

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 551.482.212:556.5

МОРФОДИНАМИКА И ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ РУКАВОВ РАЗДВОЕННЫХ РУСЕЛ И ПОЙМЕННО-РУСЛОВЫХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ

Р.С. Чалов¹, Г.Б. Голубцов², А.А. Куракова³

^{1–3} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет*

¹ *Кафедра гидрологии суши*

^{2,3} *Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева*

¹ *Д-р геогр. наук, проф.; e-mail: rschalov@mail.ru*

² *Мл. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru*

³ *Науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: a.a.kurakova@mail.ru*

Среди выделенных четырех структурных уровней разветвлений наиболее морфологически сложными и вместе с тем достаточно распространенными являются пойменно-русловые разветвления и раздвоенные русла. Автономность развития рукавов в таких руслах приводит к разнообразию их форм и параметров, а также специфичности гидрологического и руслового режимов. В отличие от более низких структурных уровней детальный гидролого-морфологический анализ рукавов раздвоенных русел слабо освещен в литературе. Рассмотрены параметры разветвленных русел, соотношения водности рукавов и скорости размыва берегов, набор и параметры морфодинамических типов рукавов, характеристика межукавий. На отдельных примерах показаны характеристики врезанного раздвоенного русла и его отличия от аналогичного, сформированного в условиях свободного развития русловых деформаций. Показаны условия формирования и дана характеристика пойменно-русловых разветвлений, влияние гидрологических и геолого-геоморфологических (выступы и мысы коренных берегов) факторов на деформации рукавов в них и многолетнее перераспределение стока.

Таким образом, в статье дан анализ морфодинамики и гидроморфологии рукавов пойменно-русловых разветвлений и раздвоенных русел на реках разного размера (порядка), водности, стока наносов и других природных условий и факторов их формирования.

Ключевые слова: разветвленные русла, осередки, острова, рассредоточение стока, пойменная много-рукавность

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.6.1

ВВЕДЕНИЕ

Русла рек, разветвленные на рукава, относятся к наиболее сложным как морфологически, так и по режиму деформаций. Это нашло отражение в морфодинамической классификации речных русел МГУ, в которой количество типов разветвлений увеличивалось по мере ее совершенствования на основе новых исследований от четырех до 11–12 [Чалов, 2023], причем во всех вариантах отмечалось своеобразие одного и того же типа в зависимости от геоморфологических условий их формирования (свободных или ограниченных, соответственно, на реках с широкопойменным или врезанным руслом). Одновременно в связи с развитием представлений о дискретности русловых процессов [Кондратьев, 1953; Сидорчук, 1992; Чалов, 2023] было обосновано выделение четырех структурных уровней их

проявления: 1) осередковые; 2) русловые (островные); 3) пойменно-русловые; 4) раздвоенные русла. Генетически они составляют единую систему, но различаются пространственно-временными характеристиками: размерами и параметрами образующих их форм – осередков, островов, островных [Голубцов, 2022] и пойменно-русловых массивов – межукавий [Смирнова, 2002], разделяющих реки на самостоятельные потоки большой протяженности, проходящие в противоположных частях долин, режимом сезонных, многолетних и вековых деформаций, рассредоточенностью стока воды и наносов и неодинаковой ролью в русловом режиме реки. Основное внимание в русловых исследованиях уделялось осередковому, определяющим режим перекатов, и русловым (островным) разветвлениям, отличающимся от более высоких структурных

уровней образованием в рукавах, огибающих острова, одной-двух форм русла. В пойменно-руслowych разветвлениях их может быть от двух до пяти-семи в каждом рукаве; в рукавах раздвоенных русел – десятки, и по длине рукавов происходит неоднократная смена морфодинамического типа русла по мере изменения их водности, расположения по отношению к коренным берегам, ширины междуручавий и т. д., что приводит к разделению рукавов на несколько морфологически однородных участков. В обоих структурных уровнях (пойменно-руслowych разветвлениях и раздвоенном русле) рукава соизмеримы по водности (ее соотношение 1:1,5–1:2), хотя бывают исключения (доля стока в волжском рукава Ахтуба составляет 3–4%), в том числе из-за рассредоточения стока по их длине (Малая Обь – левый рукав нижней Оби, водность которого изменяется от 60% на заходе до 5% в среднем течении, и вновь возрастает до 30–40% в низовьях).

В отечественной и зарубежной литературе среди разветвленных русел обычно выделяется не более двух-трех разновидностей без оценки их морфологического разнообразия и динамики [Leopold, Wolman, 1957; Попов, 1965; Гришанин, 1972; Кондратьев и др., 1982; Цянь Нин и др., 1987; Rosgen, 1994; Knighton, 1998], хотя различия связываются с составом наносов, литологией отложений и т. д. По существу, только исследования в рамках научной школы МГУ имени М.В. Ломоносова, начиная с основополагающих работ Н.И. Маккавеева [Маккавеев, 1955; Проектирование..., 1964], дают реальные представления о гидроморфологии и морфодинамике разветвлений [Алексеевский, Чалов, 2009], включая впервые обоснованное выделение структурных уровней разветвлений – пойменно-руслowych и раздвоенных русел [Чалов, 2003]. В последнее время (2000-е гг.) вне школы МГУ появились статьи о существовании раздвоенных русел на р. Нигер [Назаров и др., 2021] и р. Миссисипи [Latrubesse, 2005].

Важнейшими отличиями раздвоенных русел и пойменно-руслowych разветвлений от русловых (островных) являются: существенно бóльшая их протяженность и автономность развития рукавов; специфика гидрологического и руслового режимов, обусловленная различными условиями взаимодействия с затопляемой поймой, приречными частями бассейна и впадением в них притоков (чем больше река, тем в большей мере они проявляются); формирование в каждом рукаве своего набора форм того или иного морфодинамического типа, а при их однородности – различия в их параметрах и особенностях деформаций из-за неодинаковой водности и ее изменчивости по длине рукавов; различная устойчивость русел рукавов, расположение рукавов полностью или частично у коренных труд-

норазмываемых, террасовых песчаных берегов или среди поймы. Общими являются свободные условия развития русловых деформаций, но при специфическом геолого-геоморфологическом строении территории, истории развития рельефа и активном врезании русла на протяжении геологических отрезков времени они встречаются во врезанном русле в виде незатопляемых останцовых островных массивов и междуручавий с коренным цоколем.

Эти положения – основа при выделении структурных уровней разветвлений. Тем не менее раздвоенные русла и пойменно-руслowych разветвления остаются освещенными только в общем виде, без выявления соответствующих количественных характеристик, гидролого-морфологических зависимостей, закономерностей русловых переформирований, и, как следствие, недостаточно используемыми при решении практических задач при освоении водных и других речных ресурсов. Отсюда цель настоящей статьи: опираясь на уже установленные условия и причины формирования структурных уровней разветвлений [Чалов, Куракова и др., 2022; Чалов, 2023], дать анализ морфодинамики и гидроморфологии рукавов пойменно-руслowych разветвлений и раздвоенных русел с учетом их особенностей на реках разного размера, водности, стока наносов и других природных условий и факторов их формирования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основу анализа морфодинамики рукавов пойменно-руслowych разветвлений и раздвоенных русел составляют многолетние исследования русловых процессов, начиная с 1957 г., на реках России и бывшего СССР, в том числе меандрирующих, на которых также формируются разветвления этих структурных уровней (Вычегде и средней Оби, Днестре, Кети и др.). К рекам с раздвоенным руслом относятся Обь, средняя и нижняя Лена, Северная Двина, Мезень, нижняя Волга, Амур, Амударья, Анадырь и Индигирка. На всех реках проводились комплексные русловые исследования с применением новейшей аппаратуры при съемках и промерах русел, измерении расходов воды и наносов, скоростных полей, на ряде рек – с многократной повторностью (Лена, Обь, Северная Двина).

В 1990–2000-е гг., когда стали применяться космические снимки, были «обнаружены» пойменно-руслowych разветвления и раздвоенные русла на средних реках (Чарыше, Кети, Казыме, Васюгане, Парабели – притоках Оби, Яренге на Вычегде).

