

## КЛАССИФИКАЦИЯ УЧАСТКОВ РУСЛА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ И ВЫЧЕГДЫ ПО СЛОЖНОСТИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И УСЛОВИЯМ УПРАВЛЕНИЯ

**Н.М. Михайлова, Р.С. Чалов**

E-mail: nmmikhailova@yandex.ru

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия*

**АННОТАЦИЯ:** Рассмотрены условия управления русловыми процессами на р. Северной Двине и ее основном притоке – р. Вычегде, являющихся важнейшими водными артериями севера Европейской территории России. По разработанной и апробированной ранее методике проведено ранжирование рек по устойчивости русла, стоку и составу наносов (этот фактор впервые применен для исследуемых рек), водности, геолого-геоморфологическим условиям формирования, развитию тех или иных морфодинамических типов русла, распространенности и режиму деформаций перекатов, определяющих возможности и специфику выполнения регуляционных работ при водохозяйственном, водотранспортном и строительном проектировании на реках. Показано, что данные об объемах дноуглубительных работ на реках для обеспечения функционирования водных путей сообщения можно рассматривать как интегральную оценку условий управления русловыми процессами.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** русловые процессы, устойчивость русла, морфодинамические типы, перекаты, дноуглубление, судоходство, р. Северная Двина, р. Вычегда.

**Финансирование:** Выполнено по государственному заданию кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ, № АААА-А16-116032810084-0 при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-17-00086.

Использование речных ресурсов (водных, минеральных, земельных на приречных территориях), эксплуатация рек как водных путей сообщения, сооружение переходов через реки связано с необходимостью учета текущих и прогнозируемых русловых деформаций для обеспечения их надежного функционирования, предотвращения возможных негативных последствий обратного воздействия на русловые процессы. Большие реки отличаются

многообразием форм проявления русловых процессов и неоднозначностью условий регулирования русел для различных целей, неоднократно меняющихся по их длине. Поэтому для принятия решений по освоению речных ресурсов требуется разделение рек на участки в соответствии со сложностью и интенсивностью в их пределах русловых деформаций, определяющих технико-экономические возможности и гидроэкологическую безопасность выполнения мероприятий для дальнейшего освоения ресурсов. Такая работа была выполнена для двух крупнейших рек России – Оби и Лены [1, 2]. С этой целью разработана методика ранжирования участков рек и обоснована система оценочных критериев русловых процессов, определяющих их влияние на водохозяйственное и водотранспортное освоение рек [3], учитывающих существующие антропогенные воздействия и экономическое развитие регионов.

В данной статье представлены результаты оценки русловых процессов для двух основных рек севера Европейской территории России – Северной Двины и Вычегды, являющихся важнейшими водными артериями региона. Большинство населенных пунктов расположено на их берегах, что определяет водохозяйственное использование рек, прокладку коммуникаций и линий путей сообщения, защиту от наводнений и т. д. Города Архангельск, Котлас, Сыктывкар, районные центры Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми, лесопромышленные комплексы, историко-архитектурные объекты – Великий Устюг, Сольвычегодск, Красноборск, Холмогоры и многие другие (в этом отношении Северная Двина и Вычегда – еще неосвоенная целина для круизного водного туризма) являются центрами, которые при подъеме российской экономики и развитии Севера, очевидно, станут основой возрождения региона и освоения его речных ресурсов.

Однако обе реки, характеризуясь достаточно сложным русловым режимом, разветвленным слабоустойчивым руслом главной реки – Северной Двины и местами, особенно в нижнем течении – Вычегды, постоянными переформированиями, интенсивными размывами берегов, мелководностью в длительные меженные периоды многочисленных перекаатов с их сезонным и многолетним режимом деформаций обуславливают существенные трудности при всех видах освоения водных ресурсов и особенно обеспечения устойчивого судоходства. Определенный отпечаток на это накладывает то обстоятельство, что Северная Двина и Вычегда вплоть до 1980-х годов были примером массового и эффективного водотранспортного регулирования русел, основывающегося на научных исследованиях и выявленных естественных тенденциях и закономерностях русловых процессов [4]. Но прекращение (на Вычегде – почти полное) или резкое сокращение дноуглубительных и ремонтно-восстановительных работ привели в

значительной мере к утрате достигнутых результатов, релаксации русел, их возвращению к уровню 1960-х годов.

Задача проведенной работы – классифицировать участки Северной Двины и Вычегды по сложности проявлений русловых процессов и управления ими, выделить их по длине рек в соответствии с обоснованными и принятыми критериями при существующем и перспективном использовании и освоении речных ресурсов. Ранжирование участков рек по сложности русловых процессов и режиму русловых деформаций позволяет определить возможности планирования мероприятий по использованию водных ресурсов, комплексному или отраслевому управлению русловыми процессами.

Водные пути на Северной Двине и Вычегде – отрасль экономики, которая, как впрочем и на других реках, незарегулированных водохранилищами, опирается на учет русловых процессов по всей длине. Это отличает их от других водопользователей, имеющих точечный, створный или местный характер зависимости от русловых процессов, и лишь при массовости объектов в районах крупных городов приобретает региональные черты. Поэтому классификация участков рек и выделение их разных типов по длине с акцентом на водные пути сообщения имеет общее методологическое значение для всей водохозяйственной деятельности.

#### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И МАТЕРИАЛЫ**

Выделение участков рек по сложности проявлений русловых процессов и управления ими при использовании водных и других речных ресурсов основывается на интегральной оценке русловых процессов в пределах морфологически однородных участков, характеризующихся неизменными условиями формирования, темпами и характером русловых деформаций. Такой подход предполагает применение критериев, по которым можно судить о сложности управления русловыми процессами и регулирования русел при решении разнообразных водохозяйственных и водотранспортных задач [3]. Каждый критерий имеет количественные или качественные характеристики, а их совокупность позволяет составить, с учетом региональных особенностей, соответствующую классификацию и ранжировать выделенные участки.

Общими для всех рек критериями являются: устойчивость русла и интенсивность русловых деформаций; морфодинамический тип русла; водоносность реки и ее водный режим, определяющие гидролого-морфологические и гидроморфометрические соотношения; сток и состав наносов и их изменения по длине реки; условия прохождения руслоформирующих расходов воды; плесовый или перекатный характер русла и режим деформаций перекатов; степень и вид антропогенной преобразованности русла и антропогенных воздействий на русловые процессы.

Исходными материалами для разработки классификации участков и их выделения послужили данные многолетних (с 1957 г.) исследований русловых процессов на этих реках, обобщенные в монографии [4], систематические съемки и промеры русел и сведения о регуляционных (землечерпательных и выправительных) работах, выполняемых в системе «Севводпути», лоцманские карты (карты русел судоходных рек) и космические снимки.

### **Общая характеристика рек, условий формирования русел и руслового режима**

Северная Двина по всей длине (от слияния рек Сухоны и Юга) и р. Вычегда в нижнем течении (от слияния с р. Сысолой) относятся к категории больших рек. Лишь выше устья р. Сысолы (г. Сыктывкар) Вычегда – средняя река [5]. На всем протяжении обеих рек существенно увеличивается их водность – Северной Двины почти в пять раз, Вычеды в 1,8 раза (табл. 1). На этом фоне происходит неоднократная смена широкопойменного русла адаптированным или врезанным, слабоустойчивого – устойчивым и морфодинамическими типами русла с преобладанием разветвленного на Северной Двине и меандрирующего (извилистого) на Вычегде.

