ИЗВЕСТИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА 2023, том 155, № 3–4, с. 145–162

РАЗВЕТВЛЕНИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ, ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ И ТИПИЗАЦИЯ[1]

© 2023 г. Р. С. Чалов[a], *, Г. Б. Голубцов[a], **, А. А. Куракова[a], ***

[a] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Россия*

**E-mail: rschalov@mail.ru*

***E-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru*

****E-mail: a.a.kurakova@mail.ru*

Поступила в редакцию 19.10.2023 г.
После доработки 15.11.2023 г.
Принята к публикации 02.12.2023 г.

На основе многолетних исследований дано обоснование полной классификации разветвлений, образующих морфологически однородные участки в разных геолого-геоморфологических условиях, которые формируются в рукавах разветвлений разных структурных уровней и в руслах других морфодинамических типов. Анализ условий формирования разветвлений речных русел, их морфологии, деформаций и переформирований показал, что в классификации необходимо учитывать структурные уровни разветвлений и их морфодинамические типы; отдельно выделять разнообразие разветвлений в извилистом русле, формирующих типы русла или морфологически однородные участки; учитывать единичные разветвления на излучинах, в прямолинейном русле и в рукавах разветвлений; выделять пойменную многорукавность, второстепенные прибрежные или приостровные разветвления, а также разветвления второго и третьего порядков. Рукава русловых (островных) разветвлений могут представлять собой пологие излучины, шпорами которых являются острова; прямолинейное русло; разветвления второго-третьего порядков, совокупность которых создает в рукавах разные типы разветвления. Разработка классификации разветвлений, как и в целом ранее предложенной авторами морфодинамической классификации речных русел, дает возможность ее дорабатывать по мере изучения разветвлений речных русел, создавать в ней новые уровни (блоки), позволяющие учесть все большее морфологическое и динамическое разнообразие разветвлений и условий их формирования.

Ключевые слова: разветвления, классификация, русловые процессы, структурные уровни, русловые переформирования, пойменная многорукавность, раздвоенные русла

DOI: 10.31857/S0869607123030035, **EDN:** NZDNOW

ВВЕДЕНИЕ

Разветвления речных русел – один из основных процессов их формирования (наряду с меандрированием и развитием относительно прямолинейных неразветвленных

[1] Выполнено по планам НИР (ГЗ) кафедры гидрологии суши и Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ им. М.В. Ломоносова (№№ 121051400038-1, 121051200166-4 – исходные данные, русловой анализ) при финансовой поддержке РНФ (проект № 23-17-00065 – натурные исследования 2023 г., разработка типизации форм разветвлений; № 23-77-01006 – анализ опасных русловых процессов на реках Западной Сибири (размывы берегов)).

русел), проявляющиеся в образовании островов и разделении потока (рассредоточении стока) по рукавам и протокам, в его специфической гидравлической структуре и режиме русловых деформаций. Разветвленные русла, в первую очередь, характерны для больших и крупнейших рек [4], но встречаются на средних и даже малых реках, различаясь по количеству и форме островов, образующих разветвления, сложности их морфологии и динамики. Они формируются на равнинных и горных реках, в условиях свободного (широкопойменные русла) и ограниченного (врезанные русла) развития русловых деформаций, на реках с устойчивым и слабоустойчивым, песчаным или галечно-валунным руслом. Различная водность и режим стока воды, величина стока наносов, условия прохождения руслоформирующих расходов воды, геоморфологическое строение долины и положение русел относительно их бортов (коренных или террасовых берегов) – все это определяет различные условия формирования и морфологическое разнообразие разветвлений [25] и, соответственно, неодинаковые подходы к управлению русловыми процессами при транспортном и водохозяйственном освоении рек, прокладке через реки коммуникаций и т.д.

Образуя морфологически однородные участки разной протяженности, разветвленные русла (их часто называют многорукавными, что далеко не всегда отражает степень разветвленности – одиночные острова, даже определяющие облик русла, разделяют его на два рукава, и применение к таким разветвлениям приставки “много” искажает реальную картину) лишь во второй половине XX века стали предметом исследований. Это отразилось в классификациях речных русел, в большинстве которых выделяется не более двух–четырех их разновидностей, основывающихся на различных признаках и при этом не учитывающих гидроморфологию разветвлений, их генезис, режим деформаций, рассредоточение стока и сочетание с другими типами русел. Выделяются, например, осередковая или русловая и пойменная многорукавность [1, 10, 38], двурукавные и многорукавные русла с разделением их на равнинных и горных реках [33]. Д. Росген [37] типизировал разветвления по сочетанию крупности наносов, соотношению ширины и глубины русел $b_р/h$ и ширины поймы и ширины русла $B_п/b_р$ и уклонов, выделив 14 комбинаций таких соотношений. Н.А. Ржаницын [15] противопоставлял разветвления на горных и равнинных реках, в зависимости от ширины поймы и русла, расположения островов в виде отдельных форм или цепочек вдоль реки. Такая же ограниченность свойственна и многим другим исследованиям [34–36].

Исключение представляет подход к типизации русел, развиваемый в МГУ [24, 27], в основу которого положены идеи, высказанные Н.И. Маккавеевым [13, 14], и являющийся, по-существу, морфодинамическим. В нем выделение типов разветвлений основывается на взаимном расположении островов, образующих разветвления, сопряженности их развития, рассредоточенности стока по рукавам и протокам, гидравлических и морфологических условий формирования островов. Учитывается степень разветвленности русла (количество островов и рукавов), наличие вторичной разветвленности и, главное, многолетние переформирования – русловой режим разветвлений [27]. Она включает практически все известные разновидности разветвлений: относительно простые типы – одиночные, сопряженные и односторонние, сложные формы разветвлений – чередующиеся односторонние, параллельно-рукавные, сложно-сопряженные, пойменно-русловые, дельтовые, разветвлено-извилистые, разбросанные, разветвления в узлах слияния рек и раздвоенные русла, которые формируются на горных, полугорных и равнинных реках, в различных геолого-геоморфологических условиях (на реках с широкопойменным, адаптированным и врезанным руслом), на малых, больших и крупнейших реках. Однако, структурные уровни проявления процессов разветвления – русловой (островной), пойменно-русловой, пойменный (раздвоенное русло) – в ней также не отражены, а пойменно-русловые разветвления и раздвоенные русла включены в перечень русловых (островных) разветвлений, то есть в один ряд поставлены разветвления, соответствующие различным структурным

уровням их развития. Кроме того, в ней не отражены разветвления на излучинах русла, или, наоборот, извилистость рукавов, другие проявления разветвленности, не создающие на реках морфологически однородные участки, но формирующиеся в рукавах разветвлений, в привершинных частях и на крыльях излучин, в том числе при их спрямлении (прорванные излучины), и т.д. Отсутствует пойменная многорукавность – расчленение поймы на отдельные пойменные массивы относительно маловодными протоками (первые проценты от общего стока воды в реке), свойственная рекам с широкопойменным руслом. Разветвления рек с врезанным руслом выделены только по наличию или отсутствию коренного (как правило, скального) цоколя – скульптурные, скульптурно-аккумулятивные и аккумулятивные.

Эти недостатки присущи всем подходам к типизации разветвлений, поскольку в них рассматриваются только островные разветвления (русловая многорукавность).

