

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 551.482.212

### СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ И МОРФОДИНАМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ РУСЛОВЫХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ<sup>1</sup>

© 2020 г. Р. С. Чалов<sup>а</sup>, \*, С. Р. Чалов<sup>а</sup>, \*\*

<sup>а</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Москва, 119991 Россия

\*e-mail: rschalov@mail.ru

\*\*e-mail: hydroserg@mail.ru

Поступила в редакцию 10.05.2019 г.

После доработки 29.08.2019 г.

Принята к публикации 12.11.2019 г.

Показано, что разветвление русел (разделение речного потока на отдельные ветви течения) осуществляется на нескольких структурных уровнях: точечном, осередковом, островном (русловом), пойменно-русловом и пойменном. Приведена полная классификация русловых разветвлений. Определены типы разветвлений, создающих морфологически однородные участки и определяющие русловой режим рек и образованные единичными или второстепенными формами, формами 2–3-го порядков, осложняющими рассредоточение стока и морфологию русла. Установлены соотношения типов разветвлений и структурных уровней разветвленности, морфологическое разнообразие каждого типа разветвления, их возможные комбинации, встречаемость на горных, полугорных и равнинных, больших, средних и малых реках, в свободных и ограниченных условиях развития русловых деформаций (на широкопойменных и врезанных руслах), на реках с другими морфодинамическими типами русла (меандрирующими, относительно прямолинейными).

*Ключевые слова:* русловые процессы, разветвления русла, рукава, осередки, острова, морфодинамические типы разветвлений.

**DOI:** 10.31857/S0321059620030049

#### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия существенно возрос интерес к исследованиям русел рек, разветвленных на рукава. До 1970-х гг. говорилось лишь о существовании таковых, или они подразделялись не более чем на два–три типа, которым давались самые общие характеристики (в отличие от меандрирующих, среди которых выделялись свободные и врезанные, незавершенные и ограниченные, пологие и крутые, сегментные, петлеобразные, прорванные). Это не позволяло судить об условиях их формирования, особенностях деформаций, морфологическом и динамическом разнообразии. К настоящему времени разветвленным руслам посвящена уже обширная, вплоть до специальных монографий, литература – отечественная [1–4, 12, 15, 20, 22–25, 28, 31] и зарубежная [32, 36–39, 42–44]. В многочисленных публи-

кациях рассматривается их генезис, условия формирования, морфология, режим деформаций, развитие на разных структурных уровнях, предложены классификации. Наиболее подробные, основанные на обширном фактическом материале – типизации Д.Л. Розгена [42] и Р.С. Чалова [22, 24]. В ряде работ подчеркивается различие между осередковой и островной (русловой) разветвленностью [3, 23, 32]. В то же время нередко осередковая и островная (русловая) разветвленность рассматривается как один тип русла, исходя из подобия размеров осередков и формирующихся на их основе островов [9]. Особое внимание обращено на формирование и специфику разветвлений на различных структурных уровнях русловых процессов [24], определяющих значимость и формы проявления связанных с ними деформаций в общем русловом режиме рек.

Обширная отечественная литература содержит результаты исследований морфологии и динамики разветвленных русел больших и крупнейших рек России – Лены, Оби, Северной Двины, Печоры, Мезени, Амура и др., результаты которых стали основой для разработки теории и методологии гидроморфологии и морфодинамики разветвле-

<sup>1</sup> Работа выполнена 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 и при финансовой поддержке РФФ (проект 18-17-00086). Полевые работы на р. Лене и Оби выполнены при поддержке РФФИ (проект 18-05-60219 “Арктика”).

**Таблица 1.** Структурные уровни разветвлений и их соотношение с их морфодинамическими типами

Структурный уровень		Морфодинамический тип русла											
		равнинные, полугорные, горные (с развитыми аллювиальными формами) реки										горные реки	
		точечный <sup>1</sup>	осередковый	одиночный	разветленно-извилистый	односторонний	сопряженный	параллельно-рукавный	разбросанный	прорванные излучины	пойменно-русловой	порожисто-водопадный	с неразвитыми аллювиальными формами
Точечный													
Осередковый													
Островной (русловой)													
Пойменно-русловой <sup>2</sup>													
Пойменный <sup>2</sup>	раздвоенное русло												
	пойменная многорукавность												
	дельтовое												

<sup>1</sup>Без разделения на подтип (разновидности).

<sup>2</sup>Тип русла, соответствующего этим уровням разветвлений, характеризует рукава разветвленного русла.

ний. Зарубежные исследования в основном опираются на материалы изучения разветвлений на галечно-валунных полугорных реках [35, 41], и им отдается определенное предпочтение при построении классификаций [39, 42], тогда как разветвления русел равнинных песчаных рек, особенно больших и крупнейших, рассматриваются более схематично с общими сведениями о них. Это касается и большинства отечественных подходов. Исключения, по-видимому, представляют работы, проводимые в МГУ [22, 24], в которых не только приведены характеристики морфологии и режима переформирования русловых разветвлений, но и дан их гидролого-морфологический анализ, обоснованы принципы и подходы к классификации. В то же время продолжающиеся исследования дают основание для уточнения классификации, учета специфики морфодинамики разветвлений в разных условиях формирования, соотношений на разных структурных уровнях и т.д.

Задача настоящей статьи — обосновать полную (на основе изученности на современном этапе) морфодинамическую классификацию разветвлений русел как дальнейшее развитие соответствующего раздела классификации МГУ [20, 25]. Классификация учитывает их морфологическое разнообразие, специфику деформаций, различную роль разветвления каждого типа в русловом режиме, развитие русловых процессов на разных структурных уровнях и при разном типе руслово-

го процесса на горных, полугорных и равнинных реках. Отдельный блок классификации — связи типов разветвлений с водностью рек, влияющей на условия формирования, и устойчивостью русел, а также соотношений разветвлений с другими типами русел (меандрирующими, относительно прямолинейными, неразветвленными).

## СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ РАЗВЕТВЛЕНИЙ

По [9, 29], формирование разветвлений русла проходит на нескольких структурных уровнях, каждому из которых присущи свои закономерности их развития и формы проявлений, значимость в общей системе русловых деформации, стоке руслообразующих наносов и в целом в русловом режиме реки. Поэтому каждому структурному уровню соответствует определенный набор морфодинамических типов разветвлений русла (табл. 1).

**Точечные разветвления** — элементарные разветвления, основному соответствующие меженному состоянию рек. При низких уровнях воды образующие их формы обсыхают; в многоводные фазы водного режима и при затоплении форм руслового рельефа этот вид разветвленности утрачивается. Выделяется три разновидности точечных разветвлений: 1) на горных реках с порожисто-водопадным руслом и руслом с неразвитыми аллювиальными формами [20], у которых размеры отдельных валунов и глыб  $d_{\text{макс}}$  превышают

глубину потока в межень  $h_{\text{меж}}$  [28]; 2) связанные с локальными выступами скал в русле, поднимающимися над поверхностью воды и разделяющие поток только в межень; 3) возникающие на мелководьях песчаных равнинных рек при обсыхании гребней микро- и ультрамикроформ руслового рельефа обычно по периферии прирусловых отмелей, близ уреза воды. При повышенных уровнях воды они исчезают, микроформы перемещаются потоком, обеспечивая грядовое движение наносов. То же происходит с валунами и глыбами на горных реках, которые при подъеме уровней перемещаются на расстояние в несколько метров — несколько десятков метров [8] в зависимости от их размеров и положения по отношению к стрежневой зоне потока.

**Осередковые разветвления** развиваются на равнинных, полугорных и горных (с развитыми аллювиальными формами) реках и связаны с обсыханием в межень повышенных частей гряд — мезо- и макроформ и образованием осередков — прирусловых отмелей (рис. 1а), отделенных от берегов реки или островов протоками [3, 11, 14, 20, 32]. Характерная их разновидность — образование на реках предгорной зоны так называемых аллювиальных полей в условиях перенасыщения потока обломочным материалом [30]. В многоводную фазу они оказываются под воздействием потока, слагающие их наносы перемещаются и перестают разделять поток на самостоятельные ветви течения; причем, над ними зачастую проходит динамическая ось потока, вследствие чего их прибрежные части сложены наиболее крупными наносами.

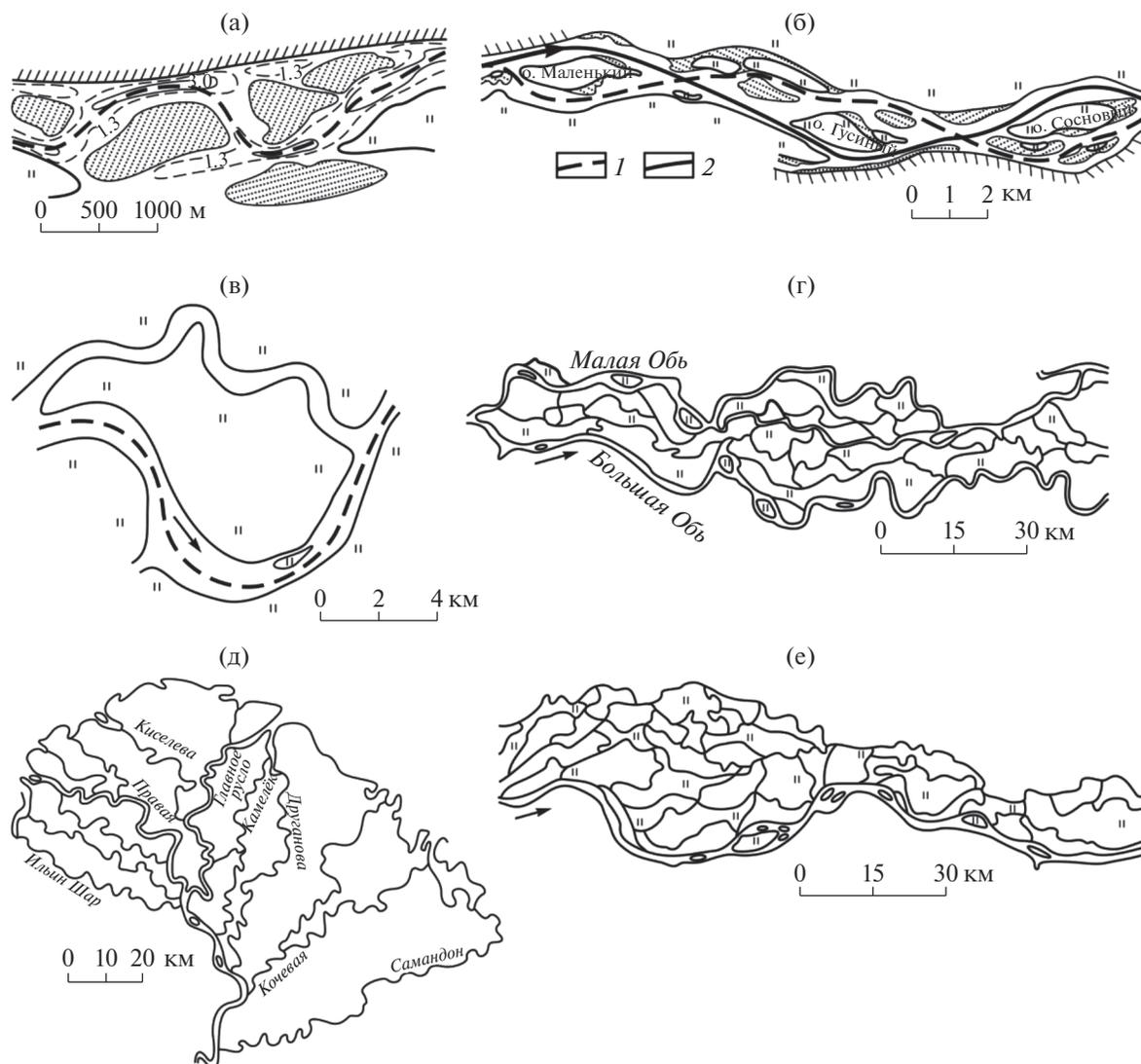
В зависимости от расположения осередков в руслах рек выделяют одиночные, центральные и диагональные осередковые разветвления [37], а сами осередки могут быть: 1) элементарными (простыми), представляющими собой повышенные части одиночных больших гряд — макроформ, размерами от 1/5 до 1/10 ширины русла; 2) отрезанными косами (термин Н.И. Маккавеева [11]) — отчлененными от ухвостья островов вследствие разницы уровней воды в сливающихся рукавах и образования при их затоплении протоки по линии наибольшего уклона; 3) большими (сложными), состоящими из нескольких надвинувшихся друг на друга гряд — макроформ, шаг которых сопоставим с шириной русла или рукава, в котором они сформировались [7]. Упомянутые выше аллювиальные поля представляют собой бесструктурные системы и характеризуются наличием множества протоков, отделенных друг от друга незакрепленными растительностью и обсыхающими большую часть года отмелями (осередками). Их генезис различен в разных природных условиях: они связаны с флювиогляциальными, селевыми и вулканогенно-селевыми (лахаровыми), наледными процессами, формируются при