На Северной Двине от слияния Сухоны и Юга до с. Ягрыша русло широкопойменное, причем до слияния с р. Вычегдой (г. Котлас) пойма преимущественно левобережная, затем, ниже устья Вычеды, правобережная. Ниже с. Ягрыша русло либо врезанное, либо адаптированное (ширина поймы не более 2–3 ширины русла), но ниже устья Ваги встречаются отдельные небольшие расширения дна долины. Это следствие формирования русла в трудноразмываемых моренных отложениях, мергелях, песчаниках, аргиллитах пермотриаса, известняках и гипсах карбона. Вычегда, выше устья р. Сысолы, протекает в однородных геолого-геоморфологических условиях, отличаясь (кроме верховьев) свободными условиями развития русловых деформаций и преимущественно меандрирующим руслом, чередующимся с прямолинейными участками, образуя единый протяженный морфологически однородный участок. Ниже слияния с р. Сысолой почти до устья р. Выми, перед которым Вычегда, огибая Семуковскую возвышенность, образует дугу («луку») – структурную макроизлучину, остается широкопойменной, но ниже устья Выми русло – адаптированное или врезанное и, наконец, снова широкопойменное (район с. Яренска и устья р. Яренги). В 145 км от устья начинается 85-километровый участок адаптированного русла, ниже которого вплоть до слияния с Северной Двиной русло широкопойменное. Соответственно меняются условия формирования русла и морфологически однородные участки с разными морфодинамическими типами русел, устойчивость русла и, как следствие, особенности управления русловыми процессами.

**Таблица 1.** Изменения среднегодовых расходов воды  $Q_{cp}$  ( $m^3/c$ ) и морфометрических характеристик русел Северной Двины и Вычегды (по [4])  
 Table 1. Changes of average annual water flows  $Q_{cp}$  ( $m^3/s$ ) and morphometric characteristics of the Severnaya Dvina River and the Vychegda River mouths (according to [4])

Участок (между устьями притоков)	$Q_{cp}$ , $m^3/c$	Ширина русла $b_{cp}$ , м	Ширина поймы $B_n$ , м мин/макс	$B_n / b_p$ мин/макс
р. Вычегда				
Нем – Северная Кельтма	149	120	1500/7000	12,5/58
Северная Кельтма – Вишера	252	250	500/6500	2/26
Вишера – Сысола	437	350	700/7000	2/20
Сысола – Вымь	615	400	1000/7000	2,5/17,5
Вымь – Яренга	910	700	1500/7000	2,1/10
Яренга – Виледь	1010	800	1500/9000	1,9/11,3
Виледь – устье	1100	900	1500/15 000	1,7/16,7
р. Северная Двина				
Сухона и Юг – Вычегда	800	500	1100/5500	3,6/11
Вычегда – Вага	2100	1200	1500/12 000	1,25/3,5
Вага – Пинега	2740	1000	1000/3500	1/3,5
Пинега – устье	3800	1400	1500/16 000	1,1/11,4

### ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И УСЛОВИЙ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ

Дноуглубительные работы на Северной Двине во второй половине XX в. (до 1990 г.) обеспечили создание современного водного пути, на котором гарантированные глубины были увеличены с 110 (выше устья р. Ваги) – 130 см (ниже устья р. Ваги) до 170 см, но затем были сокращены до 120–130 см соответственно, что повлекло резкое сокращение перевозок, в т. ч. пассажирских. В последующий период, когда возобновилось, хотя и в существенно меньших объемах, землечерпание, глубины были увеличены до 150 см.

Ранжирование участков Северной Двины по условиям управления русловыми процессами выполнено на всем ее протяжении от слияния рек

Сухоны и Юга (г. Великий Устюг) до вершины дельты (г. Архангельск). Слияние с Вычегдой, Вагой, Пинегой, впадение Уфтьюги, Ваеньги, Емцы и многих других рек, неоднократное изменение по длине реки геолого-геоморфологических условий, обусловивших столь же неоднократную смену широкопойменного русла врезанным, при сохранении почти неизменным состава руслообразующих наносов (по всей реке они являются песчаными) определяют неодинаковые возможности и методы управления русловыми процессами, которые зависят от типа русла, характера разветвленности, его устойчивости, водоносности реки на разных участках.

Определяющим сложность руслового режима и управления русловыми процессами является устойчивость русла (табл. 2). По этому критерию русло Северной Двины преимущественно слабоустойчивое: число Лохтина

$\Lambda = \frac{d}{I}$ , ( $d$  – средняя крупность донных наносов, мм;  $I$  – уклон, ‰) изменяется

в пределах от 2,6 до 5,8, хотя имеются даже широкопойменные участки, менее подверженные деформациям (например, в Хаврогорском расширении в нижнем течении  $\Lambda=8,7$ ) и, наоборот, участки с неустойчивым руслом (в Орловском разветвлении  $\Lambda=2,3$ ). Другие показатели устойчивости, приведенные в таблице: коэффициент стабильности Н.И. Маккавеева, представляющий модификацию числа Лохтина  $K_c = \frac{d}{b_p I} 1000$  (где  $b_p$  – ширина русла,  $I$  – безразмерная величина уклона), и морфометрический показатель устойчивости русла С.Г. Шатаевой [6]  $A = \frac{lg \Delta h}{lg \Delta b}$  (где  $\Delta h$  – приращение глубины потока при изменении его ширины  $\Delta b$ ), определяемый по планам русла для оценки интенсивности деформаций перекатов на судоходных участках рек.

Устойчивость повышается на участках врезанного русла в нижнем течении (ниже устья р. Ваги), там, где берега сложены трудноразмываемыми мергелями, доломитами, известняками и гипсами. Наименее устойчивы участки реки с широкопойменным и адаптированным разветвленным руслом: Ракульские ( $\Lambda=4,6$ ), Рубежские ( $\Lambda=3,5$ ), Концгорские ( $\Lambda=4,0$ ) перекатные участки в русловых разветвлениях; Калкурское ( $\Lambda=4,1$ ), Орловское ( $\Lambda=2,3$ ), Усть-Емецкое ( $\Lambda=2,6$ ) разветвления, а также район Сийского переката ( $\Lambda=3,3$ ). Относительной устойчивостью отличаются Вятское ( $\Lambda=6,9$ ) и Хаврогорское ( $\Lambda=8,7$ ) разветвления, участок русла у с. Павлолочек ( $\Lambda=7,3$ ) [4].

По показателям устойчивости русла, с учетом его морфодинамического типа, широкопойменного или врезанного характера, Северная Двина разделена на 11 участков.

**Таблица 2.** Показатели устойчивости русла – число Лохтина ( $\Lambda$ ), коэффициент стабильности Н.И. Маккавеева ( $K_c$ ) и морфометрический показатель С.Г. Шатаевой ( $A$ ) – и их соотношение со средними скоростями смещения перекаатов, побочней и кос ( $C_n$  м/год), периодичностью изменения водности рукавов ( $T$ , год) и размыва берегов ( $U_6$ , м/год) на Северной Двине [4]

Table 2. Indicators of the bed stability Lokhtin number ( $\Lambda$ ), N.I. Makkaveyev stability index ( $K_c$ ), and S.G. Shatayeva morphometric index ( $A$ ) and their correlation with average speeds of the rift, collateral beds and spits' dislocation ( $C_n$  m/year), periodicity of the branches water content ( $T$ , year), and erosion of the banks ( $U_6$ , m/year) at the Severnaya Dvina River [4]

Участок, км от устья	Показатели устойчивости			Характеристика устойчивости	Темпы деформации		
	$\Lambda$	$K_c$	$A$		$C_n$	$T$	$U_6$
Великий Устюг – Котлас, 681–610	3,2–9,2	7,4–18,5	1,44	слабоустойчивое	300–500	10–20	5–10
устье Вычегды – с. Ягрыш, 610–480	3,5–5,3	6,2–7,6	1,48–1,75	слабоустойчивое, относительно устойчивое	300–500	10–20	5–10
с. Ягрыш – устье Ваги, 480–315	3,5–4,6	6,2	1,48	слабоустойчивое, относительно устойчивое		10–20	5–10
устье Ваги – с. Усть-Морж, 315–265	5–6,9	9,8	1,53–1,7	относительно устойчивое	50–300	20–80	2–5
Калкурское-Почтовское разветвление, 257–242	4,1	5,1	–*	слабоустойчивое	300–500	10–20	5–10
Орловское разветвление, 242–238	2,3	4,1	–	слабоустойчивое	300–500	10–20	5–10
Хаврогорское разветвление, 224–204	8,7	15,8	–	относительно устойчивое	50–300	20–80	2–5
Усть-Емецкое разветвление, 204–189	2,6	4,5	–	слабоустойчивое	300–500	10–20	5–10
Устье Пукшеньги – Челмохотская база, 189–175	5,8	7,0	–	относительно устойчивое	50–300	20–80	2–5
Челмохотская база – перекаат Сийский, 175–162	3,3	4,2	–	слабоустойчивое	300–500	10–20	5–10
Перекаат Сийский – г. Архангельск, 162–0	7,3	10,7	1,53	относительно устойчивое	50–300	20–80	2–5

*Примечание:* \* – ниже устья р. Ваги показатели устойчивости определялись только для разветвлений русла в местных расширениях днища долины; врезанное русло повсеместно устойчивое, его переформирования практически не происходят.