Задача настоящей статьи – на основе обобщения материалов многолетних исследований разветвленных русел, их морфологии и динамики, условий формирования и многообразия проявлений, обосновать полную, на современном уровне изученности, классификацию разветвлений, образующих морфологически однородные участки, формирующихся в рукавах разветвлений разных структурных уровней и в руслах других морфодинамических типов, в разных геолого-геоморфологических условиях.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Исследования русловых процессов на реках с разветвленным руслом начались в МГУ им. М.В. Ломоносова в 1957 г. на Северной Двине. Инициатором их выполнения и организатором был Н.И. Маккавеев, который несколько раньше [13] впервые обратил внимание на многообразие разветвлений русел. В последующие годы русловые исследования проводились на многих больших и крупнейших реках России и бывшего СССР, имеющих в основном разветвленное русло (верхняя и нижняя Обь, Лена, Енисей, Амур, Волга, Амударья) или разветвления, осложняющие излучины и прямолинейные русла (Вычегда, Иртыш, средняя Обь, Днестр), на горных реках Кавказа, Алтая и других горных регионов, встречающихся также в виде единичных образований на малых и средних реках. В ходе исследований проводились с различной детальностью съемка и промеры русел, гидрометрические измерения в рукавах и протоках, определялась структура потоков, темпы размыва берегов, состав и распределение руслообразующих наносов. Для выполнения руслового анализа и определения режима русловых деформаций привлекались лоцманские карты и карты судоходных рек, фиксирующие состояние русел в разные временные интервалы с конца XIX–середины XX веков, а также космические и аэроснимки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛДЕОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Условия формирования разветвленных русел и единичных разветвлений.

Общей причиной формирования разветвлений русел любого типа является разделение потока на ветви течения, между динамическими осями которых аккумулируются наносы и образуются осередки. Это происходит при увеличении относительной ширины русла $b_р/h$ (здесь h – глубина русла) и гидравлических сопротивлений движению потока $\lambda = C^2/2g$ (C – коэффициент Шези, зависящий от шероховатости русла). Согласно критерию И.Ф. Карасева [9] $\Theta = \frac{b_p}{h}\sqrt{\lambda}$, при больших значениях Θ (по И.Ф. Карасеву >9.5, по другим данным в несколько раз больше и неодинаково на разных реках [8, 11]) поток разбивается на две и более ветвей течения. Зарастание осередков, как обсыхающих в межень частей образовывающихся крупных грядовых форм руслового рельефа (макроформ, осередков), приводит к их превращению в элементар-

ные острова, а в процессе их развития – в малые, которые определяют структуру потока и сохраняют его разделение на ветви даже при затоплении в многоводную фазу водного режима [6].

На больших и крупнейших реках увеличение $b_р/h$ при прочих равных условиях является главной причиной формирования протяженных участков разветвленного русла, различающихся только по типам самих разветвлений в зависимости от устойчивости русла, влияния коренных берегов, изменений ширины поймы и особенностей ее затопления, подпорных явлений перед сужениями русла и днища долины и слиянием с крупными притоками. Формирование тех или иных типов разветвлений связано с эволюцией элементарных и малых пойменных островов, объединением их в большие острова и островные массивы, разделяющие поток по рукавам и приводящие к рассредоточению стока [7, 27]. Это – русловая (островная) разветвленность русла – основа морфологически однородных участков, отражающая главные черты морфодинамики и руслового режима (деформаций, переформирований) рек в целом или рукавов пойменно-русловых разветвлений и раздвоенных русел. Таковы большая часть верхней Оби, широтный участок ее среднего и все нижнее течение; Лена, на которой разветвления начинаются еще во врезанном русле в среднем течении и заканчиваются лишь перед Ленской “трубой” в низовьях; большая часть Енисея; многие участки Печоры и Северной Двины; нижняя Волга; средний и нижний Амур (кроме участков, где он пересекает горные массивы Хинган и Сихотэ-Алинь), а также многие реки северо-востока страны.

Морфологически однородные участки, создающие разветвления, определяют облик самого русла или рукавов разветвлений более высоких структурных уровней – пойменно-русловых разветвлений и раздвоенного русла. При этом сами разветвления этих уровней уже создают разделение русла на самостоятельные, автономно развивающиеся рукава (например, Волга и Ахтуба, Малая и Горная – Большая Обь), характеризующаяся в зависимости от их длины единым морфодинамическим типом или несколькими морфологически однородными участками с разным типом русла и их чередованием (Малая Обь в основном меандрирует, прерывая серии излучин участками разветвлений разного типа, в том числе пойменно-русловыми, рукава которых, в свою очередь, образуют излучины и прямолинейные отрезки).

На реках с врезанным руслом, формирующимся в скальных грунтах (кристаллических или осадочных), разветвления преимущественно развиваются в условиях дефицита наносов, и их возникновение связано с коренными выступами на дне реки (огрудками), образующими скульптурные острова. В этих условиях скопления наносов возникают возле препятствий в виде выступов на дне – формируются скульптурно-аккумулятивные разветвления. При этом образование разветвлений происходит на фоне интенсивного врезания реки (до нескольких см/год) при дефиците наносов благодаря корродирующему воздействию перемещаемых в стрежневой зоне гальки и валунов. Врезанные русла в пластичных грунтах из-за сложного геолого-литологического строения отложений и их трудной, но все-таки размываемостью (в отличие от неразмываемости скальных) не имеют дефицита наносов, характеризуются параметрами русел и их разветвлений, устойчивостью русел такими же, как реки с широкопойменным руслом, отсутствием коренных выступов на дне, хотя иногда подстилаясь плотными глинами, как бы скользят по ним, способствуя их избыточному расширению и уменьшению глубины. Определенный отпечаток накладывает лишь отсутствие или предельно малая ширина поймы, в результате чего во время половодья почти весь поток сосредотачивается в русле.

Формирование островных (русловых) разветвлений и составляющих их элементов (одиночные разветвления, звенья сопряженных, параллельно-рукавных разветвлений и т.д.), образующих морфологически однородные участки, закономерность их дефор-

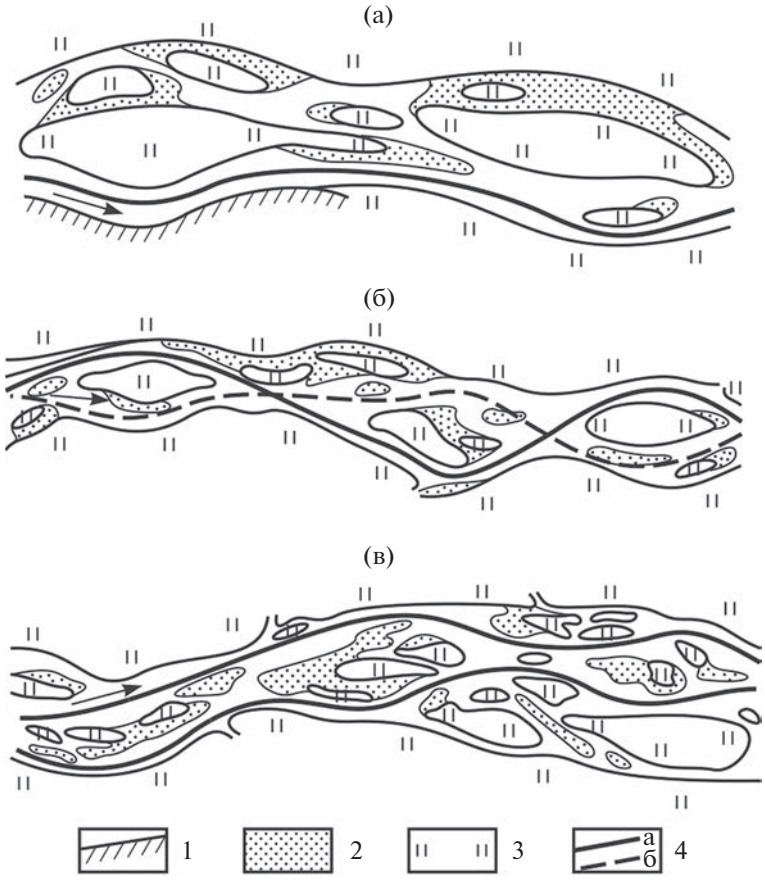

Рис. 1. Морфологически однородные участки разветвлений: а – односторонних; б – сопряженных; в – параллельно-рукавных.

Fig. 1. Morphologically homogeneous areas of branching: а – one-sided; б – conjugate; в – parallel-sleeve.

маций, многолетних переформирований и трансформаций как в процессе саморазвития, так и при естественных и антропогенных изменениях факторов русловых процессов и условий формирования достаточно полно освещены в общих [2, 24, 26–28, 31] и многочисленных региональных публикациях [5, 17–19] и в статьях, посвященных каждому типу разветвлений [11, 12, 22, 29–32] (рис. 1).