выходе рек в предгорья или внутригорные котловины при резком уменьшении уклонов.

И.В. Попов в [14] различает одиночные осередки, формирующиеся при смещении крупных ленточных гряд, занимающих по ширине все русло, и осередковый тип русла, развивающийся при многочисленности гряд в поперечном сечении русла и, соответственно, связанный с образованными ими осередками. Таким образом, этот уровень разветвленности не определяет морфологию самого русла, функционирует, как и точечный, только в межень, а образующие его ветви течения связаны с обтеканием потоком обсыхающих частей неприсоединенных к берегам крупных форм руслового рельефа.

**Русловые (островные) разветвления** представляют собой наиболее многочисленную и разнообразную по морфологии и переформированиям группу разветвлений, создающих морфодинамические типы русла. Они связаны с формированием в русле островов и островных массивов, обусловливающих разделение потока на ветви течения даже во время максимального их затопления в половодье (или паводка) из-за их высоты и наличия растительности (рис. 1б). Растительный покров закрепляет поверхность островов, обусловливает снижение скоростей течения над ними при их затоплении и аккумуляцию наносов, в том числе взвешенных, насыщенных органическими остатками, являющихся поэтому субстратом, благоприятствующим ее дальнейшему развитию. Накопление наносов — фактор роста островов в высоту, вследствие чего они, как правило, выше, чем прирусловые отмели.

Выделяются элементарные острова, формирующиеся при зарастании осередков; большие острова, возникающие при объединении элементарных, обсыхании и зарастании разделяющих их протоков, превращающихся в ложбины на пойменных островах; островные массивы [6]. Для островов характерны: отношение их длины  $L_o$  к ширине  $B_o$ :  $L_o/B_o$ , составляющее 3–4 (которое соответствует минимуму сопротивлений движению потока [33, 40]) и форма — каплевидная в плане либо при нарушениях гидравлической структуры потока возле острова — удлиненная, овальная или трапецеидальная (изометричная) [25]. В процессе развития и объединения острова иногда увеличиваются в размере, при этом иногда их ширина намного превышает ширину неразветвленного русла. При этом они сохраняют соотношение  $L_o/B_o \sim 3-4$  и образуют островные массивы, имеющие уже сложную конфигурацию; каждый рукав реки имеет свою форму русла, в свою очередь разделяясь на протоки островами меньших размеров, меандрируя и формируя одну или две–три смежных излучин либо имея относительно прямолинейное русло.



**Рис. 1.** Структурные уровни разветвлений: а – осередковый (верхняя Обь); б – русловой (островной) (р. Обь ниже г. Новосибирска – сопряженные о. Маленький – о. Гусиный – о. Сосновый, прибрежные и 2–3-го порядков в рукавах); в – пойменно-русловое (средняя Обь); пойменные: г – раздвоенное русло (р. Обь в нижнем течении), д – дельтовое (дельтовое, р. Яна), е – пойменная многоорукавность (р. Обь, ниже слияния с р. Иртыш).

В классификации МГУ [22, 24] русловые разветвления в зависимости от расположения и количества островов и режима русловых деформаций разделены на 11 типов, каждый из которых характеризуется своей схемой сезонных и многолетних переформирований, может осложняться разветвлениями рукавов на разветвления 2–3-го порядков. К ним относятся разветвления, формирующиеся в извилистых (меандрирующих) руслах в привершинных частях и на крыльях пологих излучин (рис. 2а) или связанные с развитием прорванных излучин, когда одновременно существуют и старое русло, образующее крутую сегментную излучину, и спрямляющее его новое русло, иногда само образующее излучины или

вторичные разветвления (по терминологии ГГИ [9], это – незавершенное меандрирование). Такие разветвления отличаются от разветвленно-извилистого русла, в котором сама эволюция разветвитых и крутых излучин определяется последовательным формированием у выпуклых берегов излучин островов. Эти острова по мере искривления излучины входят в состав ее шпоры (рис. 2б), а их конфигурация повторяет изгиб русла.