Слабая устойчивость и чередование по длине реки участков с большими и меньшими показателями широкопойменного и врезанного русла, расположение его вдоль коренных трудноразмываемых берегов определяют распространение на реке различных морфодинамических типов русла и, соответственно, постоянную изменчивость условий его регулирования при решении воднотранспортных задач и обеспечении работы объектов водного хозяйства городов и крупных населенных пунктов. Морфодинамическую сложность русла демонстрирует табл. 3 для наиболее затруднительного при всех видах освоения реки участка от слияния с р. Вычегдой до устья р. Ваги.

**Таблица 3.** Распространение морфологически однородных участков русла Северной Двины от слияния с р. Вычегдой до устья р. Ваги

Table 3. Spreading of morphologically homogenous ranges of the Severnaya Dvina River from the point of confluence with the Vychegda River to the Vaga River mouth

Морфодинамический тип русла	Количество участков	Общая протяженность, км	% длины
<b>Широкопойменное и адаптированное русло</b>			
Относительно прямолинейное, неразветвленное	7	64	21,9
Разветвление, в т. ч.	11	121	41,4
односторонние	5	50	17,1
одиночные	5	43	14,7
параллельно-рукавные	1	21	7,2
разветвлено-извилистые	1	7	2,4
Излучины, в т.ч.	2	14	4,8
свободные	1	5	1,7
вписанные	1	9	3,1
<b>Всего</b>	<b>32</b>	<b>199</b>	<b>69,2</b>
<b>Врезанное русло</b>			
Относительно прямолинейное, неразветвленное	1	10	3,4
Разветвление, в т. ч.	5	73	25,0
параллельно-рукавное	2	36	12,3
пойменно-русловое	1	24	8,2
одиночное	2	13	4,5
Излучины	1	10	3,4
<b>Всего</b>	<b>8</b>	<b>93</b>	<b>31,8</b>
<b>Итого</b>	<b>40</b>	<b>292</b>	<b>100</b>



Ниже устья р. Ваги (305 км) преобладает врезанное русло (227,1 км) – прямолинейное неразветвленное или с односторонними и одиночными разветвлениями, суженным в 2–2,5 раза по сравнению с руслом между устьями Вычегды и Ваги. Вместе с более высокой устойчивостью это определяет безопасность для любого вида хозяйственного использования реки. Для судоходства опасность представляет врезанная структурная излучина у с. Орлецы, шпора которой имеет вид выдающегося поперек реки скалистого мыса: здесь русло сужается до 200 м против 700–1000 м выше и ниже по течению. Это место систематических заторов льда, наибольших глубин (до 40 м) и образования водоворотных зон.

Слабая устойчивость русла Северной Двины во многом связана с большим стоком влекомых (руслообразующих) наносов (табл. 4) и его изменениями по длине реки [7]. Составляющие Северную Двину реки Сухона и Юг выносят в главную реку в среднем 0,58 млн т/год, Вычегда – 0,54 млн т/год, а наиболее значимая среди прочих малых рек – Уфтюга, впадающая после слияния с Вычегдой, – 0,29 т/год. Таким образом, суммарный сток влекомых наносов Северной Двины ниже устья р. Вычегды составляет свыше 1,2 млн т. Однако вниз по течению в пределах участка 2 (до устья Ваги, г/п Абрамково) он сокращается до 0,71 млн т/год, несмотря на наличие местных, достаточно мощных источников поступления от размыва берегов, что коррелирует с формированием подвижных перекаатов, побочней и осередков.

**Таблица 4.** Изменения стока наносов по длине Северной Двины (с учетом ее притоков)

Table 4. Changes of the sediments runoff along the Severnaya Dvina River (with its tributaries)

Река – гидропост	Влекомые наносы $W_G$ , млн т	Взвешенные наносы $W_R$ , млн т	$W_G / W_{R+G}$ , %
Сухона – Каликино	0,40	0,63	–
Юг – Гаврино	0,18	0,67	–
Вычегда – Федяково	0,54	1,0	–
Северная Двина – Абрамково	0,71	1,32	36
– Звоз	0,61	1,77	25,6
– Усть-Пинега	0,65	3,86	14,4

Ниже устья р. Ваги – русло врезанное, относительно устойчивое (кроме местных расширений дна долины и разветвлений) и суженное (по отношению к вышележащим участкам). Здесь наблюдается последовательное, но не столь интенсивное, снижение стока влекомых наносов при одновременном увеличении стока взвешенных наносов. Одновременно изменяется соотношение между стоком влекомых и взвешенных наносов, снижающееся более чем в два раза (35 % от общего стока по г/п Абрамково до 14,4 % по г/п Усть-Пинега). Это является следствием сужения русла, что приводит к росту скорости потока и частичному изменению формы транспорта наносов – частичный переход влекомых во взвешенные.

Большая часть годового стока наносов (60–66 %) переносится в период половодья, внося наибольший вклад в формирование и перемещение макро- и мезоформ руслового рельефа (перекатов, побочней, осередков). В межень река мелеет, обсыхают обширные побочни и осередки, вызывающие в эту фазу водного режима разделение потока и искривление его динамической оси, следовательно, и транспортирующей способности. Снижение доли стока влекомых наносов на Северной Двине приводит к заметному изменению морфологического облика русла: если выше устья р. Ваги широко распространены большие по размерам побочни и осередки, обсыхающие в межень и занимающие более половины ширины русла в бровках поймы, то в нижнем течении они встречаются редко, занимая значительную часть русла. На участках русла, где поступает избыточное количество наносов из-за размыва берегов (например, при размыве Толоконной горы – около 1 млн т/год) и происходит снижение транспортирующей способности потока (вследствие подпора перед сужением дна долины или его растекания при его расширении) формируются наиболее затруднительные для судоходства и сложные для любых видов освоения реки перекатные участки.

Параметры побочней изменяются в зависимости от морфодинамического типа русла (например, короткие побочни формируются в разветвленном русле, в то время как протяженные побочни характерны для перекатов в относительно прямолинейном русле (их максимальная длина достигает 3–6 км) [8].

С морфодинамическим типом русла связаны также особенности морфологии и динамики перекатов. Морфологически сложные перекаты формируются в расширениях русла и на разветвленных широкопойменных участках, в местах несовпадения направления потоков половодья и межени. Они относительно стабильны (не смещаются, будучи приуроченными к местным условиям формирования), но являются сложными по деформациям и требуют для обеспечения условий судоходства проведения боль-

ших объемов дноуглубительных работ. Перекаты в относительно прямолинейном русле обычно смещаются по длине участков реки и, надвигаясь на стабильные перекаты, вызывают их временное обмеление.