Результаты исследований, имевшие наряду с фундаментальным характером прикладное значение в основном для водных путей, позволили выявить многообразие разветвлений, разработать и

со временем совершенствовать классификацию речных русел, обосновать структурные уровни проявления русловых процессов и выделить пойменно-русловые разветвления и раздвоенные русла. Рукава последних до 1990-х гг. относились к пойменной многорукавности, что нашло отражение в опубликованных в то время картах русловых процессов [Русловые процессы..., 1990; Морфология и динамика..., 1999]. При этом оговаривалась специфика ответвлений, обладавших соизмеримой или близкой с основным руслом водностью. То же касается пойменно-русловых разветвлений, раньше считавшихся крупными одиночными разветвлениями без учета соизмеримости водности рукавов, редкого перераспределения стока, формирования в рукавах нескольких излучин или разветвлений, изометричной сложной формы островов (островных массивов). Обобщение и русловой анализ полученных в ходе исследований материалов по морфологии, динамике, рассредоточению стока и режиму деформаций рукавов, как и в раздвоенных руслах, дало возможность выделения их как структурных уровней разветвленности со специфическими особенностями русловых процессов, отличных от русловых (островных) разветвлений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Раздвоенные русла. Отличительной особенностью раздвоенных русел является их большая протяженность при широкой пойме, превышающей ширину русла более, чем в 10 раз, т. е. $B_n \gg 10b_p$. На больших и крупнейших реках длина рукавов раздвоенных русел составляет сотни километров. На средней Оби (от устья р. Вахи до слияния в р. Иртышом) выше г. Сургута от основного русла в левобережную пойму отходят судоходные рукава Юганская Обь, протоки Большая Салымская и Неулева общей длиной 350 км, причем последняя при слиянии с Иртышом разделяется на три самостоятельно впадающих в Иртыш рукава; на нижней Оби ниже выступа Белогорского «материка» (у с. Перегребного) начинается 500-километровое разделение Оби на левый рукав Малую Обь и правый – Горную и Большую Обь (после слияния с поперечным рукавом – Большой Нюрик), которое заканчивается уже в пределах устьевой области реки перед сужением днища долины ($B_n \sim 5b_p$ против $B_n \sim 30b_p$ при $B_n = 60$ км в районе впадения в Малую Обь р. Северной Сосьвы выше по течению) коренными берегами у г. Салехарда. При этом рукава раздвоенного русла, в свою очередь, раздваиваются, и в одном поперечнике через долину существует от 3 до 5 рукавов раздвоенного русла, между которыми происходит основное рассредоточение стока.

Важным признаком раздвоенного русла Оби является многоводность и соизмеримость по водности рукавов. На нижней Оби в левом рукаве раздвоенного русла Малой Оби доля стока при заходе в него составляет около 60%, но затем из-за отвлечения его в пойменные протоки и другие рукава раздвоенного русла она сокращается до 5% и восстанавливается после слияния с ними и впадения Северной Сосьвы, но по отношению к Большой Оби ниже по течению (в нижней части раздвоенного русла) не превышает 30–40% [Чалов, Куракова и др., 2022]. Это находит отражение в формировании морфодинамических типов русел рукавов (табл. 1), отличных от характерных для реки выше (от слияния с Иртышом до с. Перегребного) и ниже слияния Малой и Большой Оби, где преобладают одиночные разветвления, чередующиеся с прямолинейными участками в первом случае, и параллельно-рукавные разветвления, образованные большими островами (длина и ширина $L_o \times B_o = 5,45 \times 2,25$ и $5,1 \times 1,15$ км), что в 2–4 раза превышает разветвления в рукавах раздвоенного русла, не считая встречающихся на Малой Оби пойменно-русловых разветвлений (Нарыкарского и Лапорско-Новинского выше протоки Большой Нюрик и Азовского ниже захода в нее). Из них только Азовское представляет таковое в меандрирующем русле; другие образовались вследствие размыва пойменных перемычек между излучинами Малой Оби и пойменными протоками. На Малой и Горной Оби на всем их протяжении преобладает свободно меандрирующее русло; на Большой Оби, значительная часть которой проходит вдоль правого коренного берега, велика доля прямолинейного неразветвленного русла и вписанных и обтекающие его излучины.

Другие рукава раздвоенного русла нижней Оби меандрируют (Тогурская Обь, Малая и Горная Обь), имеют прямолинейные русла (Большой Нюрик, Вайсова, в том числе ниже слияния с Северной Сосьвой) со своеобразным гидравлическим режимом при расположении поперек к регулярно затопляемой пойме или вдоль коренного берега либо излучины, чередующиеся с прямолинейными участками. На широтном участке средней Оби (выше устья Иртыша) все составляющие раздвоенного русла (Юганская Обь, протоки Салымская и Неулева) еще в конце XIX в. представляли собой единый рукав, но вследствие размывов пойменного межукавья со стороны излучин рукавов произошло его расчленение на три с образованием пойменно-русловых разветвлений между ними (рис. 1). Водность левых рукавов по длине всего участка постоянно изменяется от 20 до 40% не только из-за их расчленения, но и по мере отвлечения стока в пойменные протоки или, наоборот,

их впадения или ниже устьев притоков – рек Большого Югана и Большого Салыма. При преимущественном меандрировании параметры излучин закономерно изменяются в соответствии с колебаниями их водности; при расположении вдоль левого борта долины встречается прямолинейное русло. Правый рукав – собственно Обь – увеличивает

водность из-за впадения в него ряда правобережных притоков – рек, стекающих с Северных Увалов (Аган, Тромъеган, Лямин и др.). Преобладающие в нем излучины осложнены островами, представляя собой разветленно-извилистое русло, чередуясь с одиночными, а в районе г. Сургута – сопряженными разветвлениями.

Таблица 1

Распространение морфодинамических типов рукавов раздвоенного русла нижней Оби

Параметры	ПН	Излучины				Разветвления					Σ
		св	проп	вын, обт, впис	Σ	од	одн	п-р	дел	Σ	
Малая Обь от с. Перегребного до протоки Большой Нюрик											
Длина, км	33	112	—	—	112	18	11	21	—	50	195
%	16,9	57,4	—	—	57,1	9,2	5,6	10,8	—	25,6	100
Кол-во, ед.	4	17	—	—	17	2	1	2	—	5	26
%	16	68	—	—	68	8	4	4	—	16	100
Горная Обь											
Длина, км	40	97	32,5	—	129,5	62,5	—	—	—	62,5	232
%	17,2	41,8	14	—	55,8	26,9	—	—	—	26,9	100
Кол-во, ед.	4	12	25,1	—	15	7	—	—	—	7	26
%	15,4	46,2	31,5	—	57,7	26,9	—	—	—	26,9	100
Малая Обь от протоки Большой Нюрик до слияния с Большой Обью											
Длина, км	87	107,5	—	7,5	115	7	49,5	15,5	12	84	286
%	30,4	37,6	—	2,6	40,2	2,5	17,3	5,4	4,2	29,4	100
Кол-во, ед.	12	25	—	3	28	2	4	1	1	8	48
%	25	52,1	—	6,3	58,3	4,2	8,3	2,1	2,1	16,7	100
Большая Обь											
Длина, км	122	18	—	34	52	25	45	—	8	78	252
%	48,4	7,1	—	13,5	20,6	9,9	17,9	—	3,2	31	100
Кол-во, ед.	4	3	—	2	5	2	3	—	1	6	15
%	26,7	20	—	13,4	33,3	13,3	20	—	6,7	40	100

Примечание. ПН – прямолинейное неразветвленное; излучины: св – свободные, проп – прорванные, вын – вынужденные, обт – обтекающие, впис – вписанные; разветвления: од – одиночные, одн – односторонние, п-р – пойменно-русловые, дел – дельтовые.

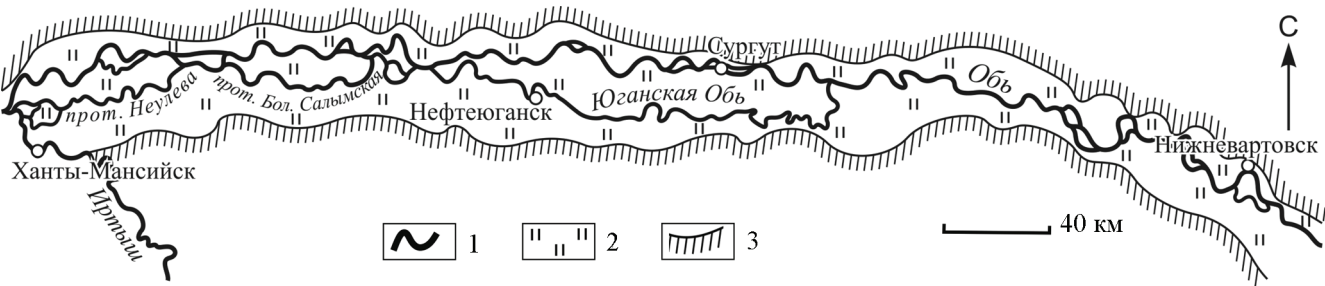


Рис. 1. Раздвоенное русло широтного участка средней Оби (выше слияния с Иртышом):
1 – рукава; 2 – пойма; 3 – коренные берега

Fig. 1. Bifurcated riverbed of the latitudinal section of the Middle Ob (above the confluence with the Irtysh):
1 – branches; 2 – floodplain; 3 – native banks

При прочих равных условиях размывы берегов в раздвоенном русле ниже, чем в едином. На средней Оби выше устья Ваха средняя скорость отступления пойменных берегов составляет 3 м/год, среднемаксимальная достигает 26,6 м/год. Появление на широтном участке средней Оби раздвоенного русла (Юганской Оби, проток Большой Салымской и Неулева) не сказывается на средних скоростях размыва берегов в главном рукаве, которые остаются примерно на том же уровне (3 м/год), тогда как среднемаксимальные скорости снижаются до 17,6 м/год. При этом в рукавах раздвоенного русла с меньшей водностью скорости размыва берегов в 1,5–2 раза меньше: в Юганской Оби – 1,8 м/год (среднемаксимальная – 5,3 м/год), Большой Салымской протоке – 1,9 м/год (4,2 м/год), протоке Неулева – 1,4 м/год (3,1 м/год).