**Пойменно-русловые разветвления** занимают промежуточное положение между русловыми (островными) разветвлениями и раздвоенным руслом. Если размеры разделяющего рукава островного массива сравнительно невелики, в каж-

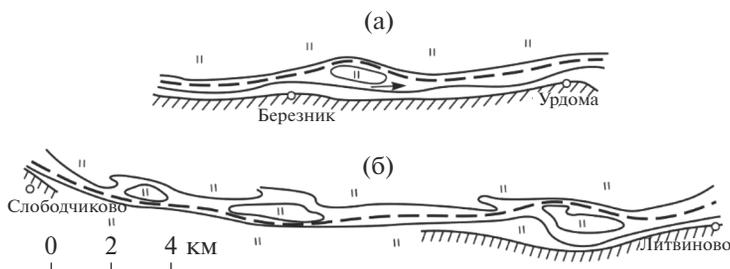


Рис. 2. Одиночные разветвления: а — единичное, в относительно прямолинейном русле (р. Вычегда, 146–130 км от устья); б — образующие морфологически однородный участок (р. Вычегда, 125–100 км от устья).

дом из рукавов развивается не более двух–трех излучин или разветвлений 2-го порядка, они могут быть отнесены к первой из названных категорий. Во втором случае они образуют самостоятельный структурный уровень разветвленности, формирующийся как в рукавах разветвленного русла, так и в меандрирующем русле, в котором каждый рукав имеет свой морфодинамический тип русла, имеется до 5–10 излучин, разветвлений и/или прямолинейных, неразветвленных участков (рис. 1в). Такие пойменно-русловые разветвления характерны для средней Оби (между устьями рек Томи и Ваха), меандрирующей Вычегды, разветвленного русла Киренги. Эти участки различаются по морфодинамическим особенностям русла — на первых двух реках меандрируют оба рукава, на последней — только один, а второй — разветвляется, либо оба рукава имеют разветвленные русла.

В большинстве своем пойменно-русловые разветвления приурочены к участкам реки, в пределах которых она перемещается от одного борта долины к другому, пересекая по диагонали пойму. По-видимому, их формирование связано с несовпадением направления течений руслового и пойменного потоков, подтверждением чего служит прохождение на реках с пойменно-русловыми разветвлениями руслоформирующих расходов воды при глубоком затоплении широкой поймы ( $B_{п} > 10b_p$ ). В многоводные половодья (паводки) преимущественно развивается рукав, по которому осуществляется “длинное” (нижнее, по отношению к течению) перемещение реки от одного борта долины к другому; маловодные половодья (паводки) способствуют развитию “короткого” (верхнего) перевала.

На субширотном участке средней Оби (устье р. Ваха — слияние с р. Иртышом) находится четыре своеобразных трехрукавных пойменно-русловых разветвления, в которых каждый рукав представлен двумя–четырьмя крутыми сегментными излучинами, прорванными излучинами и достаточно многоводными (до 15–20% общего расхода воды) поперечными протоками между основны-

ми рукавами. При размыве вогнутых берегов до 20–30 м/год все рукава отличаются интенсивными переформированиями русел, регулярным перераспределением стока между ними и периодическим углублением одних и обмелением других. В крайних (левом и правом) рукавах берут начало или в них впадают крупные пойменные протоки, вызывающие изменения водности этих рукавов по длине разветвлений.

**Пойменный уровень разветвлений** — верхний при формировании многорукавности — нескольких разновидностей. В раздвоенном русле река протекает двумя (на нижней Оби местами тремя) самостоятельными рукавами вблизи (или вдоль) противоположных бортов долины (рис. 1г). Между ними находятся обширные пойменные массивы, обычно расчлененные пойменными протоками, по которым осуществляется гидравлическая связь между обоими рукавами (иногда вторые рукава, обычно меньшие по водности, называются реками — Ахтуба на Волге, Турунчук на Днестре, Аксай на Дону; в других случаях оба рукава имеют собственные названия — Горная и Малая Обь). Основные рукава не только имеют свои морфодинамические типы русла, соответствующие их водности (от равнозначности обоих рукавов у Оби до нескольких процентов от общего расхода воды у Ахтубы и >95% у Волги), но и отличаются друг от друга особенностями водного и руслового режима, режима стока наносов, имея свои собственные водосборы (Малая и Горная Обь, Волга и Ахтуба).

Разновидность раздвоенных русел — пойменные проточно-озерные разветвления [18, 26], в которых вторые рукава впадают в крупные озера на пойме (не старицы), имеющие на разных реках различный генезис, и затем вытекают из них концентрированным многоводным потоком.