Устойчивость русла и его морфодинамический тип определили особенности распространения перекатов. Наиболее сложные для судоходства перекаты и перекатные участки формируются на участках разветвленного слабоустойчивого русла. В этом отношении Северная Двина может быть разделена на три части по преобладанию факторов, определяющих формирование перекатов: от слияния Сухоны и Юга до устья Вычегды, где русло в основном относительно прямолинейное неразветвленное; от устья Вычегды до устья Ваги, характеризующегося преимущественным распространением разветвленного, как широкопойменного, так и врезанного русла; ниже устья Ваги, где на фоне преобладания врезанного прямолинейного, иногда извилистого, русла встречаются небольшие участки широкопойменного разветвленного русла. Наибольшее количество и наиболее затруднительные перекаты находятся там, где русло наименее устойчивое. Всего на реке насчитывается 153 переката, т. е. на каждые 10 км приходится 2,2 переката. Они существуют в русле практически всех его типов, представляя сплошной перекатный участок от слияния с р. Вычегдой до устья Ваги, где их частота намного больше. Большинство перекатов, в т. ч. морфологически сложных, приурочено к разветвлениям широкопойменного и адаптированного русла и к относительно прямолинейным протяженным участкам. Ниже устья р. Ваги перекатов намного меньше, большинство из них не вызывают затруднений для судоходства, поскольку находятся во врезанном устойчивом русле. Это отражается в изменении отметок дна русла в системах «плес – перекат»: выше устья Ваги – 2,5 м, ниже – 5,0 м.

К определяющим сложность перекатов показателям относятся их динамические характеристики: скорость смещения перекатов и их побочной, периодичность обмеления и размыва гребней, образование осередков как в сезонном, так и в многолетнем периоде. На Северной Двине побочные смещаются в среднем со скоростью 100–200 м/год, которая увеличивается в многоводные и уменьшается в маловодные годы (на сложном перекатном участке – 300–400 м/год при низком половодье, 700–800 м/год – в годы высокого половодья).

Скорость смещения перекатов и их элементов, величина обмеления и размыва изменяются в широких пределах и зависят также от величины руслоформирующего расхода воды, что отражается в зависимостях Н.И. Маккавеева [9]  $C_n = 0,05 \frac{Q_\phi}{\Lambda}$  и Г.И. Шамова [10]  $C_n = \frac{50Q_{\text{ср.макс.}} I}{d}$ , где  $C_n$  – скорость смещения,  $\Lambda$  – показатель устойчивости – число Лохтина,  $Q_\phi$  – руслоформирующий расход воды,  $I$  – уклон.

На всем протяжении Северной Двины и Вычегды отмечается три интервала прохождения руслоформирующих расходов воды: верхний  $Q_{\phi}$  проходит при затопленной пойме, средний и нижний – до выхода воды на пойму (табл. 5). Относительно большая обеспеченность верхнего интервала  $Q_{\phi}$  выше устья Ваги объясняется развитием пойменной многорукавности и преобладанием разветвленного русла. Снижение обеспеченности среднего и нижнего интервалов  $Q_{\phi}$  вниз по течению совпадает с увеличением устойчивости русла.

**Таблица 5.** Средние многолетние расходы воды на водомерных постах Северной Двины и Вычегды [4]

Table 5. Average many-year water flows at the water measuring posts of the Severnaya Dvina River and the Vychegda River [4]

Участок	Руслоформирующий расход воды, м <sup>3</sup> /с / % обеспеченности		
	верхний	средний	нижний
<b>р. Северная Двина</b>			
Абрамково	9500/3,5	7500/6,4	1500/56,1
Звоз	19 065/0,8	11 685/4,0	1845/36,1
Усть-Пинега	28 055/ 0,7	19 005/2,4	4525/24,7
<b>р. Вычегда</b>			
Малая Кужба	2131/1,2	1249 / 4,6	514/16,1
Сыктывкар	–	2250/5,0	1110/11,0
Федяково	5575/1,2	4037/ 4,1	961/23,9

Водные пути являются региональным потребителем реки и среди всех водопользователей эксплуатируют ее на всем протяжении. Остальные на Северной Двине имеют точечный, створный или местный характер. Поэтому сложность участков реки достаточно большой длины можно с технической стороны охарактеризовать таким показателем как объем дноуглубительных работ по обеспечению гарантированных габаритов водного пути. После 1990-х годов эти работы были сведены к минимуму и проводились лишь на наиболее сложных для судоходства перекатах. Их оценка, как показатель сложности управления русловыми процессами, произведена по данным 2004 г., когда один раз за весь постсоветский период было достигнуто оптимальное финансирование путевых работ, разработано наибольшее количество перекатов (65) и обеспечено поддержание гарантированных глубин в течение всей на-

вигации (табл. 6). Значительный объем дноуглубительных работ был выполнен от слияния с р. Вычегдой до устья р. Ваги, где сосредоточено наибольшее количество лимитирующих судоходство перекатов. Ниже устья р. Ваги наибольшие объемы извлеченного из русла грунта на 1 км пути приходится на короткий участок с слабоустойчивым руслом – Усть-Емецкое разветвление. На верхнем участке (от г. Великого Устюга до г. Котласа) судоходные условия практически не поддерживались на протяжении всей навигации 2004 г., поэтому объемы дноуглубления были самые низкие, а работы выполнялись на перекатах верхней части участка для снижения вероятности возникновения заторов, вызывающих наводнения в Великом Устюге. После прекращения дноуглубительных работ уменьшение глубин на перекате на 30 см привело к снижению пропускной способности реки при ледоходе, что способствовало при других условиях формированию заторов [11].

**Таблица 6.** Объемы дноуглубления на перекатных участках русла Северной Двины в 2004 г.

Table 6. Volumes of dredging at the Severnaya Dvina River rift sites in 2004

Участок (№ – см. табл. 1)	Объем дноуглубления	
	Суммарно, тыс. м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> на 1 км
1. г. Великий Устюг – г. Котлас	42,1	584
2, 3. устье р. Вычегды – устье р. Ваги	1919,9	7836
4. устье р. Ваги – Вятское разветвление	190,6	3176
5. Калкурское разветвление	45,3	2263
6. Орловское разветвление	54,1	3605
7. Хаврогорское разветвление	32,4	1298
8. Усть-Емецкое разветвление	148,3	9885
9. с. Усть-Пукшеньга – о. Большой	52,1	4737
10. о. Большой – перекат Сийский	59,1	6562
11. перекат Сийский – г. Новодвинск	0	0

На врезанных неразветвленных, относительно устойчивых участках русла Северной Двины лимитирующих судоходство перекатов нет, преобладают протяженные глубокие плесы. Наибольшее количество перекатов формируется в широкопойменном и врезанном разветвленном русле с низ-

кими показателями устойчивости. На Северной Двине от устья р. Вычегды до устья р. Ваги разветвления реки занимают 47,7 % от длины участка. Именно здесь формируются наиболее сложные для судоходства перекаты. Ниже слияния с р. Вагой преобладает врезанное и адаптированное русло, разветвления встречаются реже, причем некоторые из них сформировались в своеобразном «каньоне» в гипсовых скалах. На редких участках слабоустойчивого разветвленного русла (Усть-Емецкое, о. Большой–перекат Сийский) дноуглубительные работы проводили в больших объемах, но в несколько раз меньших, чем выше устья р. Ваги.

Вычегда, в отличие от Северной Двины, характеризуется своеобразным изменением по ее длине условий прохождения руслоформирующих расходов воды (табл. 5). Если в верхнем течении (г/п Малая Кужба) и в низовьях (г/п Федяково), как и на главной реке, они наблюдаются при затопленной пойме (максимум половодья) и двумя интервалами в пойменных бровках, то в переходной зоне от среднего к нижнему течению (г/п Сыктывкар) – только в пойменных бровках. Это связано с влиянием основных левых притоков (Сысола, Локчим, Северная Келтьма, и др.), протекающих в зоне, где на всех реках верхний (при затопленной пойме) интервал  $Q_{\phi}$  отсутствует, что вызывает развитие здесь наиболее крутых, вплоть до петлеобразных, излучин и почти полное отсутствие русловых разветвлений.