В раздвоенном русле нижней Оби левый рукав – Малая Обь протекает преимущественно в пойменных берегах, и правый – вдоль коренного берега – Горная Обь, сменяющая название после слияния с поперечным рукавом Большой Нюрик на Большую Обь. Для левого рукава на фоне постоянного колебания водности и общего ее снижения вниз по течению, средние скорости размыва берегов не превышают 2,3 м/год (среднемаксимальная – 10,7 м/год). В правом рукаве – Горной Оби, проходящего возле правого коренного берега, они ниже: средняя – 1,9 м/год, среднемаксимальная – 6,8 м/год. На Большой Оби, которая, как и Горная Обь, протекает вдоль правого коренного берега, за счет перераспределения стока в нее интенсивность размыва берегов возрастает: средняя скорость – 2,0, среднемаксимальная – 8,7 м/год [Куракова, 2022; Чалов, Куракова и др., 2022].

Второй крупнейшей рекой с раздвоенным руслом является нижний Амур, на котором (не считая специфического разветвления при слиянии с Усури) имеется два таких сложных протяженных участка: 1) выше г. Комсомольска-на-Амуре Троицко-Иннокентьевское с длинами рукавов: крайне правого (собственно Амура) 70 км и левого (протоки Эмрон) 65 км; 2) выше с. Богородского (в пределах Нижне-Амурской низменности) – Мариинское – с длиной рукавов: левого (Старый Амур) 81 км и правого (протока Мариинская или Новый Амур) 92 км (рис. 2). В отличие от Оби эти рукава характеризуются более сложной морфодинамической структурой. Троицко-Иннокентьевское разветвление начинается с деления реки на правый рукав (собственно Амур) и левые (Эмрон и Аджор), из которых протока Эмрон соединяется с основным руслом через 30 км, а Аджор со следующим ответвлением от Амура протокой Кафа; межукавье между ними представлено пойменно-островным массивом Бандарен. Протока Кафа в нижней ча-

сти (после слияния с протокой Аджор) разделяется системой островов на четыре рукава, образующие сложное разбросанное разветвление. Правый, наиболее многоводный рукав, проходя вдоль правого коренного берега, имеет прямолинейное русло, но затем, отходя от него, образует развитые и крутые сегментные излучины, осложненные разветвлениями в привершинных частях и на крыльях.

В Мариинском разветвлении [Махинов и др., 1994] оба рукава имеют практически равную водность, изменяющуюся незначительно в связи с отвлечением расхода и впадением в них пойменных протоков. Правый рукав – Мариинская протока (Новый Амур) – меандрирует, формируя пологие излучины, а затем пойменно-руслowe разветвление, левый рукав которого также меандрирует, а правый образует вынужденную и обтекающую излучины, огибая выступающий в долину крупный скалистый мыс. Ниже по течению русло прямолинейное, но в нижней части появляются одиночные, односторонние и пойменно-руслowe разветвления. Старый Амур (левый рукав раздвоенного русла) в верхней части характеризуется сопряженными разветвлениями из четырех звеньев, одиночными и чередующимися односторонними разветвлениями, в нижней части русло прямолинейное с шахматным расположением побочной или образует два одиночных разветвления (рис. 3).

Рукава раздвоенных русел относительно небольших рек – Кети, Казыма, Ваха, Конды, Пинеги намного короче, но по соотношению длины межукавий и ширины русла сопоставимы: при $b_p = 2,7$ км нижней Оби выше и ниже раздвоенного и длины межукавья $l_{mp} = 55$ км от с. Перегребного до слияния Большой и Малой Оби $l_{mp}/b_p \approx 20,3$; на Амуре при $b_p \approx 3$ км и $l_{mp} \approx 90$ км $l_{mp}/b_p \approx 30$; на Кети $b_p = 0,8$ км, $l_{mp}^p = 20$ км, $l_{mp}^p/b_p \approx 25$; на Пинеге (ниже захода в Кулойский канал) $b_p = 0,55$ км, $l_{mp} = 15$ км, $l_{mp}/b_p \approx 28$. У большинства раздвоенных русел рукава меандрируют и, лишь располагаясь возле бортов долины, имеют прямолинейные участки, встречаются единичные пойменно-руслowe разветвления, а параметры излучин меньше, чем у неразветвленного русла, соответствуя водности рукавов. То же относится и к размывам берегов (табл. 2).

Особое положение среди рек с раздвоенным руслом занимает нижняя Волга, на которой левый рукав – Ахтуба по водности составляет 3–5% стока Волги и, располагаясь на протяжении 300 км вдоль полупустынных областей Прикаспийской низменности и в то же время связанная с Волгой пойменными протоками (воложками), отличается от нее своим гидрологическим и русловым режимом [Коротчаев, Иванов, 2000]. Русло Ахтубы в основном меандрирует, образуя развитые и крутые сегментные излучины, или прямолинейное вдоль левого борта Волго-Ахтубинской долины.