**Дельтовые разветвления** (рис. 1д) представляют собой разделение потока на два–три и более основных (магистральных) рукава, самостоятельно впадающих в приемный водоем и формирующих в нем автономные устья. Морфодинамический тип русла основных (магистральных) рукавов

определяется их водностью, параметры форм русел меняются по их длине по мере ответвления второстепенных рукавов и усиления сгонно-нагонных и приливно-отливных воздействий со стороны моря [10]. Например, в дельте р. Лены наибольшая по размерам Быковская протока имеет разветвленное русло, тогда как Оленекская, Трофимовская и Сардахская — меандрирующее, осложненное иногда одиночными разветвлениями. Наиболее сложные по морфологии разветвления характерны для дельт выполнения заливов (Обь, Енисей, Таз), где меньше рассредоточенность потока по пространству дельты. При малом стоке наносов формирование дельтовых разветвлений происходит на осередковом уровне (р. Анабар). Специфический аналог дельтовых разветвлений — разделение русел на системы рукавов, веерообразно расходящихся на конусах выноса или подгорных наклонных равнинах при выходе рек с гор в межгорные котловины или предгорья. В аридных областях они образуют “слепые устья”, фиксирующие разрывы гидрографической сети. Изменения параметров русловых форм по длине рукавов в этих условиях связаны со снижением их водности при потерях стока на испарение и фильтрацию в рыхлые отложения.

**Пойменная многорукавность** (рис. 1е) как проявление пойменного уровня разветвлений впервые отмечена Н.И. Маккавеевым [11], назвавшего протоки, расчленяющие пойму на отдельные массивы, ответвлениями, и затем И.В. Поповым [14]. Лишь в дальнейшем в работах ГГИ [9] она стала рассматриваться как островная (русловая) разветвленность, связанная с формированием крупных островов (в отличие от осередковой, возникающей при зарастании осередков и превращении их в небольшие по размерам элементарные острова). Пойменная многорукавность, как и пойменно-русловые разветвления и разбросанные русла, развивается только на реках с широкопойменным руслом (у врезанных и адаптированных эти уровни развиваться не могут) при условии прохождения руслоформирующих расходов воды при затопленной пойме и сопровождается как меандрирование, так и разветвление русел на рукава [3, 20]; для прямолинейных, неразветвленных русел она не характерна, но иногда сопровождает их, если они являются следствием временной трансформации меандрирующего или разветвленного русла и, таким образом, являются реликтовым образованием.

#### МОРФОДИНАМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗВЕТВЛЕНИЙ

Классификация разветвлений учитывает все структурные уровни их развития: собственно морфодинамические типы русел рек, разветвленных на рукава — русловые (островные) разветвле-

ния; различные формы и виды разветвлений, проявляющихся на более низком или более высоком структурном уровне или имеющие подчиненное (второстепенное) значение в рассредоточении стока и формировании их морфологического облика. Формирование тех или иных форм разветвленного русла связано со следующими процессами: 1) с образованием в русле элементарных пойменных островов, объединением их в большие острова и островные массивы, разделяющие поток по рукавам и приводящие к рассредоточению стока (это — русловая (островная) многорукавность — сердцевина всей типизации, отражающая главные черты морфологии и руслового режима (деформаций, переформирований) разветвлений); 2) с формированием разветвлений при спрямлении развитых или крутых сегментных излучин и возникновением прорванных излучин, в которых продолжают функционировать наряду с вновь образовавшимися рукавами, спрямляющими излучины, изогнутые старые русла; 3) с образованием у выпуклых берегов в их привершинной части и на крыльях излучин островов, отделенных от пойменной шпоры излучины протоками с существенно меньшей водностью, но функционирующими во все фазы водного режима или обсыхающими частично в низкую межень; 4) с образованием островов 2-го и 3-го порядков не только в рукавах разветвлений, но и в относительно прямолинейном и извилистом (меандрирующем) русле; параметры этих разветвлений в несколько раз меньше параметров разветвлений 1-го порядка (основного русла); 5) с наличием небольших островов (по сравнению с островами разветвлений, определяющими тип русла) в узлах сопряжения рукавов, выбоинах береговой линии, местных расширениях русла и т.д., образующих второстепенные прибрежные разветвления; 6) с развитием ответвлений от основного русла, расчленяющих пойму на отдельные пойменные массивы, — пойменная многорукавность, которая существенно увеличивает общую разветвленность русла и рассредоточенность потока, встречается на реках с неразветвленным меандрирующим руслом, вызывает снижение водности русла или основных рукавов; 7) с развитием пойменно-русловых разветвлений основного русла и раздвоенных русел, соответствующих более высокому структурным уровням разветвленности, рукава которых характеризуются своими морфодинамическими типами.

Разветвления одного и того же типа не одинаковы по параметрам, положению в русле и количеству создающих их островов на реках, различаются по устойчивости русел, имеют широкопойменные, адаптированные или врезанные русла, врезающиеся или аккумулирующие наносы (или отличающиеся по интенсивности вертикальных деформаций), на горных, полугорных и равнин-

ных, 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, но встречаются и на средних реках в специфических условиях формирования их русел (в среднем течении рек Аргунь и Чулым при пересечении активно опускающихся морфоструктур, что сопровождается активной аккумуляцией наносов). В аналогичной ситуации в нижнем течении рек Янцзы и Терек, но в условиях экстремально высокого стока наносов формируются пойменные проточно-озерные разветвления.

Полная морфодинамическая классификация разветвлений речных русловых представлена в табл. 2. В основе ее – генезис, условия формирования, морфология и динамика (схемы деформаций) разветвлений русла. Блоковая структура морфодинамической классификации русел [20, 23]: горные, полугорные, равнинные → геоморфологические типы русла – широкопойменные, врезаемые, адаптированные → собственно морфодинамические типы русел – извилистые, меандрирующие, разветвленные, относительно прямолинейные → подтипы каждого из них → разновидности последних → формы второго-третьего порядков, а также учет структурных уровней проявления русловых процессов (точечная, осередкованная, русловая, пойменно-русловая, пойменная) отражают дискретные свойства русловых процессов и их континуальность – взаимосвязанность и последовательность развития на каждом структурном уровне. Это позволяет учесть практически все многообразие разветвлений и охарактеризовать их гидролого-морфологическими и гидроморфометрическими зависимостями, свойственными разветвлениям разного типа и связывающими параметры русла с характеристиками стока воды и наносов.