Дноуглубительные работы на Вычегде, выполненные в 1960–1980 гг., как и на главной реке, привели к созданию на ней современного водного пути (объем их только в нижнем течении от г. Сыктывкара до устья достигал 5,5–7,0 млн м<sup>3</sup> в год), хотя, учитывая ее меньшую водность, гарантированная глубина была увеличена лишь до 130 см против 90 см в 1940 г. В настоящее время она составляет 110 см, причем дноуглубительные работы не проводятся уже почти 30 лет, что свидетельствует об эффективности воднотранспортного регулирования стока в предшествующий период. Однако это также привело к существенному снижению роли водного транспорта и неблагоприятным социально-экономическим последствиям для региона.

Вычегда имеет преимущественно меандрирующее, более устойчивое русло, особенно в верхнем и среднем течениях ( $\Lambda=5,1\div 7,0$ ). В нижнем течении, ниже с. Козьино, русло слабоустойчивое, число Лохтина уменьшается до 3,0 (табл. 7). Увеличение вниз по течению водности и уменьшение устойчивости русла способствуют постепенному росту количества разветвлений, хотя здесь их морфология более простая (преобладают одиночные и односторонние).

**Таблица 7.** Показатели устойчивости русла –  $\Lambda$ ,  $K_c$  и  $A$  и их соотношение с интенсивностью русловых деформаций –  $C_n$ ,  $T$  (год) и  $U_6$  (м/год) на Вычегде [4, 5]

Table 7. The channel stability indicators  $\Lambda$ ,  $K_c$  and  $A$  and their correlation with the channel deformation intensity  $C_n$ ,  $T$  (year) и  $U_6$  (m/year) at the Vychegda River [4,5]

Участок, км от устья	Показатели устойчивости			Характеристика устойчивости	Темпы деформаций		
	$\Lambda$	$K_c$	$A$		$C_n$	$T$	$U_6$
с. Усть-Нем – перекат Верхний Усть-Робеньгский, 792–560; перекаты Верхний Небдинский-I –Верхний Важкурский, 525–514	5–7	15–20	1,7	относительно устойчивое	50–300	20–80	2–5
о. Пожъянский – перекат Нижний Усть-Локчимский, 505–487	7,0	15,1	1,9	относительно устойчивое	50–300	20–80	2–5
Запань Алещинская (г. Сыктывкар) – с. Козьмино, 430–220	5,9	7,9	1,77	относительно устойчивое	50–300	20–80	2–5
с. Козьмино – д. Новодворская Княжица, 220–58	2,5–5	4–15	–	слабоустойчивое	300–500	10–20	5–10
д. Новодворская Княжица – устье, 52–0	3,1–3,9	3,9–5,2	–	слабоустойчивое	300–500	10–20	5–10

По устойчивости русло Вычегды разделяется на две неравные части: верхняя – от начала судоходства до с. Козьмино характеризуется широкопойменным, в основном свободно меандрирующим, относительно устойчивым руслом; нижняя – слабоустойчивым руслом, сначала врезанным или адаптированным (с. Козьмино – с. Новодворская Княжица), проходящим вдоль коренного берега с одиночными и односторонними разветвлениями, затем (до устья) – широкопойменным, с чередованием излучин, прямолинейных и разветленно-извилистых участков русла и, реже, одиночных разветвлений. Протяженность меандрирующего русла Вычегды снижается с 66 % в верхнем течении до 29 % в нижнем. В целом на Вычегде извилистое русло составляет 51 % его длины, относительно прямолинейное – 32 %, разветвленное – 15 %, разветленно-извилистое – 2 %.



Сток как взвешенных, так и влекомых наносов возрастает по длине Вычегды, что соответствует повышению ее водности и сопровождается снижением вниз по течению устойчивости русла (табл. 8). Значительная доля влекомой составляющей (до 40 %) определяет большое количество перекатов: общее число – 350, т. е. на 10 км приходится 3–4 переката, что в 1,5 раза больше, чем на Северной Двине. В известной мере это связано с значительной долей врезанного русла на Северной Двине, абсолютно преобладающего в нижнем течении.

**Таблица 8.** Изменения стока наносов по длине р. Вычегды [4]  
Table 8. Changes of the sediment runoff along the length of the Vychegda River [4]

Гидрологический пост	Влекомые наносы $W_G$ , млн т	Взвешенные наносы $W_R$ , млн т	$W_G/W_R$
Малая Кужба	0,16	0,14	53,0
Сыктывкар	0,45	0,95	32,1
Федяково	0,54	1,0	35,1

Сток влекомых наносов обуславливает развитие на Вычегде больших побочней, образующих широкие прирусловые отмели у выпуклых берегов, которые отжимают поток к вогнутым берегам, способствуя их интенсивным размывам. Наиболее сложные для судоходства перекааты находятся в нижнем течении реки, где они, начиная от устья р. Выми, образуют цепочку перекаатных участков, лишь изредка прерываемую короткими плесами. Наиболее сложные расположены на прямолинейных отрезках русла. Это проявляется в изменениях отметок дна (по фарватеру), которые составляют в русле этого типа в верхнем течении 1,5 м, в среднем – 2,0 м, в нижнем – 2,5 м, тогда как на излучинах русла 4,0, 5,0 и 6,0 м соответственно. Именно на Вычегде в 1960–1970 гг. были выполнены крупные капитальные выправительные работы, позволившие создать надежную трассу водного пути, разработаны приемы и методы регулирования русла, обеспечившие при их реализации технико-экономическую эффективность и гидроэкологическую безопасность [4, 12, 13], поскольку они в полной мере опирались на естественные тенденции и закономерности русловых переформирований. Тем не менее, до 1990-х годов объемы землечерпания достигали ежегодно по всей Вычегде несколько млн кубометров, что было связано как с маловодностью реки в межень (выше устья р. Сысолы), так и со сложным режимом деформаций и достаточно большими скоростями смещения перекаатов, особенно на прямолинейных участках русла в нижнем течении (до 100–150 м/год). Особенно сложные условия (обмеление и смещение судового хода)

наблюдались при надвижении подвижных перекатов на относительно стабильные, что происходит при переходе от прямолинейных участков к излучинам.

Для Вычегды почти на всем ее протяжении (кроме участка врезанного и адаптированного русла от с. Козьмино до с. Наводворская Княжица) характерны интенсивные размывы берегов, пойменных и песчаных надпойменных террас. Нередко они приобретают экстремальный характер (до 20–30 м/год), что приводит к разрушениям населенных пунктов (с. Ошлапье) и памятников архитектуры (в г. Сольвычегодске для спасения уникального Благовещенского собора XV в. была спрямлена излучина и построена набережная из каменной наброски). С русловыми деформациями связаны серьезные затруднения, вплоть до аварийных ситуаций, на водозаборах, водовыпусках и других инженерных объектах в Сыктывкаре и Коржаме.

Таким образом, сложность транспортного использования и воднохозяйственного освоения участков Северной Двины и Вычегды определяются морфодинамическим типом русла, формами проявления русловых деформаций и их интенсивностью. В верхнем и частично среднем (до с. Ягрыша) течениях русло Северной Двины формируется в песчаных аллювиально-озерных и аллювиальных отложениях, что обуславливает свободные условия развития русловых деформаций, формирование широкопойменного (ширина поймы в районе г. Красноборска достигает 13,5 км) слабоустойчивого, а местами – неустойчивого русла. На участке Северной Двины от Великого Устюга до устья Ваги разветвления занимают более 57 %, практически на всем этом протяжении русло сопровождается пойменной многорукавностью. Именно здесь формируются наиболее сложные для судоходства перекаты, на которых ежегодно проводятся дноуглубительные работы. Ниже слияния с р. Вагой преобладает врезанное и адаптированное русло, разветвления встречаются реже, причем в нижнем течении они сформированы в гипсовом «каньоне». На врезанных относительно устойчивых участках русла лимитирующие судоходство перекаты не образуются. В среднем и нижнем течениях Северной Двины на фоне относительно устойчивого врезанного русла встречаются короткие участки слабоустойчивого разветвленного русла с лимитирующими перекатами. Для Вычегды характерно преобладание извилистого русла в верхнем и среднем течениях, в нижнем течении преобладают разветвления (табл. 9).