Условия и причины формирования разветвлений, не образующих морфологически однородные участки и представляющих собой единичные образования в руслах других типов, а также в рукавах островных (русловых) разветвлений, очень разнообразны. Наиболее распространенными являются следующие их разновидности.

1) Разветвления, формирующиеся при спрямлении развитых или крутых сегментных излучин, приводящие к возникновению прорванных излучин, в которых продолжают функционировать наряду с вновь образовавшимися рукавами, спрямляющими излучины, старые русла (рис. 2а). Они существуют на реках, на которых руслоформирующие расходы воды $Q_{ф}$ проходят при затопленной пойме, и потоки воды, затопившей пойму, концентрируясь в староречьях, не позволяют им полностью утратить гид-

равлическую связь с рекой и превратиться в озера-старицы на пойме. То же происходит, если образование прорванной излучины осуществляется вдоль коренного берега ниже его близкого к коленообразному изгибу. Направляющее воздействие на поток плеча коренного берега поддерживает многоводность старого русла, тогда как вновь образовавшийся рукав оказывается менее водным и, если при этом отходит от коренного берега – меандрирует, образуя излучины с параметрами, соответствующими его водности. При $Q_{ф,}$ проходящих в пойменных бровках, старое русло в виде второго изогнутого рукава существует в течение лишь некоторого времени, пока полностью не обмелеет.

2) Образование островов у выпуклых берегов крутых излучин в их привершинных частях, отделенных от пойменной шпоры излучины короткими, спрямляющими крутые повороты реки рукавами. Образование таких разветвлений двоякое. При достижении излучиной критических значений параметров ($r < 2.5b_р$ – правило Миловича, где r – радиусы кривизны, $b_р$ – ширина русла) нарушается безотрывное обтекание потоком берегов, стрежень перемещается к выпуклому берегу, русло расширяется и формируется осередок, со временем превращающийся в остров; это же может привести к отторжению части шпоры и возникновению острова, имеющего в данном случае эрозионное происхождение (рис. 2б).

3) Острова образуются на крыльях излучин: на верхнем крыле (рис. 2в) – как следствие подпора потока перед крутым изгибом русла в ее вершине (особенно на вынужденных излучинах), на нижнем крыле (рис. 2г) – из-за размыва вогнутого берега ниже вершины излучины и вследствие образующегося из-за этого местного расширения русла.

4) Формирование расширения русла на прямолинейной “вставке” между смежными излучинами как следствие несовпадения направлений руслового и пойменного потоков и образования здесь водоворотных зон при сливе воды в русло с затопленной поймы и переливе воды из русла в пределы поймы (рис. 2д).

5) Образование островов второго и третьего порядков в рукавах русловых (островных) разветвлений, на участках относительно прямолинейного русла и на излучинах. Параметры этих разветвлений в несколько раз, иногда на порядок, меньше параметров разветвлений основного русла. Причины их появления в руслах разного типа очень разнообразны. В начале рукавов они возникают из-за снижения транспортирующей способности потока при его разделении на ветви течения; в нижней части рукава – вследствие подпора потока во время прохождения $Q_ф$ со стороны второго, обычно более короткого рукава, или из-за расширения русла при слиянии рукавов. В прямолинейном русле и на крыльях излучин они возникают из-за неровностей береговой линии, возникающих как следствие литологии и размываемости слагающих их отложений (смена песчаной русловой фации аллювия глинами старичной, образующих выступающие в реку печины и т.д.).

6) В узлах слияния и разделения рукавов между смежными звеньями сопряженных разветвлений, в выбоинах береговой линии, локальных расширениях русла, ниже небольших выступов и мысов ведущих (в т.ч. пойменных) берегов, обусловленных неоднородностью их литологического строения, часто встречаются острова очень малых размеров (по сравнению даже с элементарными и тем более островами разветвлений, определяющих тип русла).

7) На больших и крупнейших реках прибрежные острова образуют иногда архипелаги, разделенные системой относительно маловодных межостровных проток, располагающихся ниже крупных изгибов коренных берегов, отклоняющих от них речной поток. Суммарная водность таких проток не превышает обычно 10–15%, но вместе с отвлечением в них части расхода воды, отходом потока от ведущего берега, образованием излучины основного рукава, огибающего такие архипелаги островов, и рассре-

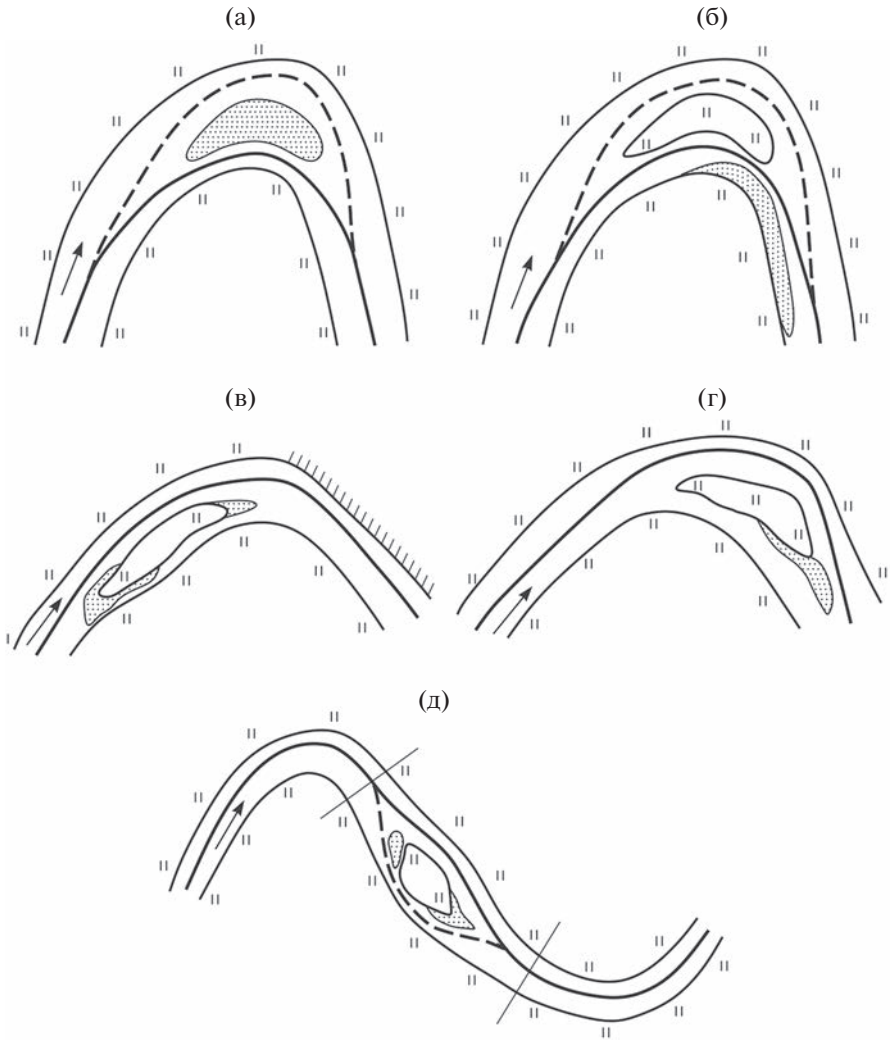

Рис. 2. Разветвления на излучинах русла: а – в привершинной части при нарушении правила Миловича; б – в привершинной части при отторжении части шпоры излучины; в – в верхнем крыле излучины; г – в нижнем крыле излучины; д – на прямолинейной вставке между смежными излучинами.

Fig. 2. Branchings at the bends of the channel: а – in the near-top part in violation of the Milovich rule; б – in the apical part when part of the spur of the bend is rejected; в – in the upper wing of the bend; г – in the lower wing of the bend; д – on a straight insert between adjacent bends.