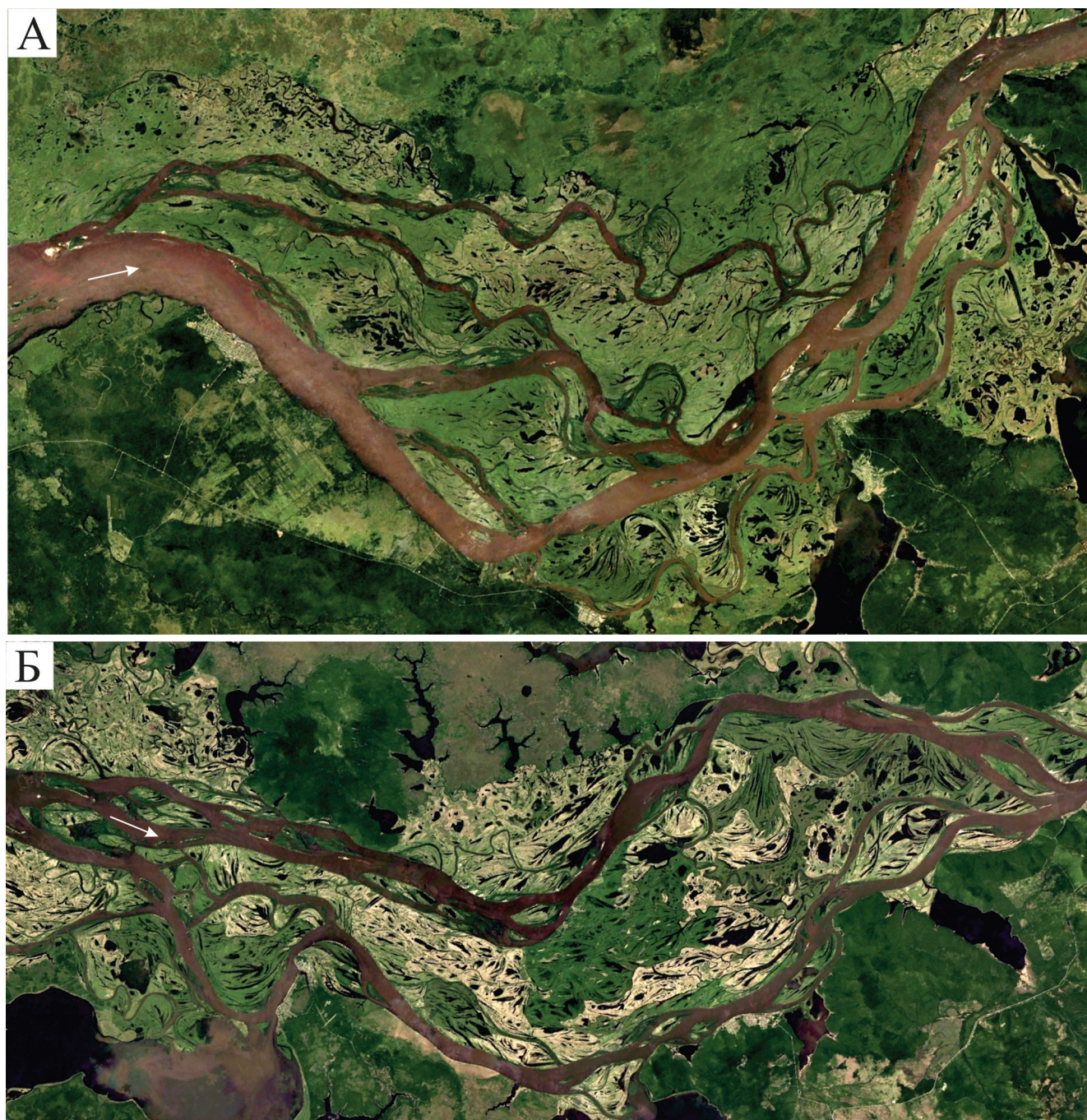


Рис. 2. Раздвоенные русла нижнего Амура: А – Троицко-Иннокентьевское; Б – Мариинское. Снимок из космоса

Fig. 2. Bifurcated riverbeds of the Lower Amur: A – Troitsko-Innokentyevskoye; Б – Mariinskoye. Photo from space

Определенным аналогом Ахтубы служит правый рукав р. Таза в нижнем течении, самостоятельно впадающий в Тазовскую губу. Перед устьем этот рукав не уступает по водности главному руслу, проходящему у левого коренного берега. Рукав начинается в вершине устьевой области в виде маловодной протоки, меандрирует, но по мере приближения к губе принимает много пойменных проток, берущих начало из основного русла, превращается в многоводный рукав с одиночными и односторонними разветвлениями, сопоставимыми по размерам с такими в русле основного левого рукава.

Еще большей спецификой обладают врезанные раздвоенные русла, имеющие скульптурные и скульптурно-аккумулятивные междуркавья. Таково Холмогорское разветвление в низовьях Северной Двины (рис. 4А), в котором два рукава – правый (собственно Северная Двина) и левый (Быстрокурка) – проходят у противоположных бортов долины, разделяясь останцово-островными междуркавьями шириной от 9 до 12 км со скальным цоколем и примыкающими к ним участками поймы, в свою очередь расчлененными и относительно многоводными рукавами с врезанным руслом – протоками

Равдогорка, Богоявленка и др., которые увеличивают долю стока в левом рукаве от 18% в 2 раза и снижают ее в правом основном до 33%. Правый рукав длиной 25 км образует три врезанные обтекающие излучины вдоль изгибов правого коренного берега (их параметры: $r = 2,5$ км, $L = 8,5$ км, $l/L = 1,3-1,45$). Протока Быстрокурка, огибая о. Ухостров, создает врезанную излучину, а затем, располагаясь вдоль левого коренного берега, характеризуется одиночными и односторонними разветвлениями.

Врезанное раздвоенное русло сформировалось в нижнем течении Онеги в 58 км от устья (см. рис. 4Б). Оба его рукава – Онега и Малая Онега (длиной соответственно 33 и 21 км), одинаковые по водности и ширине (120 м и после слияния с притоками – 250 м), – формируют врезанные пологие излучины, беспойменные, и лишь в правом рукаве между устьями правобережных притоков русло прямолинейное [Чернов и др., 2022].

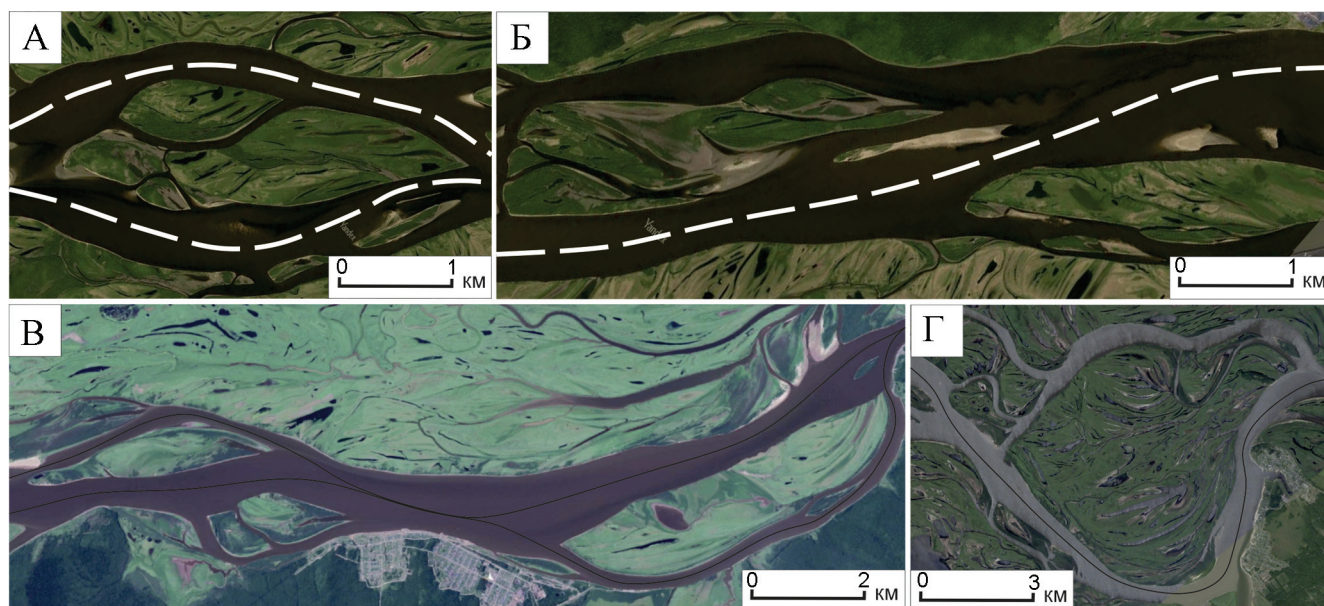


Рис. 3. Основные морфодинамические типы рукавов Мариинского раздвоенного русла нижнего Амура:

А – сложное одиночное разветвление (о-ва Низкие в Старом Амура); Б – чередующиеся односторонние разветвления (Старый Амур); В – сопряженные разветвления Мариинской протоки (Новый Амур); Г – прорванные излучины в Мариинской протоке

Fig. 3. The main morphodynamic types of the arms of the Mariinsky forked riverbed of the Lower Amur:

А – A complex single branching (Low islands in the Old Amur); Б – alternating unilateral branches (Old Amur); В – conjugate branches of the Mariinsky Channel (New Amur); Г – ruptured bends in the Mariinsky Channel

Таблица 2

Параметры излучин и скорости размыва берегов раздвоенных русел небольших рек

Река	Рукав	Параметры		C, м/год [Куракова, 2022]	
		r , м	l/L	Средняя	Максимальная
Кеть	Левый (р. Кеть)	550–600	1,3	1,7	3,6
	Правый (Старая Кеть)	300–350	1,5	1,3	2,1
Вах	Правый	450–550	1,8	1,7	2,3
	Левый	350–400	1,6	1,0	1,0
Казым	Левый	250–400	1,9	1,8	4,9
	Правый (протока Сорумказым)	300–500	2,1	1,3	3,0
Конда	Правый (протока Конда)	800–950	1,9	1,0	1,7
	Левый (р. Конда)	750–900	1,3–1,7	1,0	1,3

Таким образом, для рукавов раздвоенных русел характерны те же морфодинамические типы, отличающиеся своими параметрами и интенсивностью

русловых деформаций в соответствии с их водностью, расположением среди поймы или вдоль коренных берегов. При относительно одинаковой или

соизмеримой водности они имеют сходные типы русла, изменяющиеся по длине при уменьшении вследствие рассредоточения стока в пойменные протоки и другие рукава (в трех-четырёхрукавном раздвоенном русле) или увеличения при слиянии с ними или впадении притоков. При значительном от-

личии рукавов по распределению между ними расходов воды относительно менее водные в широкопойменном русле меандрируют, формируя крутые сегментные и петлеобразные излучины, а при подходе к коренным берегам – в зависимости от очертаний прямолинейные или обтекающие излучины.