Водность реки – одна из важнейших характеристик, определяющих сложность русловых процессов. С одной стороны, увеличение водности способствует увеличению габаритов водного пути, с другой, растет мощность потока, его транспортирующая способность, переносятся большие объемы наносов, увеличивается скорость горизонтальных деформаций

русла. В совокупности с условиями формирования русла это отражается на изменении морфологии и динамики русла и форм руслового рельефа и проявляется в увеличении глубин в плесовых ложинах и на перекатах (табл. 10).

**Таблица 9.** Соотношение морфодинамических типов русел на р. Северной Двине и р. Вычегде  
Table 9. Proportion of the channel morpho/dynamic types at the Severnaya Dvina and the Vychegda rivers

Река	Общая протяженность морфодинамического типа русла, % от длины реки			
	Относительно прямолинейное	Извилистое	Разветвленное	Разветвленно-извилистое
Северная Двина	27	15	54	4
Вычегда	32	51	15	2

**Таблица 10.** Изменение глубины плесовых ложин в относительно прямолинейном и извилистом русле и гарантированные глубины на перекатах, м (по данным 2020 г.)  
Table 10. Changes of the stretch hollows in a relatively straight and meandering channel and the warranted depths at the rifts. M (according to the 2020 data)

Река/ участок	Тип русла		Глубина, см
	Прямолинейное русло	Извилистое русло	
<b>Северная Двина</b>			
от г. Великого Устюга до г. Котласа	2,5	–	100
от г. Котласа до устья	5,0	–	150
<b>Вычегда</b>			
Верхнее течение	1,5	4,0	90
Среднее течение	2,0	5,0	110
Нижнее течение	2,5	6,0	120

### Классификация участков Северной Двины и Вычегды по категории сложности

Слабоустойчивые участки русла представляют наибольшие трудности из-за регулярных русловых деформаций, а для водного пути – из-за пространства наиболее лимитирующих перекатов.

Обобщение приведенных показателей и их критериев на всех участках Северной Двины и Вычегды, различающихся по устойчивости русла, режиму, интенсивности и сложности русловых деформаций, могут быть ранжированы (классифицированы) по категориям сложности управления русловыми процессами, воднотранспортному и воднохозяйственному использованию (табл. 11). Всего на обеих реках выделено 17 участков, в т. ч. 11 на Северной Двине и шесть на Вычегде, чередующихся по длине рек.

Первый участок (от г. Великого Устюга до г. Котласа, II категория сложности) характеризуется преимущественно прямолинейным неразветвленным руслом, лишь при слиянии с Вычегдой образуется сложное «дельтовое» разветвление в узле слияния рек.

На втором участке Северной Двины (II категория сложности) абсолютно преобладает разветвленное широкопойменное русло, сопровождающееся пойменной многорукавностью с большим количеством (31) морфологически сложных перекатов (Телеговские, Красноборские и др.), образующих перекатные участки. Перекаты очень динамичны как в многолетнем, так и в сезонном плане. После прекращения в 1990 годах землечерпания произошло фактически полное восстановление состояния перекатов, в 2000 годы дноуглубительные работы выполнялись в небольшом объеме для снижения роли руслового фактора в формировании заторов и связанного с ними наводнения в г. Великом Устюге. Эти же обстоятельства привели к осложнениям в работе водозабора в г. Красавино, возникновению аварийной ситуации на автомобильном мосту и «уходу» реки от причала в г. Котласе, а также к активизации блуждания фарватера и размыву берегов.

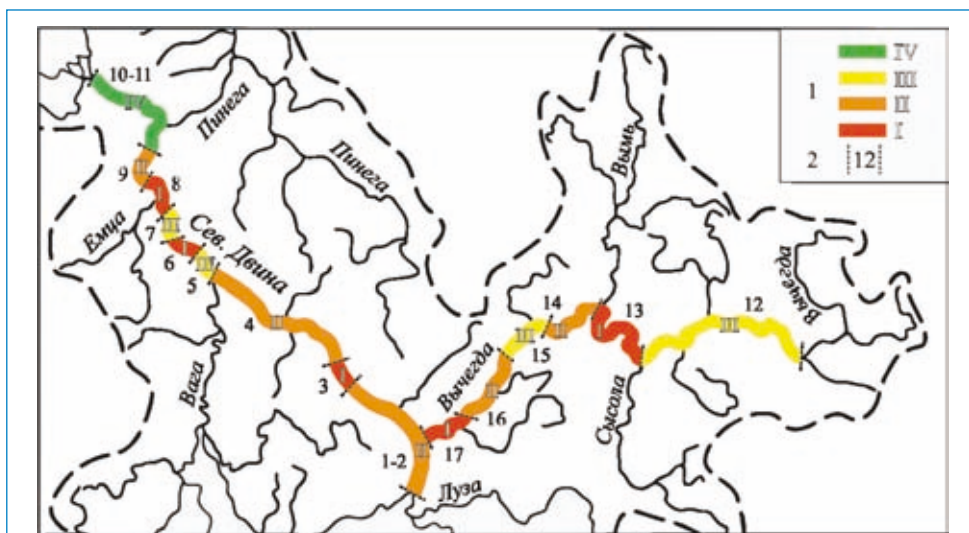
Участок 3 (I категория) представляет сплошной перекатный участок, включающий Ракульские, Паечные, Ягрышские перекаты. Формированию и поддержанию здесь сложных перекатов способствует размыв в начале участка уступа песчаной террасы – Толоконной горы, поставляющей в русло большое количество наносов. Сложности участка для любых видов освоения реки способствуют параллельно-рукавные разветвления, представляющие наибольшие трудности для регулирования русел. В 1970 годах здесь были сооружены полузапруды, частично перекрывающие рукава пойменных протоков и основного русла. К настоящему времени они практически разрушены, т. к. в течение 30 лет не ремонтировались, участок возвращается в свое исходное морфологическое состояние.

Протяженный участок 4 расположен между с. Ягрыш и устьем р. Ваги, характеризуется чередованием относительно прямолинейных (в т. ч. плесовых) и сложно разветвленных участков русла с преобладанием параллельно-рукавных разветвлений. Русло – врезанное или адаптированное. Самые сложные перекаты – Слудские, Липовецкие, Концегорские, Корбальские.