доточением стока по рукавам нижерасположенного разветвления основного русла, являются одним из существенных факторов снижения транспортирующей способности потока и дальнейшего усложнения разветвленности русла. Таковы часто встречающиеся прибрежные разветвления на нижней Лене, особенно на участке от устья Вилюя до с. Жиганска, где они сформировались ниже мысов правого горного берега (хребет Омулаган) и конусов выноса правобережных горных притоков (рек Лямпушка, Дянышка и других).

Особое положение среди разветвлений, не образующих морфодинамический тип русла и, соответственно, не формирующих морфологически однородные участки, занимает пойменная многорукавность. В отличие от перечисленных выше единичных по встречаемости разветвлений, она очень широко распространена, сопровождая русловые (островные), пойменно-русловые разветвления и раздвоенные русла. Формирование пойменной многорукавности относится уже к самому высокому (пойменному) уровню проявления русловых процессов, создавая своеобразный облик поймы и всего пойменно-руслового комплекса. Пойменные протоки (ответвления [13] от основного русла) расчленяют пойму на отдельные пойменные массивы, существенно увеличивая общую разветвленность русла и рассредоточенность стока. Они встречаются как на реках с разветвленным руслом, наследуя отмирающие рукава и протоки при причленении островов к береговой пойме, так и на меандрирующих реках, сопровождая развитие прорванных излучин. Условиями существования пойменной многорукавности являются глубокое и длительное затопление поймы, прохождение при затопленной пойме руслоформирующих расходов воды и образование на ней достаточно мощных течений [24, 27]. Пойменная многорукавность очень характерна для широкопойменного русла Северной Двины (полои), Волги (воложки), Печоры (шары), нижнего Амура, средней (на широтном участке) и нижней Оби (на Амуре и Оби она сопровождает раздвоенные русла), Анадыря, Индигирки и Колымы, в меньшей степени для средней и нижней Лены (следствие врезания реки [3] и густой таежной растительности на пойме); но она отсутствует, например, на верхней Оби и Иртыше, где $Q_{ф}$ проходит до выхода воды на пойму.

Пойменные протоки в большинстве своем, за редким исключением, маловодны (первые % от общего расхода воды в реке), но в совокупности, особенно при их многочисленности, вызывают заметное снижение водности русла, его основных рукавов и рукавов раздвоенного русла. Вместе с оттоком воды на затопленную пойму они на Оби, Лене, Амуре вызывают снижение водности основного русла (рукавов раздвоенного русла) до 30–40% и более, что существенно сказывается на русловом режиме реки в целом. Сами пойменные протоки (ответвления) будучи маловодными, меандрируют, либо имеют относительно прямолинейное русло из-за незначительности в них стока руслообразующих наносов: поступая из основного русла реки или его рукавов, наносы сосредотачиваются (аккумулируются) в их верхней части и на бóльшей длине, где их источником являются только размывы берегов, оказываются в дефиците. Лишь отдельные пойменные протоки имеют относительно повышенную водность (обычно это недавно отшнуровавшиеся от основного русла бывшие рукава) и отличаются интенсивными деформациями. Такова, например, Городская протока в Якутском разветвлении на Лене, водность которой в межень составляет 5–7%, возрастая в половодье до 12%, а ее колебания год от года зависят от смещения побочней в основном русле, периодически перекрывающих заход в протоку. Сама Городская протока еще в начале XX века представляла собой один из основных рукавов в то время сопряженных разветвлений и была судоходной [21].

Раздвоенные русла и пойменно-русловые разветвления соответствуют более высоким структурным уровням разветвленности, рукава которых характеризуются своими морфодинамическими типами и гидролого-морфологическим соотношениями, отличающимися от русла с русловыми (островными) разветвлениями. Но если в пойменно-русловых разветвлениях эти характеристики в каждом рукаве практически неизменны по их длине, то в раздвоенном русле они существенно изменяются, т.к. имея протяженность десятки и даже сотни километров, каждый рукав имеет свой водосбор, принимает притоки, а при наличии пойменной многорукавности пойменные протоки (ответвления), по которым осуществляется их гидравлическая связь с основными рукавами. Например, водность Юганской Оби в начале разветвления реки составляет в половодье 17%, тогда как перед слиянием с правым рукавом Оби – 36%; помимо мно-

гочисленных пойменных проток и слива воды с затопленной поймы она принимает два левобережных притока Оби – Большой Юган и Большой Салим. Соответственно не только изменяются параметры излучин Юганской Оби, но и наряду с ними появляются русловые разветвления.

Генезис разветвленных русел и водность вторых рукавов очень разнообразны. Наименьшей характеризуется Ахтуба, составляющая не более 3% от стока Волги (она – реликт дельты заполнения ингрессионного залива при понижении уровня Каспийского моря) [20]. Наибольшей – рукава средней и нижней Оби (до 40%) являющиеся следствием направленной аккумуляции наносов и очень большой ширины поймы (на нижней Оби она достигает 60 км при суммарной ширине русел двух основных рукавов Малой и Горной Оби около 3 км), глубоко и надолго затопляемой во время половодья.

Пойменно-русловые разветвления часто встречаются на меандрирующих реках (Вычегда, Ока), причем оба рукава в них меандрируют, а также в рукавах раздвоенных русел (на Малой и Горной Оби). На интенсивно аккумулирующих реках своеобразной разновидностью раздвоенных русел являются пойменные и проточно-озерные разветвления (Янцзы, нижний Терек).

Если учесть все возможные варианты разветвлений русел рек и рассредоточения стока воды по рукавам и протокам, то, по экспертной оценке, доля их возрастает до 50–60% от общей длины рек России и бывших республик СССР, тогда как морфологически однородные участки разветвленных русел, включая раздвоенные русла на реках длиной более 500 км, составляют всего 11.5% [16].

Рукава раздвоенных русел характеризуются своим набором морфодинамических типов (морфологически однородных участков) в зависимости от их водности, рассредоточенности потока по пойменным протокам и пойме во время прохождения $Q_{ф}$ при затопленной пойме, наличия коренных берегов и их конфигурации. Так, на нижней Оби в левом рукаве (Малая Обь) раздвоенного русла абсолютно преобладают излучины, хотя на участках в начале и нижней части до слияния с р. Северной Сосьвой, где доля стока относительно повышена, русло разветвляется, а после ответвления протоки Бол. Нюрик (одного из рукавов раздвоенного русла), соединяющей Малую и Большую Обь, только меандрирует, и лишь в низовьях разветвляется на рукава (следствие повышения доли стока и подпора от Большой Оби). На Горной Оби преобладают разветвления и прямолинейные участки русла вдоль правого коренного берега, а на Большой Оби (ниже слияния с Бол. Нюриком) сначала развиты большие излучины, а затем, при возвращении рукава к коренному берегу, – прямолинейное неразветвленное русло. В пойменно-русловых разветвлениях Малой и Горной Оби их рукава, в свою очередь, меандрируют или разветвляются на рукава. На широтном участке средней Оби основной правый рукав имеет преимущественно разветвленное или разветвлено-извилистое русло, левый рукав (Юганская Обь, протоки Бол. Салымская и Неулева), обладая значительно меньшей водностью (от 1/4 до 1/3 от общего расхода), меандрирует. На Амуре на всех участках с раздвоенным руслом его рукава характеризуются разветвлениями разного типа.

В отличие от раздвоенного русла, являющего прерогативой рек с исключительно широкопойменным руслом, пойменно-русловые разветвления встречаются и во врезанном и адаптированном русле, но при этом они сами и их рукава в основном создают общий облик разветвленного русла. Такова, например, Северная Двина выше слияния с р. Вагой. На реках с широкопойменным руслом разветвления этого структурного уровня чаще формируются на меандрирующих реках, будучи приуроченными к перевалам реки от одного борта долины к другому.