Рис. 4. Врезанное раздвоенное русло:

А – в низовьях рек Северной Двины (снимок из космоса); Б – р. Онеги [Чернов и др., 2022]

Fig. 4. Embedded bifurcated riverbed:

А – in the lower reaches of the Northern Dvina (photo from space); Б – Onega River [Chernov et al., 2022]

Пойменно-русловые разветвления. В отличие от раздвоенных русел пойменно-русловые разветвления по длине превышают одиночные, образованные большими островами, в 2 раза, по длине рукавов – в 3–4 раза, отличаясь изометричной формой островных массивов и наличием в рукавах от 2–3 до 5–7 излучин или разветвлений и одного-двух коротких прямолинейных участков. Условия их формирования на меандрирующих и разветвленных реках, в рукавах раздвоенных русел и в узлах слияния рек, близких по водности, основные особенности их морфологии рассмотрены в [Ча-

лов, 2023]. Являясь промежуточным структурным уровнем между русловыми (островными) разветвлениями и раздвоенным руслом, они не создают морфологически однородные участки, а будучи одиночными образованиями среди излучин или русловых (островных) разветвлений сами из-за повышенной длины представляют собой каждая таковой, а рукава в них имеют свои наборы типов русел, формы и параметры которых существенно отличаются по размерам и конфигурации от русла реки выше и ниже по течению, соответствуя водности рукавов, их расположению по отношению к

пойме и бортам долины, рассредоточением стока наносов (подобно раздвоенным руслам). Для всех островных массивов, создающих пойменно-русовые разветвления, характерны сложные изометричные формы [Голубцов, 2022], в отличие от каплевидных, веретенообразных или овальных, типичных для русловых (островных) разветвле-

ний, в том числе в рукавах раздвоенных русел и самих пойменно-русовых разветвлений. Только в периферических зонах русла в прибрежных разветвлениях острова также имеют изометричные очертания, но протоки за ними и между ними являются второстепенными, маловодными, иногда пересыхающими в межень (рис. 5).

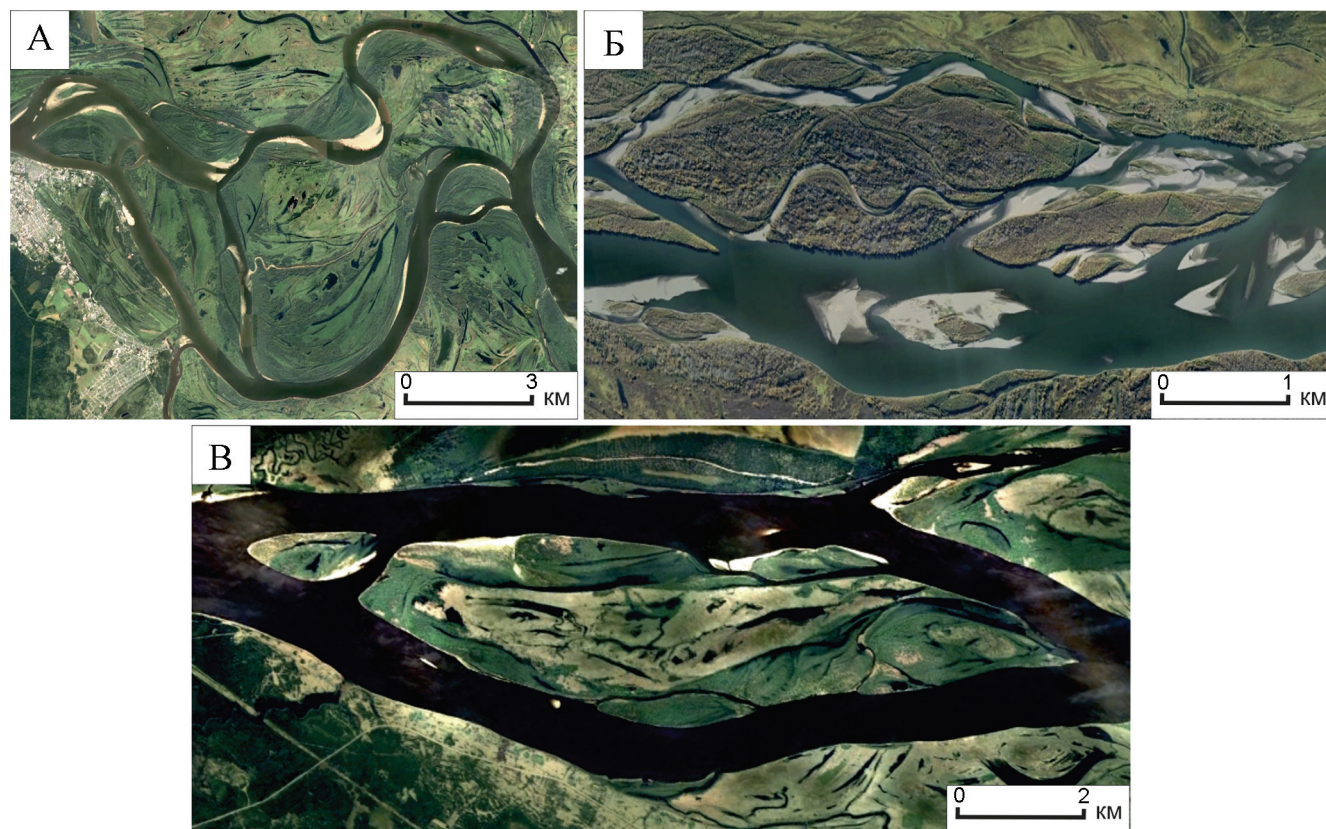


Рис. 5. Формы островных массивов, образующие пойменно-русовые разветвления: А – средняя Обь, Канеровское разветвление; Б – Северная Двина, о. Лябля; В – верхняя Обь, Карповское разветвление

Fig. 5. Shapes of island massifs forming floodplain-channel branches: А – Middle Ob, Kanerovskoe fork; Б – Severnaya Dvina, Lyablya Island; В – upper Ob, Karpov fork

На меандрирующих реках пойменно-русовые разветвления располагаются там, где река переваливает от одного борта долины к другому, пересекая широкую пойму. В результате имеет место несовпадение во время половодья (паводочного периода) направлений руслового и пойменного потоков (это особенно важно при прохождении руслоформирующего расхода в условиях затопленной поймы), являясь причиной формирования самих разветвлений, и находит отражение в морфологии рукавов и параметрах русловых форм [Чалов, 2023]. На меандрирующих реках рукава обычно тоже меандрируют, и лишь при их расположении возле коренных берегов имеются прямолинейные участки. Иногда встречаются единичные одиночные и односторонние разветвления, формирующиеся также в начале одного

из рукавов как следствие снижения транспортирующей способности потока и в нижней части другого, более длинного, находящегося в подпоре от более короткого в половодье. На морфологии островов отражается их водность, являющаяся следствием рассредоточения стока между ними (табл. 3), слив воды с затопленной поймы в один рукав и, наоборот, поступление воды с поймы в другой, а в многолетнем плане его перераспределение в связи с изменением параметров излучин и вследствие этого удлинением рукавов. Последнее приводит к периодическому изменению водности, относительному обмелению одного и развитию другого рукава. Иногда обмеление одного из рукавов приобретает направленный характер и приводит к превращению его в пойменную протоку. Такое перераспределение стока между

рукавами пойменно-руслowych разветвлений отмечено с конца XVIII в. на Вычегде в районе с. Подъельска и в начале XX в. в районе с. Ирты (рис. 6). На средней Оби в Кривошеинском разветвлении из-за роста кривизны и длины излучин левого рукава в конце XX в. большая часть стока переместилась в правый рукав, что привело к активизации размывов берегов и выполаживанию излучин (уменьшение радиусов кривизны); в левом рукаве, наоборот, перераспределение стока привело к уменьшению параметров излучин; в Канеровском пойменно-руслowym разветвлении (ниже г. Колпашево) развитие излучин левого основного (судоходного) рукава (их семь) сопровождается его общим удлинением, что

вызывает постепенное перераспределение стока в правый рукав – Канеровскую протоку, характеризующуюся одной большой излучиной, охватывающей большую ее часть и по одной «нормальной» в начале и конце рукава [Чалов, Завадский и др., 2022]. Сложные переформирования отмечены в Рассказинском пойменно-руслowym разветвлении верхней Оби (выше г. Барнаула), в котором в настоящее время расходы воды соотносятся между рукавами как 1:2, но за последние 60 лет происходило не только перераспределение стока, но, благодаря размывам перешейков между излучинами рукавов, и спрямление крутых излучин и изменение конфигурации всего разветвления [Русловые процессы..., 2000].