**Таблица 11.** Категории участков рек Северная Двина и Вычегда по сложности водохозяйственного и воднотранспортного использования, их соотношение с устойчивостью русла и его морфодинамическим типом.  
**Table 11.** Categories of the Severnaya Dvina River and the Vychegda River ranges in terms of complexity of water/economic and transport use, and their correlation with the channel stability and its morph/dynamic type

Категория сложности		Устойчивость, преобладающий тип русла	Участки, № (рисунок)
Индекс	Характеристика		
<b>р. Северная Двина</b>			
I	Очень высокая	Неустойчивое, параллельно-рукавные разветвления	3. Паячные – Ягрышские перекаты (д. Ивашково – с. Ягрыш) 6. Калкурское – Почтовское – Орловское разветвления (с. Усть-Морж – с. Звоз) 8. Усть-Емецкое, Хаврогорское и Репное разветвления (с. Липовник – с. Пукшеньга)
II	Высокая	Очень слабоустойчивое, сопряженные, односторонние, сложные одиночные разветвления	1. г. Великий Устюг – г. Котлас 2. г. Котлас – д. Ивашково (Телеговские – Красноборские перекаты) 4. с. Ягрыш – устье р. Ваги 9. устье р. Пукшеньги – д. Летняя Сторона (Челмохотский, Сийский перекаты)
III	Умеренная	Слабоустойчивое, прямолинейное, преимущественно врезанное	5. устье р. Ваги – с. Усть-Морж (I, II Ракульские перекаты, Вятское разветвление) 7. с. Звоз – с. Липовник
IV	Низкая	Среднеустойчивое, врезанное	10. д. Летняя Сторона – с. Усть-Пинега 11. с. Усть-Пинега – г. Архангельск
<b>р. Вычегда</b>			
I	Очень высокая	Очень слабоустойчивое, прямолинейное, меандрирующее	13. устье р. Сысолы – устье р. Выми 17. д. Новодворская Княжица-устье.
II	Высокая	Слабоустойчивое, меандрирующее	14. устье р. Выми – с. Казлук. 16. с. Козьмино – д. Новодворская Княжица
III	Умеренная	Устойчивое	12. выше устья р. Сысолы 15. с. Казлук – с. Козьмино

Слудские. Липовецкие перекаты сформировались на коротком относительно широком участке между двумя разветвлениями и представляют прямолинейное русло с шахматным расположением побочней, с развитыми побочными протоками. Заращение осередков и превращение в острова привело к трансформации русла в параллельно-рукавное.



**Рисунок.** Участки рек Северной Двины (1–10) и Вычегды (11–17), выделенные по категориям сложности водохозяйственного и воднотранспортного использования:

1–участки различной категории сложности: I – очень высокая, II – высокая, III – умеренная, IV – низкая; 2 – границы и номера участков.

Figure. Ranges of the Severnaya Dvina River (1–10) and the Vychegda River (11–17) singled out by the categories of water/economic and transport use complexity: I – very high; II – high; III – moderate, IV – low; 2 – boundaries and numbers of the ranges

Ниже слияния с р. Вагой русло на участке 5 (III категория) врезанное, относительно устойчивое, с одиночными разветвлениями и единичными перекатами. На перекатах дноуглубительные работы проводятся нерегулярно и в небольших объемах.

Участок 6 представлен Калкурским и Почтовско-Орловским разветвлениями (I категория) и следующими друг за другом перекатами, сформировавшимися в слабоустойчивом русле. Наибольшее затруднения представляет Верхний Почтовский перекат в узле слияния рукавов. На участке 7 (III категория) русло врезанное с одиночными разветвлениями и редко встречающимися перекатами.

Участок 8 (I категория) расположен перед впадением р. Емцы и ниже ее устья, занимая Усть-Емецкое расширение днища долины, представленное



цепочкой разветвлений и следующими друг за другом перекатами с обширными побочными и осередками. Перекаты характеризуются активными сезонными и многолетними переформированиями, требуют регулярного проведения дноуглубительных работ в больших объемах.

Участок 9 (III категория) представлен стабильным врезанным руслом с протяженными прямолинейными плесами и врезанными пологими излучинами, разделенными Хоробритскими, Челмохотским и Сийским перекатами.

На участке 10 (IV категория) русло врезанное, относительно устойчивое, в основном прямолинейное. У с. Орлецы река делает крутой изгиб с малым радиусом кривизны, проходя вдоль левого скального берега, сужается до 520 м и образует водоворотную зону глубиной до 40 м.

Последний 11 врезанный участок Северной Двины (IV категория) представляет собой цепочку многорукавных структурных разветвлений с редкими одиночными перекатами, не лимитирующими судоходство. Русло основного рукава относительно устойчивое, но русло левого рукава, по которому осуществляется подход к городам Холмогоры, Новодвинску и другим населенным пунктам, мелкое, с большим количеством перекатов.

На Вычегде (от устья р. Нема) по сложности управления русловыми процессами выделено шесть участков – с 12 по 17. Верхний – участок 12 – представлен преимущественно извилистым руслом с прямолинейными вставками: преобладают стабильные перекаты, образованные на крыльях излучин, характеризующиеся многолетней миграцией корыта. На участке 13 (I категория) русло слабоустойчивое от устья р. Сысолы (г. Сыктывкар) до устья р. Выми, происходит чередование относительно прямолинейного русла, в основном расположенного вдоль коренных берегов, крупных изгибов русла и серий свободных излучин; имеется пойменно-русловое разветвление (Лука-полой) на подходе реки к левому коренному берегу. Наибольшие затруднения для всех видов регулирования русла представляет район г. Сыктывкара в узле слияния с р. Сысолой и участок между населенными пунктами Нижний Чов и Слободской рейд. Ниже по течению русло характеризуется многочисленными, вне зависимости от типа русла, следующими один за другим сложными для судоходства перекатами, на которых отмечается существенное обмеление.

На участке 14 от устья р. Выми до с. Казлука (II категория) долина Вычегды сужается, преобладают отрезки относительно прямолинейного и разветвленного русла. Многие перекаты являются лимитирующими, большинство из них расположено в нижней части участка. Участок 15 от с. Казлука до с. Козьмино (III категория) характеризуется широкопойменным слабоустойчивым меандрирующим руслом с пойменно-русловыми развет-



влениями, пойменной многорукавностью и перекатами на перегибах между смежными излучинами, смещающимися на пологих излучинах особенно сложных для судоходства из-за обмеления в межень.

На участке 16 от с. Козьмино до д. Новодворская Княжица (II категория) русло преимущественно врезанное с отдельными расширениями, одиночными разветвлениями и участками относительно прямолинейного русла. Здесь много сложных перекатов, и для улучшения условий судоходства на них в 1960–1970 годы были выполнены крупные выправительные работы. Нижний участок 17 (I категория) характеризуется слабоустойчивым руслом с преобладанием разветвлений, наиболее сложными перекатами, на которых регулярно проводились дноуглубительные работы. Здесь выполнены крупномасштабные выправительные работы для предохранения от разрушения историко-архитектурных памятников в г. Соль-Вычегодске, защиты берегов от размыва, обеспечения функционирования водозаборов Котласского ЦБК, улучшения условий судоходства и захода в затон Лимнда, где размещен порт, судостроительный завод и другие речные предприятия.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В рамках проведенной работы на Северной Двине и Вычегде выделены и проанализированы однородные участки, отличающиеся характеристиками формирования русла, геоморфологическими и морфодинамическими типами русла, стоком воды и наносов, режиму перекатов и, соответственно, условиями и сложностями управления русловыми процессами при водохозяйственном и воднотранспортном использовании рек.

На Северной Двине это Паячно-Ягрышский и Слудский-Липовецкий перекатные участки, Конецгорское, Калкурское, Почтовское, Орловское и Усть-Емецкое разветвления, где расположены наиболее динамичные, сложные по режиму деформаций лимитирующие перекаты. На Вычегде наименее устойчивые и наиболее сложные участки реки расположены на отрезке от г. Сыктывкара до устья р. Выми и от с. Козьмино до устья. Наиболее благоприятные условия для освоения речных ресурсов сформировались в нижнем течении Северной Двины и на Вычегде вблизи г. Сыктывкара.