Разветвления одного и того же типа неодинаковы по параметрами, положению в русле и количеству создающих их островов на реках, различаются в зависимости от устойчивости русел, в широкопойменном, адаптированном или врезанном русле, на

реках врезающихся или аккумулирующих наносы (или отличающихся по интенсивности вертикальных русловых деформаций), на горных, полугорных и равнинных реках, крупнейших, больших, средних и малых реках, реках с песчаным или галечно-валунным составом руслообразующих наносов. Специфические формы разветвлений возникают на реках со скальным руслом или локальными выходами скал. Раздвоенные русла в основном характерны для крупнейших рек (средняя и нижняя Обь, нижняя Волга, нижний Амур), но встречаются на средних реках в специфических условиях формирования их русел (в среднем течении р. Аргуни и на р. Чулыме при пересечении ими активно опускающихся морфоструктур, в нижем течении Кети и Казыма – в зонах подпора от главной реки, сопровождаясь во всех случаях интенсивной направленной аккумуляцией наносов). На нижнем Днестре и на нижней Волге они представляют собой реликты бывших эстуарно-дельтовых систем. Аналогичной ситуацией в нижнем течении рек Янцзы и Терека, но в условиях экстремально высокого стока наносов, является формирование пойменных проточно-озерных разветвлений.

КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗВЕТВЛЕНИЙ

Классификация разветвлений должна включать, во-первых, все структурные уровни их развития. Это собственно морфодинамические типы русел, разветвленных на рукава – русловые (островные) разветвления, различные их формы и виды, проявляющиеся в рукавах более высоких структурных уровней, но во всех случаях образующих морфологически однородные участки, создающие морфологический облик русел, определяющие рассредоточение стока и учитывающие его геоморфологический тип – врезанное или широкопойменное русло. Во-вторых, в ней должны найти отражение разветвления, формирующиеся в виде единичных образований на излучинах русла, в рукавах русловых (островных) разветвлений, между смежными излучинами или имеющими подчиненное (второстепенное) значение в рассредоточении стока и формировании их морфологического облика. К таковым относятся также пойменные ответвления, создающие пойменную многорукавность, определяющую морфологический облик днища долины, но не отражающую морфодинамику самого русла, хотя из-за рассредоточения стока по ней сказывается на размерах (параметрах) русловых форм.

На рис. 3 представлена полная классификация разветвлений речных русел, которую следует рассматривать как уточнение соответствующих разделов морфодинамической классификации МГУ [26]. В ней отражено практически все многообразие известных в настоящее время (2020-е годы) разветвлений, соотношения между ними и другими типами русла. Разветвления, создающие морфологически однородные участки, соответствующими тому или иному морфодинамическому типу русла, в том числе рукавов раздвоенных русел и пойменно-русловых разветвлений в широкопойменном, адаптированном (с поймой не более $2–3b_р$) и врезанном русле, составляют верхнюю и центральную части классификационной схемы. При этом к ним отнесены и разветвления на излучинах русла, поскольку на больших реках излучины с островами на крыльях, в привершинных частях между смежными излучинами и при их спрямлении (в т.ч. прорванные) по существу, развиваясь на большинстве излучин больших и крупнейших рек, создают специфический морфологический тип русла, отличный от разветвленно-извилистого или чередующихся односторонних разветвлений [23] – извилистое (меандрирующее) русло с разветвлениями.

Отдельно показаны (соединяющими линиями) островные (русловые) разветвления рукавов раздвоенного русла и пойменно-русловых разветвлений широкопойменных и адаптированных русел и их соответствие разновидностям скульптурных, скульптурно-аккумулятивных и аккумулятивных разветвлений врезанных русел, а также типы русел, характерные для рукавов разветвлений любого структурного уровня. В нижней

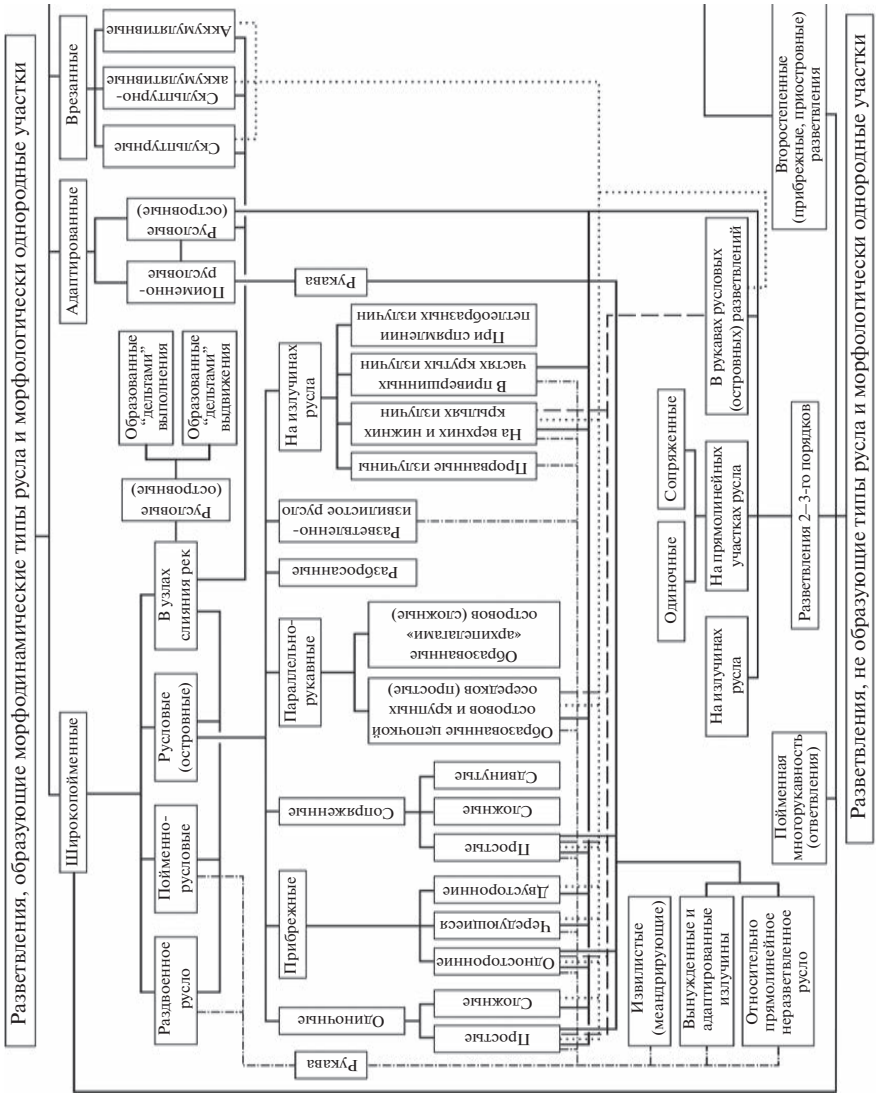

Рис. 3. Полная (сводная) морфодинамическая классификация разветвлений речных русел.
Fig. 3. Complete (consolidated) morphodynamic classification of branching river channels.

части классификационной схемы помещены разветвления, не образующие тип русла и не составляющие морфологически однородные участки. К ним отнесены пойменная многорукавность, разветвления второго и третьего порядков в руслах любого типа и различные второстепенные разветвления (прибрежные, приостровные и т.д.), которые, тем не менее в зависимости от количества создающих их островов определяют степень рассредоточения стока и снижения водности русла (или основных рукавов) (рис. 4).

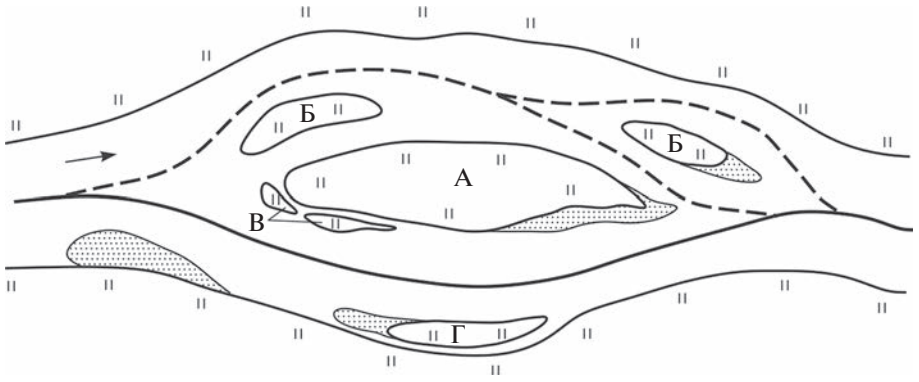

Рис. 4. Формирование островов в рукавах одиночного разветвления – А; Б – острова второго и третьего порядка в основном рукаве; В – приостровные разветвления; Г – прибрежные разветвления в выбоине ведущего берега.