Разветвления, создающие морфодинамические типы русла и образующие морфологические однородные участки, в том числе формы 2-го порядка в рукавах сопряженных разветвлений, достаточно полно рассмотрены в общих [3, 20, 22, 25] и региональных публикациях (достаточно упомянуть [5, 13, 16, 17]). Тем не менее отмеченные в табл. 2 разветвления (например, определяемые как простые или сложные) требуют некоторых разъяснений, комментариев или дополнений, которые невозможно дать в рамках таблицы.

Русловые (островные) разветвления формируются в основном на реках морфологически однородные участки, соответствующие тому или иному морфодинамическому типу русла. Однако одиночные разветвления (рис. 2) часто встречаются в виде единичных образований, прерываю-

щих участки меандрирующего или относительно прямолинейного неразветвленного русла, например в местных его расширениях. Если же острова встречаются по длине относительно прямолинейного русла регулярно, но развитие разветвлений возле них автономно по отношению к выше и ниже расположенным, они составляют морфологически однородные участки, представленные одиночными разветвлениями. При расположении островов на таком расстоянии друг от друга, что переформирования разветвлений происходят взаимосвязано, подчиняясь правилу “восьмерки” [15], такие разветвления называются сопряженными. В зависимости от того, представлены разветвления одним островом или группой островов, разделенных межостровными протоками, по которым осуществляется гидравлическая связь между рукавами, они называются простыми или сложными. Каждое одиночное разветвление может быть также трехрукавным, причем центральный рукав обычно относительно маловодный и прямой, а левый и правый, периодически развивающиеся, образуют пологие излучины. Их разновидность – веерные разветвления, у которых относительно прямой рукав короткий и самый многоводный, тогда как остальные образуют все более крутые излучины. Иногда они приобретают форму заваленной излучины, вершина которой смещена вниз по течению; в китайской научной литературе такие разветвления получили название “голова утки” [19]. Веерные разветвления обычно формируются под направляющим воздействием выступов и мысов ведущих берегов, а развитие относительно прямого рукава происходит подобно формированию прорванных излучин [27].

Второстепенные одиночные разветвления, не определяющие морфологию русла в целом и русловой режим реки, в той или иной мере в зависимости от устойчивости русла осложняют его, забирая часть (до 20–30%) расхода воды из основного русла или рукава.

Одиночные разветвления возникают в привершинных частях излучин у вогнутых берегов, если  $r < 2 - 3b_p$  ( $r$  – радиус кривизны,  $b_p$  – ширина русла на излучине), у выпуклых берегов или на крыльях излучин больших равнинных рек, соответствующих местным расширениям русла (рис. 3). Шпоры прорванных излучин, образовавшиеся при спрямлении развитых или крутых излучин, также создают отдельные одиночные разветвления в меандрирующем русле.

Прибрежные разветвления, с одной стороны, создают определенный морфодинамический тип русла, будучи образованными цепочками островов, вытянутыми вдоль одного из берегов (односторонние, чаще всего формирующиеся на реках с односторонней поймой), чередующимися то у

**Таблица 2.** Классификация разветвлений и структурные уровни их развития, соотношения с типами русловых процессов, геоморфологическими типами русел, размерами рек и морфодинамическими типами русел (плюс – ветрчаемость; два плюса – наибольшая ветрчаемость)

Типы разветлений	Типы русловых процессов			Геолого-геоморфологические условия формирования русел (геоморфологические типы русел)				Размеры рек (по водоносности)			Морфодинамические типы русел		
	Равнинный	полуторный	горный	свободные (широкопой-мennyй)	промежуточные (адаптированные)	ораночные (врезанное)	крупнейшие и больше	средние	малые	прямолинейный (неразветленный)	мандрирующий (извилистый)	разветленный на рукава	
Точечный	валунноглыбовый	-	+ <sup>1</sup>	-	-	++	-	+	-	++	-	-	
	микрорядовый <sup>2</sup>	+	-	+	+	-	-	++	+	+	+	+	
	на выходах скал	+	++	++	+	++	+	+	+	+	+	+	
Осердковый													
осередковый	++	++	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	
Островной (русловой)													
а) создающие типы русла и морфологически однородные участки													
одиночные простые	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
одиночные сложные	+	-	-	+	-	-	++	+	-	-	-	+	
разветленно-извилистые	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	
прибрежные: односторонние	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	
чередующиеся	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	
двусторонние	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	
сопряженные: простые	+	-	-	+	+	+	++	+	-	-	-	+	
сопряженные: сложные	++	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	
параллельно-рукавные	+	-	-	+	+	++	+	-	-	-	-	+	
разбросанные	+	++ <sup>3</sup>	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	
в узлах слияния рек	+	+	-	+	+	+	++	+	-	+	-	++	
б) не создающие типы русла													
отдельные одиночные	++	++	+	++	+	+	+	+	+	++	+	-	
прорванные излучины	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	++	++ <sup>4</sup>	
второго-третьего порядка (одиночные, сопряженные)	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	
прибрежные в прямолинейном русле, в рукавах и на излучинах	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	