Выполненное ранжирование участков Северной Двины и Вычегды по параметрам интенсивности и формам проявления русловых процессов может быть положено в основу перспективного планирования водохозяйственных и воднотранспортных мероприятий, связанных с эксплуатацией рек или водных путей сообщения на севере Европейской территории России, повышения эффективности использования водных ресурсов, прокладки коммуникаций и освоения прилегающих территорий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чалов Р.С., Рулева С.Н., Михайлова Н.М. Оценка морфодинамической сложности русла большой реки при планировании водохозяйственных мероприятий (на примере Оби) // География и природные ресурсы. 2016. № 1. С. 29–37.
2. Кузьмина Е. М., Чалова А.С., Чалов Р.С., Сахаров А.И. Ранжирование участков реки Лены по сложности русловых процессов и управление ими // География и природные ресурсы. 2020. № 1. С. 138–146.
3. Чалов Р.С. Гидролого-географические аспекты управления русловыми процессами // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2019. № 6. С. 14–19.
4. Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М. ООО «Журнал «РТ». 2012. 492 с.
5. Реки и озера мира. Энциклопедия. М.: Изд-во «Энциклопедия», 2012. 928 с.
6. Шатаева С.Г. Определение объектов дноуглубительных работ с помощью показателя устойчивости русла // Тр. УПИИЭВТ. 1969. Вып. 68. С. 84–121.
7. Чалов Р.С., Михайлова Н.М., Жмыхова Т.В. Морфология, морфодинамическая характеристика и динамика побочней на Северной Двине // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2012. № 6. С. 54–60.
8. Маккавеев Н.И. Русловой режим рек и трассирование прорезей. М. Речиздат. 1949. 202 с.
9. Шамов Г.И. Речные наносы. Л. Гидрометеотздат. 1959. 380 с.
10. Алабян А.М., Алексеевский Н.И., Евсеева Л.С., Жук В.А., Иванов В.В., Сурков В.В., Фролова Н.Л., Чалов Р.С., Чернов А.В. Генетический анализ причин весеннего затопления долины Малой Северной Двины в районе г. Великого Устюга // Эрозия почв и русловые процессы. М.: МГУ, 2003. Вып. 14. С.104–180.
11. Вильперт А. Выправление рек Северного бассейна // Речной транспорт. 1963. № 9. С. 25–27.
12. Вильперт А. Из опыта коренного улучшения судоходных условий и увеличения габаритов пути // Речной транспорт. 1970. № 3. С. 45–49.

*Для цитирования:* Михайлова Н.М., Чалов Р.С., Классификация участков русла Северной Двины и Вычегды по сложности русловых процессов и условиям управления // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление.* 2021. № 3. С. 25-50. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-3-2.

**Сведения об авторах:**

**Михайлова Надежда Михайловна**, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, географический факультет, НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И.Маккавеева, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», 119992, Москва, ГСП-1; e-mail: nmmikhailova@yandex.ru

**Чалов Роман Сергеевич**, д-р геогр. наук, профессор, географический факультет, НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И.Маккавеева, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», 119992, Москва, ГСП-1; e-mail: rschalov@mail.ru

**CLASSIFICATION OF THE SEVERNAYA DVINA RIVER AND THE VYCHEGDA  
RIVER CHANNEL SECTIONS ACCORDING TO COMPLEXITY OF CHANNEL  
PROCESSES AND THEIR MANAGEMENT CONDITIONS**

**Nadezhda M. Mikhailova, Roman S. Chalov**

E-mail: nmmikhailova@yandex.ru

*Lomonosov Moscow State University. Moscow, Russia*

**Abstract:** The complexity of the control conditions for channel processes is examined by the case of the Severnaya Dvina River and its main tributary the Vychegda River, which are both the most important waterways of the European North of Russia. The developed and approved earlier methodology was applied to rank rivers in by the channel stability, the load and composition of sediments (the factor was applied for the first time to the rivers under study), water capacity, geological and geomorphological conditions of the channel formation conditions (embedded riverbeds or channels with wide floodplain), evolution of different morpho/dynamic types of channel, abundance and mode of deformations of riffles. The latter factor controls both possibility and features of regulative works when designing activities in water economics, navigation and construction. The data on the sediment amounts dredged from riverbeds to ensure the waterway functioning are demonstrated to be the integral estimation of the control conditions for channel processes.

**Keywords:** channel processes, channel stability, morpho/dynamic types, riffles, dredging, navigation, estimation.

**About the authors:**

Roman S. Chalov, Professor, Doctor of Geographic Sciences, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119992 ГСН-1 Faculty of Geography, Scientific Research Laboratory of soil erosion and channel process named after N.I. Makkaveyev; e-mail: rschalov@mail.ru

Nadezhda M. Mikhailova, Senior Researcher, Candidate of Geographical Sciences, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119992 ГСН-1 Faculty of Geography, Scientific Research Laboratory of soil erosion and channel process named after N.I. Makkaveyev; e-mail: nmmikhailova@yandex.ru

**For citation:** Chalov R.S., Mikhailova N.M. *Classification of the Severnaya Dvina River and the Vychegda River Channel Sections According to Complexity of Channel Processes and their Management Conditions // Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2021. No. 3. P. 25-50. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-3-2.*

**REFERENCES**

1. Chalov R.S., Ruleva S.N., Mikhailova N.M. Otsenka morfodinamicheskoy slozhnosti rusla bolshoy reki pri planirovaniyi vodokhozyaystvennykh meropriyatiy (na privere Obi) [Assessment of the large river channel morphodynamic complexity in planning of water/economic measure (the Ob River as a study case)] // Geografiya i prirodnie resursy. 2016. No. 1. Pp. 29–37.
2. Kuzmina E.M., Chalova A.S., Chalov R.S., Sakharov A.I. Ranzhirovaniye uchastkov reki Leny po slozhnosti ruslovykh protsessov i upravleniye imi [Ranking of the Lena River ranges in terms of the channel processes complexity and their management] // Geographia i prirodniye resursy. 2020. No. 1. Pp. 138–146.
3. Chalov R.S. Gidrologo-morfologicheskiye aspekty upravleniia ruslovyimi protsessami [Hydrological/morphological aspects of the channel processes management] // Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografia. 2019. No. 6. Pp. 14–19.

4. Rusloviye protsessy i vodniye puti na rekakh basseyna [Channel processes and water ways of the Severnaya Dvina basin rivers]. M. OOO "Zhurnal "RT". 2012. 492 p.
5. Reki i ozera mira [Rivers and lakes of the world]. Entsiklopediya. M.: Izd-vo "Entsiklopediya". 2012. 928 p.
6. *Shatayeva S.G.* Opredeleniye obyektov dnouglubitelnykh rabot s pomoshchyu pokazatelya ustoychivosti rusla [Determination of the dredging objects with the help of the channel stability indicator] // Tr. UPIIEVT. 1969. Vyp. 68. Pp. 84–121.
7. *Chalov R.S., Mikhailova N.M., Zhmykhova T.V.* Morfologiya, morfodinamicheskaya kharakteristika i dinamika pobochney na Severnoy Dvine [Morphology, morpho/dynamic characteristics and dynamics of collateral beds at the Severnaya Dvina River] // Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografia. 2012. No. 6. Pp. 54–60.
8. *Makkaveyev N.I.* Ruslovoy rezhim rek i trassirovaniye prorezev [River channel regime and slots tracing]. M. Rechizdat. 1949. 202 p.
9. *Shamov G.I.* Rechniye nanosy [River alluvium]. L. Gidromteoizdat. 1959. 380 p.
10. *Alabyan A.M., Alekseyevskiy N.I., Yevseyeva L.S., Zhuk V.A., Ivanov V.V., Surkov V.V., Frolova N.L., Chalov R.S., Chernov A.V.* Geneticheskiy analiz prichin vesennego zatopleniya doliny Maloy Severnoy Dviny v rayone g. Velikogo Ustyuga [Genetic analysis of the causes of the spring flood in the valley of Maly Severnoy Dviny in the region of the city of Velikiy Ustyug] // Erosia pochv i rusloviye protsessy. M.: MGU, 2003. Vyp. 14. Pp. 104–180.
11. *Vilpert A.* Vypravleniye rek Severnogo basseyna [Straightening of the Northern Basin rivers] // Rechnoy transport. 1963. No. 9. Pp. 25–27.
12. *Vilpert A.* Iz opyta korenного uluchsheniya sudokhodnykh usloviy i uvelicheniya gabaritov puti [From the experience of radical upgrading of the navigation conditions and increasing of the pass overall dimensions] // Rechnoy transport. 1970. No. 3. Pp. 45–49.