Таблица 3

Пойменно-руслowe разветвления на реках с меандрирующим руслом

Разветвление	Рукав	Распределение расходов воды Q , %	Тип русла	Параметры русла				Размывы берегов, $C_{ср}$, м/год
				r , м	l/L	L_o , м	B_o , м	
Средняя Обь								
Кривошеинское	Левый	45	Излучины	900	1,3	8000	2000	2,1
	Правый	55	Излучины	1500	1,8			2,7
на 1184–1195 км	Левый	40	Излучины	400	1,05–1,1	9000	2500	1,9
	Правый	60	Излучины	350	1,05–1,1			4,1
Канеровское	Левый	43	Излучины	2200	1,6	12000	5500	5,1
	Правый	57	Излучины	3400	1,8			3,2
Басмановское	Левый	65	Излучины	700	1,1–1,2	11000	5800	4,3
	Правый	35	Излучины	2000	1,7			1,8
Кольжда	Левый	30	Излучины	2200	1,75	4000	8500	3,6
	Правый	70	Излучины	2200	1,75			2,8
Нарымское	Левый	70	Излучины	950	1,3	5700	2300	2,3
	Правый	30	Излучины	1000	1,3			2,2
Мизуркинское	Левый	65	Излучины	1300	1,45	6000	2900	4,3
	Правый	35	Излучины	1200	1,35			6,3
Тымское	Левый	48	Излучины	1800	1,7	11500	4000	4,0
	Правый	52	Излучины	1900	1,75			2,1
Колгуякское	Левый	50	Излучины	1100	1,5	5100	1100	4,4
	Правый	50	Излучины	1150	1,55			7,5
Акасомское	Левый	45	Излучины	2400	1,6	7000	4000	2,1
	Правый	55	Излучины	2000	1,3			3,7
Колтогорское	Левый	55	Излучины	750	1,1–1,15	8000	3900	1,5
	Правый	45	Излучины	1800	1,3			4,3
Светлогорское (Соснинское)	Левый	60	Излучины	1200	1,35	5700	3000	6,3
	Правый	40	Излучины	1300	1,3			1,6
Вычегда								
Подъельское	Левый	80	Излучины	500–700	1,5–2	–	–	4,0
	Правый (Бакты)	20	Излучины, прямолин.	300–400	1,6–2,1	–	–	1,6

Разветвление	Рукав	Распределение расходов воды Q , %	Тип русла	Параметры русла				Размывы берегов, C_{cp} , м/год
				r , м	l/L	L_0 , м	B_0 , м	
Лука-Полой	Левый	70	Излучины, прямолин.	1100	1,55	—	—	2,8
	Правый (Лука)	30	Излучины	400–500	1,7–1,85	—	—	1,8
Иртовское	Левый	75	Излучины	750–2200	1,5–1,8	—	—	7,0
	Правый (Ленский)	25	Излучины	500–650	1,8–1,9	—	—	4,0
У п. Мал. Толша	Левый	20	Излучины	800	1,8	—	—	2,9
	Правый	80	Излучины	1900	1,55	—	—	2,1

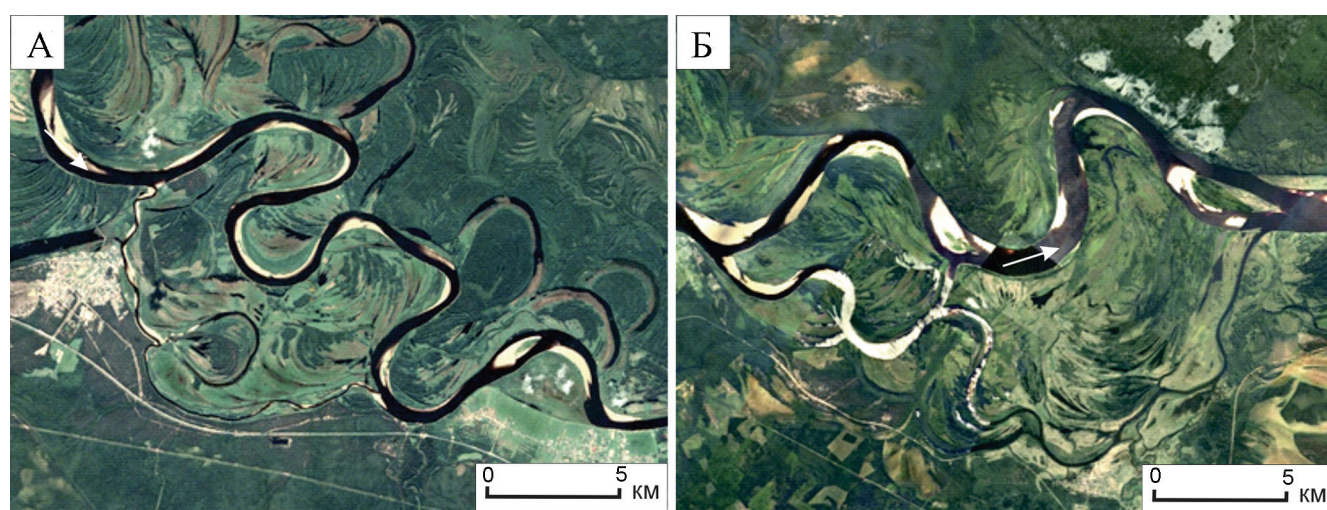


Рис. 6. Пойменно-руслowe разветвления на Вычегде: А – Подельское; Б – Иртовское (снимки из космоса)

Fig. 6. Floodplain-channel branches on the Vychegda River: A – Podelskoye; Б – Irtovskoye (photos from space)

Сложнее и многообразнее рассредоточение стока и формирование русел в рукавах пойменно-руслowych разветвлений на реках с разветвленным руслом. В тех случаях, когда они, как и меандрирующие, возникают на перевалах реки между бортами долины (р. Киренга), оба рукава, особенно в верхней части, имеют разветвленные русла, продолжая разветвления на вышележащем участке, занимая от $1/3$ до $3/4$ длины одного и другого рукавов. Наибольшую протяженность имеют сопряженные разветвления характерные для более коротких рукавов, которые лишь в нижней части, подходя к коренному берегу, имеют прямолинейное русло. В более длинном рукаве острова образующие одиночные и односторонние разветвления находятся в его начале и в конце, отделяясь смежными пологими излучинами или прямолинейной «вставкой» между ними, или только в начале, сменяясь до слияния рукавов прямолинейным или слабоизвилистым руслом. Распределение расходов воды между рукавами таких разветвлений близко к 1:1, изменяясь в разные фазы

водного режима, в многоводные и маловодные годы.

Более распространены пойменно-руслowe разветвления на больших и крупнейших реках, формируясь на них ниже изгибов коренных берегов (их выступов и мысов), оказывающих на поток направляющее воздействие, отклоняя его значительную часть в сторону поймы. Ниже таких выступов русло разделяется на два рукава, между которыми располагается единый островной массив изометричной формы или архипелаг островов разных размеров и конфигурации, разделенных маловодными (доли и первые % стока реки) межостровными протоками (аналог пойменной многорукавности). В зависимости от водности рукава в пойменных берегах (между береговой поймой и островным массивом), он, оставаясь меньшим по доли стока, чем рукав возле коренного берега, имеет относительно прямолинейное русло с одиночными островными разветвлениями (таковы пойменно-руслowe разветвления на Оби, Северной Двине, среднем Иртыше, в правых рукавах раздвоенного русла нижнего Амура), либо,

являясь основным по доли стока в нем (до 60–70%), характеризуется одиночными, сопряженными и односторонними разветвлениями. В первом случае основной, более многоводный рукав вдоль коренного берега сохраняет тот же тип русла, что и выше по течению; во втором – этот рукав, обладая меньшей водностью, отличается более сложными, чем основной, разветвлениями, вплоть до многоостровных параллельно-рукавных. К таковым на нижней Лене относится Белогорское разветвление, в котором правый рукав – протока Тингеллях – почти по всей длине состоит из цепочки удлинённых островов ($L_0/B_0 = 8-10$), разделяющих параллельные друг другу рукава, осложнённые разветвлениями второго порядка.

