMENT RUN-OFF AND CONDITIONS OF RIVER-BEDS FORMATION WITHIN THE SEVERNAYA DVINA BASIN

P.N. REZNIKOV, R.S. CHALOV

Summary

Sediment run-off is postulated to be one of the main factors of channel processes, but detailed formulation of this statement is absent. The lack of reliable data on bedload sediments is but the least reason for this deficiency. The paper presents data, filling up this gap and considers the correlation between sediment run-off and morphodynamic types of river channels. The results obtained do not contradict on the whole to existent theoretical conceptions concerning this question.