Таблица 2. Окончание

Типы разветвлений	Типы русловых процессов			Геолого-геоморфологические условия формирования русел (геоморфологические типы русел)			Размеры рек (по водоносности)			Морфодинамические типы русел		
	равнинный	полугорный	горный	свободные (широкопойменные)	промежуточные (адаптированные)	ограниченные (врезанные)	крупнейшие и большие	средние	малые	прямолнейный	мандрирующий (извилистый)	разветвленный на рукава
Пойменно-русловой:												
двурукавные	+	+ <sup>3</sup>	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+
сложные трех- и более рукавные	+	+ <sup>3</sup>	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+
Пойменный												
раздвоенное русло	+	+ <sup>5</sup>	-	+	-	-	+	+	+ <sup>5</sup>	-	+	+
пойменные ответвления (пойменная многорукавность)	+	+	-	++	+	-	++	+	-	-	+	++
дельтовые	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+ <sup>6</sup>	+ <sup>6</sup>	+ <sup>6</sup>
во внутренних и сухих дельтах	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+ <sup>6</sup>	+ <sup>6</sup>	+ <sup>6</sup>
Особый												
аккумулятивный	++	++	-	++	++	+	+	+	-	+ <sup>7</sup>	+	+
скультурно-аккумулятивный	+	+	+	-	+	++	+	+	-	-	-	+
скультурный	+	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+

<sup>1</sup> В порожисто-водопадном русле и русле с неразветвленными аллювиальными формами.

<sup>2</sup> На мелководьях рек с песчаными руслообразующими наносами.

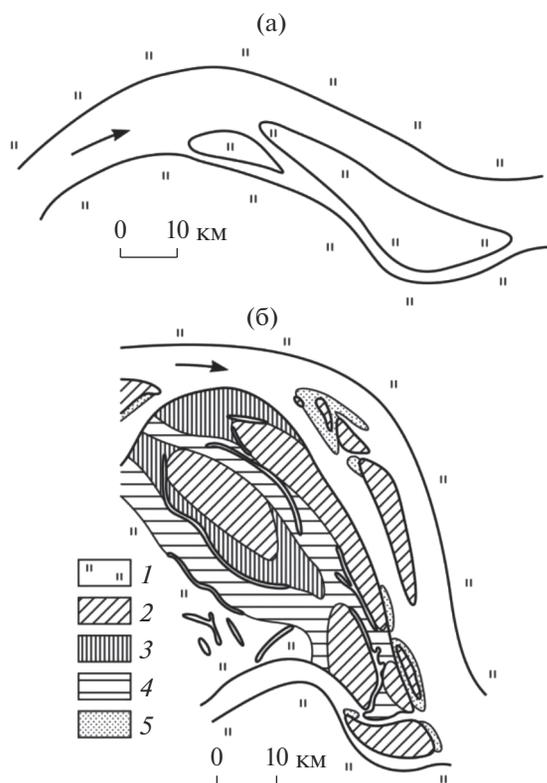
<sup>3</sup> В межгорных и внутрисгорных котловинах, в предгорьях.

<sup>4</sup> В рукавах пойменно-русловых разветвлений у разветвленного русла.

<sup>5</sup> При выходе с гор в предгорья на конусах выноса ("внутренние дельты"), в том числе образующие сложные устья.

<sup>6</sup> В рукавах дельтовых разветвлений.

<sup>7</sup> Второго и третьего порядков.