Пойменно-руслевые разветвления иногда имеют «эрозионное» происхождение, будучи связанными с размывами пойменных перемычек между основным руслом (или рукавом раздвоенного русла) и пойменными протоками, в которые в этом случае перемещается значительная часть расхода воды, и они превращаются в основные рукава или рукава раздвоенного русла. Таков генезис разветвлений, образовавшихся при расчленении междуручья на средней Оби, и двух разветвлений на Малой Оби; они встречаются на Енисее ниже Саяно-Шушенского гидроузла. Иногда они представляют собой результат спрямления большой сегментной излучины и образования прорванной, если старое русло сохраняет форму и размеры бывшей излучины, а спрямленный рукав меандрирует или наследует конфигурацию пойменных протоков, вдоль которых произошло спрямление русла. Таковы некоторые пойменно-руслевые разветвления на средней Оби (у г. Нижневартовска, расположенного на правом берегу старого русла). Если руслоформирующие расходы проходят до выхода воды на пойму, старое русло и разветвление существует десятки лет, постепенно мелея и превращаясь со временем в староречье.

Во врезанных руслах пойменно-руслевые разветвления (их следует называть останцовыми пойменно-руслевыми) встречаются редко; их образуют скульптурные и скульптурно-аккумулятивные островные массивы сложной формы ($L_0/B_0 \gg 3-4$) и шириной, существенно превышающую ширину русла. Островные массивы при этом незатопляемые в половодье (высокие паводки), высоко цокольные, и лишь в нижней части с причленённой поймой. Рукава таких разветвлений образуют большие врезанные сегментные излучины, слабоизвилистые или относительно прямолинейные, огибающие «останцовые» островные массивы (они напоминают вытянутые острова параллельно-рукавных разветвлений врезанных русел на средней Лене и среднем Иртыше, отличаясь от них большей шириной, которая в русловых разветвлениях не превышает ширину русла).

Будучи генетически predeterminedены геологическими условиями формирования, дефицитом наносов и врезанием реки, эти разветвления отличаются стабильностью русла и неразмываемостью берегов.

Таким образом, рукава пойменно-руслевых разветвлений имеют все основные типы извилистых и относительно прямолинейных русел как на меандрирующих, так и на разветвленных реках; разветвления рукавов встречаются в виде одиночных образований на меандрирующих реках и характерны для рукавов пойменно-руслевых разветвлений рек с разветвленным руслом, причем преобладают одиночные, односторонние и сопряженные их разновидности; более сложные встречаются лишь на крупнейших реках.

ВЫВОДЫ

Таким образом, пойменно-руслевые разветвления и раздвоенные русла, являющиеся более высокими структурными уровнями многорукавных русел, отличаются наиболее сложными морфологией, рассредоточением стока и переформированиями. В пойменно-руслевых разветвлениях насчитывается от двух до пяти-семи форм русла в каждом рукаве (количество рукавов также может достигать трех и более); в рукавах раздвоенных русел их насчитывается десятки, и по их длине происходит неоднократная смена морфодинамического типа русла в связи с рассредоточением стока, характером и особенностями затопления поймы, расположением по отношению к коренным берегам (бортам долины), шириной междуручья и самого русла, количеством островов и т. д.

Отличительной особенностью раздвоенных русел является их большая протяженность при широкой пойме (исключение составляют врезанные раздвоенные русла), превышающей ширину русла более чем в 10 раз ($B_n \gg 10b_p$). На больших и крупнейших реках длина рукавов раздвоенных русел составляет десятки и сотни километров (средняя и нижняя Обь, нижний Амур). Рукава раздвоенных русел относительно небольших рек (Кети, Казыма, Ваха, Конды, Пинег и др.) намного короче, но по соотношению длины междуручья и ширины русла сопоставимы. У большинства раздвоенных русел таких рек рукава меандрируют, и лишь возле бортов долины имеют прямолинейные участки, встречаются единичные пойменно-руслевые разветвления, а параметры излучин меньше, чем у неразветвленного русла, соответствуя водности рукавов. Размывы берегов как на больших, так и на относительно малых реках с раздвоенным руслом при прочих равных условиях ниже, чем в едином.

Пойменно-руслевые разветвления по длине превышают одиночные, образованные большими остро-

вами, не более чем в 2 раза, по длине рукавов – в 3–4 раза, отличаясь изометричной формой островных массивов между ними и наличием в рукавах от 2–3 до 5–7 излучин или разветвлений и одного-двух коротких прямолинейных участков. Во врезанных руслах останцовые пойменно-руслowe разветвления встречаются реже; их образуют скульптурные и скульптурно-аккумулятивные островные массивы овальной или вытянутой формы ($L_0/B_0 \gg 3-4$), имеющей ширину, существенно превышающую ширину русла. Островные массивы при этом незатопляемые, высоко цокольные, и лишь в нижней части с причлененной поймой.

Благодарности. Выполнено по государственному заданию кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова (исходные данные, русловой анализ) при поддержке РНФ – проекты 23-17-00065 («Распределение стока, русловые деформации, типизация и параметризация русел») и 23-77-01006 («Размывы берегов на Оби»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И., Чалов С.Р. Гидрологические функции разветвленного русла. М.: Географический ф-т МГУ, 2009. 240 с.
- Голубцов Г.Б. Формирование, морфология и динамика островов широкопойменных русел больших рек: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: ИГ РАН, 2022. 29 с.
- Гришанин К.В. Теория руслового процесса. М.: Транспорт, 1972. 216 с.
- Кондратьев Н.Е. Форма русла и форма перемещения наносов // Тр. ГГИ. 1953. Вып. 40(94). С. 44–65.
- Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Смирнов Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 272 с.
- Кортаев В.Н., Иванов В.В. Русловые деформации на нижней Волге // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2000. № 3. С. 37–43.
- Куракова А.А. Гидролого-морфодинамический анализ русел и опасные проявления русловых процессов на равнинных реках Обь-Иртышского бассейна (лесная зона): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2022. 28 с.
- Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
- Махинов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Направленная аккумуляция наносов и морфология русла нижнего Амура // Геоморфология. 1994. № 3. С. 70–78.
- Морфология и динамика русел рек европейской части России и сопредельных государств. Масштаб 1:2 000 000. М.: Федеральная служба геодезии и картографии РФ, 1999. 4 л.
- Назаров Н.Н., Диарра Б., Дремин Д.А. Морфологические разновидности русла и условия их формирования на р. Нигер (Западная Африка) // Геоморфология. 2021. № 2(52). С. 3–13.
- Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 328 с.
- Проектирование судовых ходов на свободных реках // Тр. ЦНИИЭВТ. М.: Транспорт, 1964. Вып. 36. 262 с.
- Русловые процессы на реках СССР. Масштаб 1:1 000 000. М.: ГУГК СССР, 1991. 1 л.
- Сидорчук А.Ю. Структура рельефа речного русла. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 126 с.
- Смирнова В.Г. Гидролого-морфологический анализ разветвленных русел рек Алтайского региона: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск: ИГ СО РАН, 2002. 20 с.
- Цянь Нин, Чжан Жэнь, Чжоу Цзыдэ. Русловой процесс. Пекин: Наука, 1987. 584 с. (на кит. языке).
- Чалов Р.С., Куракова А.А., Камышев А.А. и др. Раздвоенные русла больших и крупнейших рек: условия формирования, распределение стока и морфодинамика рукавов // Геоморфология. 2022. № 2. С. 72–88.
- Чалов Р.С., Завадский А.С., Ботавин Д.В. и др. Колпашевские перекаты в Канеровском разветвлении р. Обь: деформации, прогнозные оценки и регулирование русла // Речной транспорт (XXI век). 2022. № 2. С. 38–43.
- Чалов Р.С. Пойменно-руслowe разветвления: условия формирования и гидролого-морфологическая характеристика // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2023. № 2. С. 10–21.
- Чернов А.В., Субетто Д.А., Потахин М.С. и др. Особенности формирования озерно-руслowych систем Северо-Запада России // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2022. Т. 4. № 4. С. 346–358.
- Knighton A.D. Fluvial Forms and Processes: A New Perspective, London, Arnold, 1998, 383 p.
- Latrubesse E.M. Patterns of anabranching channel: the ultimate end-member adjustment of mega rivers, *Geomorphology*, 2008, p. 130–145.
- Leopold L.V., Wolman M.G. River channel patterns – braided, meandering and straight, *US Geol. Surv. Prof. Pap.* 282-B, 1957, p. 1–85, DOI: 10.3133/pp282B.
- Rosgen D.L. A classification of natural rivers, *Catena*, 1994, vol. 22, p. 169–199, DOI: 10.1016/0341-8162(94)90001-9.