Fig. 4. Formation of islands in the branches of a single branch – А; Б – islands of the second and third order in the main branch; В – island branches; Г – coastal branches in the choice of the leading shore.

Составляя основу классификации, морфодинамические типы русла в то же время разделены по структурным уровням, к которым отнесены также разветвления, формирующиеся в узлах слияния рек. Они могут быть любого морфодинамического типа и составлять островные (русловые), пойменно-русловые разветвления (например, при сиянии Оби и Томи) или раздвоенные русла (Амур и Уссури). Это же относится к единичным разветвлениям, не образующим морфологически однородные участки, хотя они в общей (полной) классификации составляют определенный раздел, и для каждой разновидности показано ее соответствие островным типам разветвления.

Выделение в морфодинамической классификации (рис. 3) на русловом (островном) уровне 11 типов собственно разветвленных русел, разветвлено-извилистых и четырех разновидностей разветвлений, формирующихся на излучинах русел и также образующих специфические морфологически однородные участки (всего 16) в условиях свободного развития русловых деформаций (широкопойменные русла) свидетельствует о многообразии русловой (островной) разветвленности – от достаточно простых одиночных до сложных по морфологии и динамике параллельно-рукавных разветвлений. Если в этот же ряд поставить раздвоенные русла, пойменно-русловые (даже без учета морфологического разнообразия их рукавов) и два типа в узлах слияния рек, то число разновидностей только широкопойменных разветвленных русел достигает 18. В адаптированных руслах (переходные условия между свободными и ограниченными условиями развития русловых деформаций) выделено девять русловых и пойменно-русловое разветвление. Врезанные русла, разветвленные на рукава, будучи образованными аккумулятивными островами имеют восемь морфологических типов; такое же их количество у скульптурно-аккумулятивных разветвлений, а с учетом скульптурных и других разветвлений врезанных русел общее число разветвлений составляет 24. Принимая во внимание разветвления не образующие морфодинамических типов русла и не создающих морфологически однородных участков, но оказывающих то или иное влияние на русловой режим рек (таковы пойменная многорукавность, второстепенные разветвления в прибрежных и периферических зонах русла, разветвления второго и третьего порядков), то общее количество выделяемых в классификации типов разветвлений достигает 53. Морфологически разветвления адаптированных и врезанных русел аналогичны широкопойменным, если они формируются

в пластичных грунтах, и специфика их формирования связана только с сосредоточенностью потока в русле во время половодья и отсутствием (или незначительностью) оттока части его в пределы поймы. Иные условия возникают на реках с врезанным руслом, формирующимся в скальных грунтах, обусловливающих дефицит наносов с непосредственный контакт потока с коренным ложем, наличие скальных выступов в русле и общую стесненность потока.

Изменение водности потока, транспорта наносов и режима деформаций, определяемые свободными или ограниченными геолого-геоморфологическими условиями, обусловливают различия в режиме деформаций и переформирований, необходимость рассматривать типы русла раздельно для широкопойменных, адаптированных и врезанных русел. Кроме того, один и тот же тип разветвлений неодинаков на реках с руслами неустойчивыми, слабоустойчивыми и устойчивыми, с песчаным или галечно-валунным составом руслообразующих наносов, на реках аккумулирующих наносы или врезающихся, а среди врезанных, формирующихся в скальных или пластичных грунтах – на горных, полугорных и равнинных реках. Различие в морфодинамике (форме разветвлений) и режиме их деформаций связаны также с тем, являются ли они составной частью морфологически однородных участков или зависят от переформирований излучин или смежных участков русла другого типа. Например, развитие спрямляющего рукава Михайловской излучины на 1161–1178 км средней Оби и постепенная трансформации ее в одиночное разветвление (остров размывается со скоростью 2.8–5.3 м/год, правый берег основного рукава, имеющего бóльший расход воды – 4.4 м/год) может дать импульс для образования прорванной Коломенской излучины ниже по течению, что приведет к кардинальной перестройке русла реки (в левом рукаве, куда направляется основной расход воды средние скорости размыва достигают 5.8 м/год). При этом спрямляющий рукав продолжает активно развиваться, скорости отступания берегов в нем колеблются от 3.5 до 5.6 м/год; на всем участке размывы берегов несут потенциальную опасность, но в привершинной части Коломенской прорванной излучины проявляется реальная опасность для с. Коломино.

Возникают и другие условия, обусловливающие морфологические и динамические различия разветвлений, позволяющие в каждом из них выделять те или иные разновидности. Среди них превалирующую роль играет извилистость рукавов, соотношение их параметров и наличие в них разветвлений второго и третьего порядков, прибрежных и приостровных второстепенных разветвлений, размеры межостровных проток и количество островов, составляющих одиночные или звенья других разветвлений, пойменная многорукавность (и степень ее развитости). При этом разветвления вне зависимости от их морфологии и сложности постоянно в процессе русловых деформаций видоизменяются (отсюда названия типов русла – морфодинамические). Причем в слабо- и неустойчивых песчаных руслах их переформирования осуществляются очень быстро, в течение гидрологического года, нескольких лет или в течение одной многоводной фазы водного режима; наоборот, разветвления устойчивых, врезанных, особенно формирующихся в скальных грунтах галечно-валунных русел сохраняют свой облик и подвергаются минимальными изменениям на протяжении многих десятилетий и даже столетий. Среди последних существуют только им свойственные скульптурные и скульптурно-аккумулятивные разветвления. С другой стороны, только на реках с широкопойменным руслом, причем при соотношении $B_д/b_р \geq 10$ возможно формирование раздвоенных русел; пойменно-русловые разветвления могут быть в рукавах раздвоенных русел и встречаться на реках с разным типом русла, кроме врезанных в скальные грунты.

Разветвления, формирующиеся на меандрирующих реках, на их крыльях или в привершинных частях излучин (на последних и между смежными излучинами) – в основном являются следствием их эволюции или на больших и крупнейших реках составля-

ют, получая массовое распространение, впервые выделенный тип русла – извилистого (меандрирующего) с островными разветвлениями, формирующимися на излучинах. Например, на среднем (выше устья р. Тобола) Иртыше русло повсеместно меандрирующее, но на многих крутых излучинах в привершинных частях образуются острова, т.к. здесь нарушается условие безотрывного обтекания берегов (правило Миловича) или происходит отторжение части шпоры излучины. Так на повороте Новологиновском на среднем Иртыше (1503–1501 км) – крутой излучине с $l/L = 1.8$, анализ распределения на ней скоростей течения подтверждает нарушение правила Миловича $r < 2.5b_р$. Наблюдается отрыв динамической оси потока от вогнутого берега и ее прохождение вдоль выпуклого берега. Снижение скоростей течения в вершине излучины связано с наличием водоворотной зоны, для которой свойственно обратное направление струй потока, в результате увеличиваются гидравлические сопротивления и происходит снижение скоростей течения и аккумуляция наносов, что в итоге приводит к образованию в начале осередка, а при его зарастании – острова. При этом энергетическое воздействие частиц на берега и дно напротив возрастает, несмотря на визуальное снижение скоростей течения. На крыльях излучины скорости течения возрастают до 1 м/с и более. Это выражается в том, что скорости размыва берегов на излучине в среднем составляют 2.7 м/год при максимуме – 5.3 м/год в нижнем крыле. Нередки острова на крыльях излучин и между смежными большими излучинами, где русло по диагонали пересекает пойму, и между вершинами смежных излучин там, где пересекаются пойменные и русловые потоки в половодье, возникает местное расширение русла или подпор потока перед крутым изгибом русла в вершине излучины. И хотя сами острова образуют единичные формы на излучинах, в совокупности с ними они создают определенный морфодинамический тип русла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ условий и морфологических проявлений процессов разветвления речных русел, их деформаций, переформирований, и пространственного распространения позволили разработать полную (общую) классификацию разветвлений речных русел, включающую в себя:

1) основные структурные уровни разветвлений – островные (русловые), пойменно-русловые и раздвоенные русла;

2) морфодинамические типы разветвлений, составляющие морфологически однородные участки русла реки или рукавов пойменно-русловых разветвлений и раздвоенных русел;

3) разветвления в извилистом русле, связанные с формированием островов на крыльях излучин, в их привершинных частях и между смежными излучинами, составляющими в совокупности по своей морфологии и деформациям отдельный тип русла и морфологически однородные участки;

4) единичные разветвления, не образующие морфологически однородные участки и встречающиеся на излучинах, в прямолинейном русле и в рукавах разветвлений;

5) пойменную многорукавность, составляемую ответвлениями от русла или рукавов пойменно-русловых разветвлений и раздвоенного русла (относительно маловодные пойменные протоки), которые расчленяют пойму реки на отдельные массивы;

6) второстепенные прибрежные или приостровные разветвления, образующиеся малыми островами или группами островов в периферических частях русла (в выбоинах берегов) возле островов, в узлах слияния/разделения рукавов сопряженных разветвлений, ниже изгибов русла и т.д.;

7) разветвления второго и третьего порядков, возникающие в руслах любого типа в разветвлениях в их начале перед разделением потока на рукава и перед слиянием рукавов.

Рукава русловых (островных) разветвлений представляют собой: пологие излучины, шпорами которых являются острова; прямолинейное русло; разветвления второго-третьего порядков, совокупность которых создает в рукавах одиночные, сопряженные или параллельно-рукавные разветвления.

Построение классификации разветвлений, как и в целом морфодинамической классификации речных русел МГУ, дает возможность добавлять новые ячейки, соответствующие типам разветвлений, которые выявляются по мере их изучения, создавать в ней новые уровни (блоки), позволяющие учесть все бóльшее морфологическое и динамическое разнообразие разветвлений и условий их формирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алабян А.М.* Динамика потока и русла равнинных рек, разветвленных на рукава. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ. 1991. 25 с.
2. *Алексеевский Н.И., Чалов С.Р.* Гидрологические функции разветвленного русла. М.: Географ. ф-т МГУ, 2009. 240 с.
3. *Борсук О.А., Чалов Р.С.* О врезании русла р. Лены // Изв. ВГО. 1973. Т. 105. Вып. 5. С. 452–456.
4. *Великанов М.А.* Русловой процесс. М.: Госфизматиздат, 1958. 395 с.
5. Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.
6. *Голубцов Г.Б.* Формирование, морфология и динамика островов широкопойменных русел больших рек (на примере Оби и Лены): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2023. 30 с.
7. *Голубцов Г.Б., Чалов Р.С.* Сравнительный гидролого-морфологический анализ островов сложноразветвленных русел верхней Оби и средней Лены // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о земле. 2020. 30(2). С. 164–174.
8. *Камышев А.А.* Гидроморфология и переформирования широкопойменных русел больших равнинных рек (на примере Оби и Лены): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2022. 27 с.
9. *Карасев И.Ф.* Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 288 с.
10. *Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снищенко Б.Ф.* Основы гидроморфологичекой теории руслового процесса. Л.: Гидрометеоиздат. 1982. 272 с.
11. *Кузьмина Е.М., Чалов Р.С.* Гидролого-морфологическая характеристика широкопойменного разветвленного русла средней Лены // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2020. № 1. С. 87–96.
12. *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.
13. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР. 1955. 347 с.
14. *Маккавеев Н.И.* Русловой режим рек и трассирование прорезей. М.: Речиздат, 1949. 202 с.
15. *Ржаницын Н.А.* Руслоформирующие процессы рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 264 с.
16. Русловой режим рек Северной Евразии (в пределах бывшего СССР). М.: Географ. ф-т МГУ Москва, 1994. 336 с.
17. Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М.: Журн. РТ. 2012. 492 с.
18. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
19. Русловые процессы на реках Алтайского региона. М.: МГУ. 1996. 244 с.
20. *Рычагов Г.И., Коротаев В.Н., Чернов А.В.* История формирования палеодельт нижней волги // Геоморфология. 2010. № 3. С. 73–80.
21. *Чалов Р.С., Завадский А.С., Рулева С.Н., Кирик О.М., Прокопьев В.П., Андросов И.М., Сахаров А.И.* Морфология, деформации, временные изменения русла р. Лены и их влияние на хозяйственную инфраструктуру в районе г. Якутска // Геоморфология. 2016. № 3. С. 22–35.
22. *Чалов Р.С., Чалов С.Р.* Дискретные свойства русловых процессов и их отражение в морфодинамике речных русел // Изв. Российской академии наук. Сер. географическая. 2023. Т. 87. № 2. С. 234–249.
23. *Чалов Р.С., Чалов С.Р.* Структурные уровни и морфодинамическая классификация русловых разветвлений // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 3. С. 259–271.
24. *Чалов Р.С.* Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ. 1979. 232 с.

25. *Чалов Р.С.* О морфологическом разнообразии и типизации русел рек, разветвленных на рукава // Геоморфология. 2019. № 3. С. 3–18.
26. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
27. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД. 2011. 960 с.
28. *Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В., Лодина Р.В., Панин А.В.* Морфодинамика русел равнинных рек. М.: Геос. 1998. 288 с.
29. *Чалов Р.С., Беркович К.М., Рулёва С.Н. и др.* Формирование, эволюция и временная трансформация параллельно-рукавных разветвлений речных русел // Географический вестник. 2020. № 4 (55). С. 110–125.
30. *Чалов Р.С., Камышев А.А., Завадский А.С., Куракова А.А.* Морфодинамика и гидролого-морфологическиая характеристика русла средней Оби на широтном участке. География и природные ресурсы, 2021 (2): С. 92–102.
31. *Чалов Р.С., Чалова Е.Р.* География русел рек разветвленных на рукавах на территории России // Изв. РГО, 2019. Т. 151. Вып.6. С. 20–34.
32. *Чалов Р.С., Завадский А.С., Камышев А.А., Куракова А.А., Михайлова Н.М., Рулева С.Н.* Гидролого-морфологическая характеристика и переформирования разветвленного русла нижней Оби (в пределах Ямало-Ненецкого АО) // Изв. Российской академии наук. Сер. географическая. 2021. Т. 85. № 4. С. 539–553.
33. *Шэн Юйчан, Гун Гоюань.* Речная геоморфология. Пекин: Наука. 1986. (на китайском языке).
34. *Eaton B.C., Millar R.G., Davidson S.* Channel patterns: Braided, anabranching, and single-thread // Geomorphology. 2010. 120. P. 353–364.
35. *Leopold L.B., Wolman M.G.* River meanders // Geol. Soc. Am. Bull. 1960. V. 71. P. 769–794.
36. *Nanson A., Knighton D.* Anabranching rivers: their cause, character and classification // Earth Surface Processes and Landforms, 1996. 21 (3) P. 217–239.
37. *Rosgen D.L.* A classification of natural rivers // Catena. 1994. № 22. P. 168–199.
38. *Schumm S.A.* The fluvial system. 1977. 338 p.

Formation of River Channel Branches, Their Morphology and Typing

R. S. Chalov[1, *], G. B. Golubtsov[1, **] , and A. A. Kurakova[1, *]**

[1]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

**E-mail: rschalov@mail.ru*

***E-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru*

****E-mail: a.a.kurakova@mail.ru*

Abstract—Based on many years of research, a justification is given for a complete classification of branches that form morphologically homogeneous areas in different geological and geomorphological conditions, which are formed in branches of branches of different structural levels and in channels of other morphodynamic types. An analysis of the conditions for the formation of river channel branches, their morphology, deformations and reformations showed that the classification must take into account the structural levels of branches and their morphodynamic types; separately highlight the diversity of branches in a winding channel, forming a separate type of channel or morphologically homogeneous areas; take into account single branches at bends, in a straight channel and in the branches of branches; highlight floodplain multi-branching, secondary coastal or near-island branches, as well as branching of the second and third orders. The arms of channel (island) branches can be gentle bends, the spurs of which are islands; straight channel; branching of the second and third orders, the combination of which creates different types of branching in the arms. The development of a classification of branchings, as well as the morphodynamic classification of river channels of the Moscow State University in general, makes it possible to refine it as the branching of river channels is studied, to create new levels (blocks) in it, allowing to take into account the increasing morphological and dynamic diversity of branches and the conditions of their formation.

Keywords: branching, classification, channel processes, structural levels, channel reformations, multi-branch floodplain, bifurcated channels

REFERENCES

1. Alabyan A.M. Dinamika potoka i rusla ravninnykh rek, razvetvlennykh na rukava. Avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. M.: MGU. 1991. 25 p.
2. Alekseevskii N.I., Chalov S.R. Gidrologicheskie funktsii razvetvlennogo rusla. M.: Geograf. f-t MGU, 2009. 240 p.
3. Borsuk O.A., Chalov R.S. O vrezanii rusla r. Leny // Izv. VGO. 1973. T. 105. Vyp. 5. P. 452–456.
4. Velikanov M.A. Ruslovoi protsess. M.: Gosfizmatizdat, 1958. 395 p.
5. Vodnye puti basseina Leny. M.: MIKIS, 1995. 600 p.
6. Golubtsov G.B. Formirovanie, morfologiya i dinamika ostrovov shirokopoimennykh rusel bol'shikh rek (na primere Obi i Leny): avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. M., 2023. 30 p.
7. Golubtsov G.B., Chalov R.S. Sravnitel'nyi gidrologo-morfologicheskii analiz ostrovov slozhnorazvetvlennykh rusel verkhnei Obi i srednei Leny // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. Biologiya. Nauki o zemle, 2020. 30 (2). P. 164–174.
8. Kamyshev A.A. Gidromorfologiya i pereformirovaniya shirokopoimennykh rusel bol'shikh ravninnykh rek (na primere Obi i Leny): avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. M., 2022. 27 p.
9. Karasev I.F. Ruslovye protsessy pri perebroske stoka. L.: Gidrometeoizdat, 1975. 288 p.
10. Kondrat'ev N.E., Popov I.V., Snishchenko B.F. Osnovy gidromorfologichekoi teorii ruslovogo protsessa. L.: Gidrometeoizdat. 1982. 272 p.
11. Kuz'mina E.M., Chalov R.S. Gidrologo-morfologicheskaya kharakteristika shirokopoimennogo razvetvlennogo rusla srednei Leny // Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya. 2020. № 1. P. 87–96.
12. Kurakova A.A. Gidrologo-morfodinamicheskii analiz rusel i opasnye proyavleniya ruslovykh protsessov na ravninnykh rekakh Ob'-Irtyshskogo basseina (lesnaya zona). Avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. M.: MGU, 2022. 28 p.
13. Makkaveev N.I. Ruslo reki i eroziya v ee basseine. M.: Izd-vo AN SSSR. 1955. 347 p.
14. Makkaveev N.I. Ruslovoi rezhim rek i trassirovanie prorezei. M.: Rechizdat, 1949. 202 p.
15. Rzhanitsyn N.A. Rusloformiruyushchie protsessy rek. L.: Gidrometeoizdat, 1985. 264 p.
16. Ruslovoi rezhim rek Severnoi Evrazii (v predelakh byvshego SSSR). M.: Geograf. f-t MGU Moskva, 1994. 336 p.
17. Ruslovye protsessy i vodnye puti na rekakh basseina Severnoi Dviny. M.: Zhurnal RT. 2012. 492 p.
18. Ruslovye protsessy i vodnye puti na rekakh Obskogo basseina. Novosibirsk: RIPEL plyus, 2001. 300 p.
19. Ruslovye protsessy na rekakh Altaiskogo regiona. M.: MGU. 1996. 244 p.
20. Rychagov G.I., Korotaev V.N., Chernov A.V. Istoriya formirovaniya paleodel't nizhnei volgi // Geomorfologiya. 2010. № 3. P. 73–80.
21. Chalov R.S., Zavadskii A.S., Ruleva S.N., Kirik O.M., Prokop'ev V.P., Androsov I.M., Sakharov A.I. Morfologiya, deformatsii, vremennye izmeneniya rusla r. Leny i ikh vliyanie na khozyaistvennuyu infrastrukturu v raione g. Yakutska // Geomorfologiya. 2016. № 3. P. 22–35.
22. Chalov R.S., Chalov S.R. Diskretnye svoistva ruslovykh protsessov i ikh otrazhenie v morfodinamike rechnykh rusel // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2023. T. 87. № 2. P. 234–249.
23. Chalov R.S., Chalov S.R. Strukturnye urovni i morfodinamicheskaya klassifikatsiya ruslovykh razvetvlenii // Vodnye resursy. 2020. T. 47. № 3. P. 259–271.
24. Chalov R.S. Geograficheskie issledovaniya ruslovykh protsessov. M.: Izd-vo MGU. 1979. 232 p.
25. Chalov R.S. O morfologicheskom raznoobrazii i tipizatsii rusel rek, razvetvlennykh na rukava // Geomorfologiya. 2019. № 3. P. 3–18.
26. Chalov R.S. Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 1. Ruslovye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel. M.: Izd-vo LKI, 2008. 608 p.
27. Chalov R.S. Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 2. Morfodinamika rechnykh rusel. M.: KRASAND. 2011. 960 p.
28. Chalov R.S., Alabyan A.M., Ivanov V.V., Lodina R.V., Panin A.V. Morfodinamika rusel ravninnykh rek. M.: Geos. 1998. 288 p.
29. Chalov R.S., Berkovich K.M., Ruleva S.N. i dr. Formirovanie, evolyutsiya i vremennaya transformatsiya parallel'no-rukavnykh razvetvlenii rechnykh rusel // Geograficheskii vestnik. 2020. № 4 (55). P. 110–125.
30. Chalov R.S., Kamyshev A.A., Zavadskii A.S., Kurakova A.A. Morfodinamika i gidrologo-morfologicheskiaya kharakteristika rusla srednei Obi na shirotnom uchastke // Geografiya i prirodnye resursy, 2021 (2). P. 92–102.

31. Chalov R.S., Chalova E.R. Geografiya rusel rek razvetvlennykh na rukavakh na territorii Rossii // Izv. RGO, 2019. T. 151. Vyp. 6. P. 20–34.
32. Chalov R.S., Zavadskii A.S., Kamyshev A.A., Kurakova A.A., Mikhailova N.M., Ruleva S.N. Gidrologo-morfologicheskaya kharakteristika i pereformirovaniya razvetvlennogo rusla nizhnei Obi (v predelakh Yamalo-Nenetskogo AO) // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2021. T. 85. № 4. P. 539–553.
33. Shen Yuichan, Gun Goyuan'. Rechnaya geomorfologiya. Pekin: Nauka. 1986. (na kitaiskom yazyke).
34. Eaton B.C., Millar R.G., Davidson S. Channel patterns: Braided, anabranching, and single-thread // Geomorphology. 2010. 120. P. 353–364.
35. Leopold L.B., Wolman M.G. River meanders // Geol. Soc. Am. Bull. 1960. Vol. 71. P. 769–794.
36. Nanson A., Knighton D. Anabranching rivers: their cause, character and classification // Earth Surface Processes and Landforms, 1996. 21 (3) P. 217–239.
37. Rosgen D.L. A classification of natural rivers // Catena. 1994. № 22. P. 168–199.
38. Schumm S.A. The fluvial system. 1977. 338 p.