Поступила в редакцию 09.07.2025

После доработки 15.09.2025

Принята к публикации 17.10.2025

MORPHODYNAMICS AND RESHAPING OF THE ARMS OF BIFURCATED RIVERBEDS AND FLOODPLAIN-CHANNEL BRANCHES

R.S. Chalov¹, G.B. Golubtsov², A.A. Kurakova³

¹⁻³ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography*

¹ *Department of Land Hydrology*

^{2,3} *Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes*

¹ *D.Sc. in Geography, Professor; e-mail: rschalov@mail.ru*

² *Ph.D. in Geography, Junior Scientific Researcher; e-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru*

³ *Ph.D. in Geography, Scientific Researcher; e-mail: a.a.kurakova@mail.ru*

Among the four structural levels of branching, floodplain-channel branching and bifurcated channels are the most morphologically complex and at the same time quite common. The independent development of branches in such channels leads to a great diversity of their forms and parameters, as well as the specific hydrological and channel regimes of these sections of the channel. Unlike of the lower structural levels, the detailed hydrological and morphological analysis and assessment of the reorganization of branches of bifurcated channels are poorly covered in the scientific literature. The parameters of branched channels, the ratio of branch water content and the rate of bank erosion, the set and parameters of morphodynamic types of branches, and the characteristics of interbranching are discussed. The characteristics of an incised forked channel and its difference from a similar one formed under free development of channel deformations are shown on particular examples. The conditions of formation are shown and the characteristics of floodplain-channel branches formed in a wide floodplain and, less often, incised channel are presented, as well as the influence of hydrological and geological-geomorphologic (protrusions and capes of the native banks) factors on the deformation of branches and the long-term redistribution of flow.

Thus, the paper provides an analysis of morphodynamics and hydromorphology of the arms of floodplain-channel branches and forked channels taking into account their features on rivers of different size (orders), water content, sediment flow and other natural conditions and factors of their formation.

Keywords: branched channels, midstream sandbanks, islands, dispersion of runoff, floodplain multi-branching

Acknowledgements. The paper is prepared under the State Assignment of the Department of Land Hydrology and the Makkaveev research laboratory of soil erosion and fluvial processes (source materials and channel analysis) with financial support of the Russian Science Foundation – project No. 23-17-00065 (flow dispersion, channel deformations, riverbed typology and parameterization), No. 23-77-01006 (riverbank erosion in the middle reaches of the Ob River).

REFERENCES

- Alekseevskij N.I., Chalov S.R. *Gidrologicheskie funkcii razvetvlenogo rusla* [Hydrological functions of a branching channel], Moscow, Geographical Faculty of Moscow State University Publ., 2009, 240 p. (In Russian)
- Chalov R.S. *Fluvial Processes: Theory and Applications, vol. 1, Drivers and Conditions of River Channel Character and Change*, New York, Springer International Publ., 2021, 576 p.
- Chalov R.S. Pojmenno-ruslovyje razvetvlenija: uslovija formirovanija i gidrologo-morfologičeskaja harakteristika [Floodplain-channel branching: formation conditions and hydromorphological characteristics], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2023, no. 2, p. 10–21. (In Russian)
- Chalov R.S., Kurakova A.A., Kamyshev A.A. et al. Razdvoennye rusla bol'shih i krupnejših rek: uslovija formirovanija, rassejanie stoka i morfodinamika rukavov [Anabranching channels of large rivers: formation conditions, flow partitioning and morphodynamics of branches], *Geomorfologija*, 2022, no. 2, p. 72–88. (In Russian)
- Chalov R.S., Zavadskij A.S., Botavin D.V. et al. Kolpashevskie perekaty v Kanerovskom razvetvlenii r. Ob': deformacii, prognoznnye ocenki i regulirovanie rusla [Kolpashevo shoals in the Kaner anabranch of the Ob River: deformations, forecasts and channel regulation], *Rechnoj transport (XXI vek)*, 2022, no. 2, p. 38–43. (In Russian)
- Chernov A.V., Subetto D.A., Potahin M.S. et al. Osobennosti formirovanija ozorno-ruslovyh sistem Severo-Zapada Rossii [Features of the formation of lake-channel systems in Northwestern Russia], *Gidrosfera. Opasnye processy i javlenija*, 2022, vol. 4, no. 4, p. 346–358. (In Russian)
- Golubtsov G.B. *Formirovanie, morfologija i dinamika ostrovov širokopojmennyh rusej bol'shih rek* [Formation, morphology and dynamics of islands in large multi-channel river valleys], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Geography, Moscow, In-te of Geography RAS Publ., 2022, 29 p. (In Russian)
- Grishanin K.V. *Teorija ruslovogo processa* [Theory of channel processes], Moscow, Transport Publ., 1972, 216 p. (In Russian)
- Knighton A.D. *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*, London, Arnold, 1998, 383 p.
- Kondrat'ev N.E. Forma rusla i forma peremeschenija nanosov [Channel shape and sediment transport patterns], *Trudy GGI*, 1953, no. 40 (94), p. 44–65. (In Russian)
- Kondrat'ev N.E., Popov I.V., Snishchenko B.F. *Osnovy gidromorfologičeskoj teorii ruslovogo processa* [Fundamental morphological theory of river channel processes], Moscow, Nauka, 1980, 200 p. (In Russian)

- mentals of the hydromorphological theory of channel processes], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1982, 272 p. (In Russian)
- Korotaev V.N., Ivanov V.V. Ruslovyje deformatsii na Nizhnei Volge [Channel deformations on the Lower Volga], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2000, no. 3, p. 37–43.
- Kurakova A.A. *Gidrologo-morfodinamicheskij analiz rusej i opasnye proyevljenija ruslovyh processov na ravninnyh rekah Ob'-Irtyskogo bassejna (lesnaja zona)* [Hydrological-morphodynamic analysis of channels and hazardous channel processes in the Ob-Irtys basin], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Geography, Moscow, Moscow State un-ty Publ., 2022, 28 p. (In Russian)
- Latrubesse E.M. Patterns of anabranching channel: the ultimate end-member adjustment of mega rivers, *Geomorphology*, Elsevier, 2008, p. 130–145.
- Leopold L.V., Wolman M.G. *River channel patterns – braided, meandering and straight*, US Geol. Surv. Prof. Pap. 282-B, 1957, p. 1–85. DOI: 10.3133/pp282B.
- Makhinov A.N., Chalov R.S., Chernov A.V. Napravlenaja akumuljacija nanosov i morfologija rusla nizhnego Amura [Directed sediment accumulation and channel morphology of the lower Amur River], *Geomorfologija*, 1994, no. 3, p. 70–78. (In Russian)
- Makkaveev N.I. *Ruslo reki i erozija v ee bassejne* [River channel and erosion in its basin], Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1955, 347 p. (In Russian)
- Morfologija i dinamika rusej rek evropejskoj chasti Rossii i sopredel'nyh gosudarstv* [Morphology and dynamics of river channels in the European part of Russia and neighboring countries], Map 1:2 000 000, Federal Service for Geodesy and Cartography of the Russian Federation, 1999. (In Russian)
- Nazarov N.N., Diarra B., Dremine D.A. Morfologicheskie raznovidnosti rusla i uslovija ih formirovanija na r. Niger (Zapadnaja Afrika) [Morphological varieties of the channel and the conditions of their formation in the Niger River (West Africa)], *Geomorfologija*, 2021, no. 2(52), p. 3–13. (In Russian)
- Popov I.V. *Deformacii rechnyh rusej i gidrotehnicheskoe stroitel'stvo* [Deformations of river channels and hydraulic engineering], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1965, 328 p. (In Russian)
- Proektirovanie sudovyh hodov na svobodnyh rekah* [Design of shipping channels on free rivers], Trudy CNIIEVT, Moscow, Transport Publ., 1964, no. 36, 262 p. (In Russian)
- Qian Ning, Zhang Ren, Zhou Zide, *Ruslovoj process* [River processes], Beijing, Nauka Publ., 1987, 584 p. (In Chinese)
- Rosgen D.L. A classification of natural rivers, *Catena*, 1994, vol. 22, p. 169–199, DOI: 10.1016/0341-8162(94)90001-9.
- Ruslovyje processy na rekah SSSR* [Channel processes on the rivers of the USSR], Map 1:1 000 000, Main Directorate of Geodesy and Cartography of the USSR, 1991. (In Russian)
- Sidorchuk A.Ju. *Struktura relefa rechnogo rusla* [Structure of river channel relief], St Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1992, 126 p. (In Russian)
- Smirnova V.G. *Gidrologo-morfologicheskij analiz razvetvlennyh rusej rek Altajskogo regiona* [Hydrological-morphological analysis of branching river channels of the Altai region], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Geography, Irkutsk, Institute of Geography SB RAS Publ., 2002, 20 p. (In Russian)

Received 09.07.2025

Revised 15.09.2025

Accepted 17.10.2025