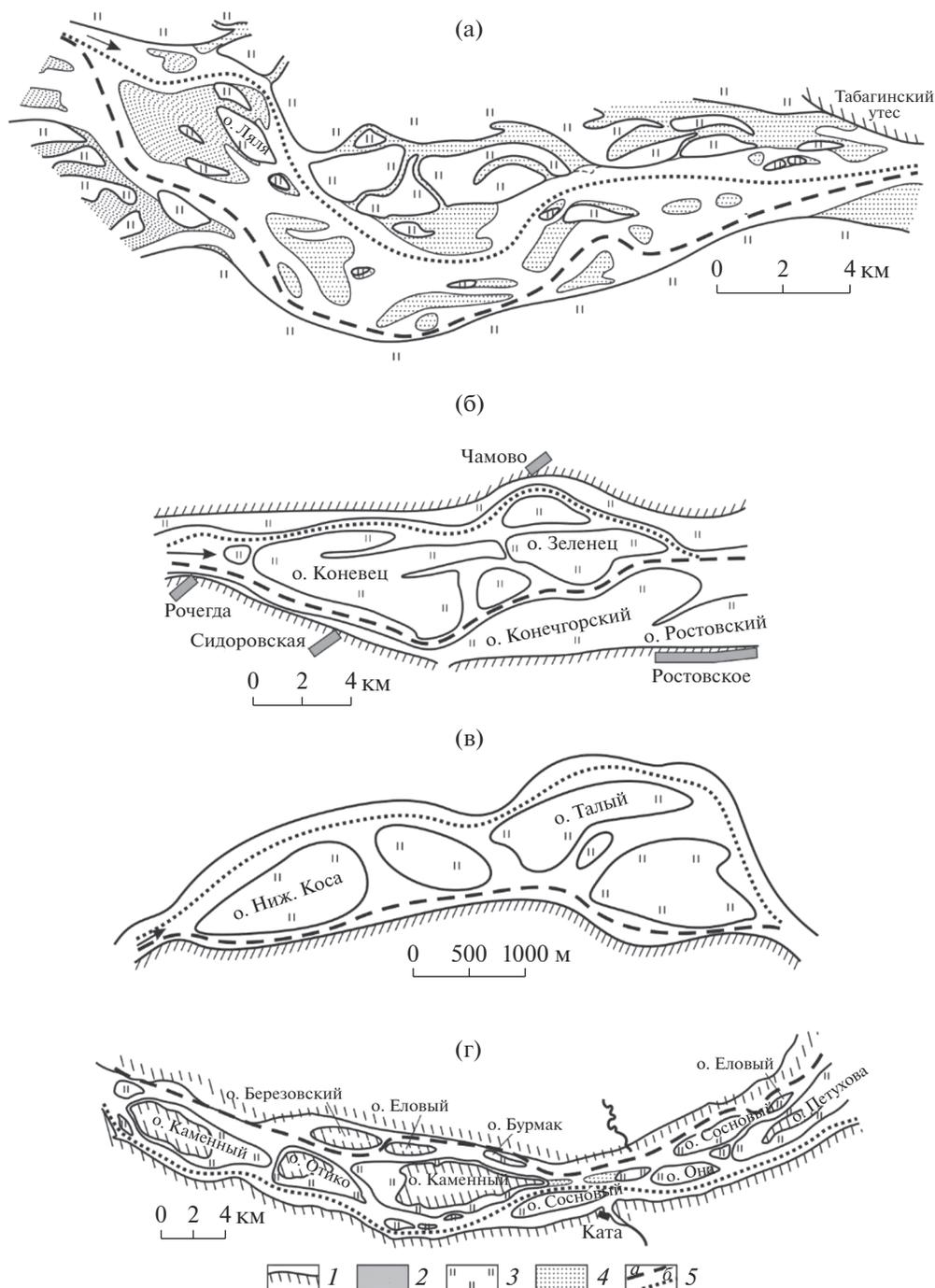


**Рис. 3.** Разветвленные русла, формирующиеся в извилистых (меандрирующих) руслах: а – в нижнем крыле пологой излучины (р. Обь, ниже п. Селиярово); б – образующие разветленно-извилистое русло (р. Обь, Таганская излучина). 1 – пойма; 2 – острова; 3 – приключенные к островам участки молодой поймы, образовавшиеся при зарастании отмелей; 4 – обмелевшие и превратившиеся в ложбины на пойме бывшие протоки; 5 – прирусловые отмели.

одного, то у другого берега или (что достаточно редко) расположенными вдоль обоих берегов (последние две разновидности – на реках с двусторонней поймой). С другой стороны, они формируются у противоположных берегов между звеньями сопряженных разветвлений, в местных расширениях русла, в выбоинах (вогнутостях) ведущих берегов, ниже их выступов и мысов, где они образованы элементарными островами или их группами. Разветвления 2-го или 3-го порядков встречаются в виде единичных (отдельных) форм в истоках основных рукавов, где образование острова – следствие местного снижения транспортирующей способности потока при его разделении на рукава, в их устьях – как результат взаимодействия сливающихся потоков обоих рукавов или при большой длине рукавов – в их центральной части; нередко они образуют в рукавах свою сопряженную систему, увеличивая общую разветвленность русла и рассредоточенность потока.

Параллельно-рукавные разветвления образуют только основной морфодинамический тип русла и только у больших и крупнейших рек, но встречаются при этом и в свободных, и в ограниченных условиях развития русловых деформаций. Широкопойменные русла с этим типом разветвлений почти всегда неустойчивые или слабоустойчивые, характеризуются развитием многочисленных, преимущественно элементарных островов посередине русла, а иногда и сложных частично зарастающих осередков, заполняющих акваторию между ними (рис 4а). Такая морфологическая структура русла подчеркивается скоростным полем потока в условиях повышенной водности (летний паводок), когда затоплены относительно низкие отмели (побочни, осередки). На рис. 5 отчетливо видно разделение потока р. Лены в районе г. Якутска на две ветви течения, проходящие в левой и правой частях русла вне зависимости от того, находится между ними остров или свободная от отмелей акватория. Расход воды по обеим ветвям течения распределен равномерно. Таковы русла верхней Оби (ниже слияния Бии и Катуня), средней (разветвления Рассолода и Якутское) и нижней (ниже устья р. Вилюя) Лены, Северной Двины (Паячно-Рубежское разветвление); причем, с увеличением размеров реки (например, на нижней Лене суммарная ее ширина достигает 20–28 км) встречаются и большие острова. Врезанное параллельно-рукавное русло вне зависимости от его устойчивости отличается комбинацией больших и элементарных островов (Северная Двина выше устья Ваги, Мезень) или преобладанием больших островов (рис. 4б), а иногда и островных массивов (в устойчивом галечно-валунном русле средней Лены) (рис. 4в). Во врезанных руслах (Ангара) разветвления этого типа отличаются абсолютной устойчивостью, имеют скальное ложе и образованы высокими островами с коренным скальным цоколем, поднимающимся на десятки метров над межнным уровнем воды (рис. 4г).

В узлах слияния на обоих реках либо на одной из них формируются разветвления, представляющие собой аналоги либо дельт выполнения выше раздельной стрелки, либо дельт выдвигания. Последние представляют собой “конусы выноса”, состоящие из нескольких островов и разделяющих их рукавов ниже стрелки в узле слияния, т.е. уже в пределах общей акватории сливающихся рек. На второй реке в этом случае формируются разветвления, заполняющие раструбообразное расширение русла перед слиянием и не выдвигающиеся ниже стрелки. Иногда при слиянии рек пойменно-русловые разветвления (при слиянии Оби с Томью, Амура – с Уссурью и с Буреей) образуются крупными островными массивами, отделенными от стрелки в узле слияния относительно маловодными рукавами, сток воды по которым



**Рис. 4.** Разновидности параллельно-рукавных разветвлений: а – в широкопойменном неустойчивом русле (р. Лена, разветвление Рассолода), образованные многочисленными элементарными островами и осередками; б – во врезанном слабоустойчивом русле, образованное большими островами (р. Северная Двина выше устья р. Ваги); в – во врезанном устойчивом русле, образованном островными массивами (р. Енисей, Алтайское разветвление); г – во врезанном скальном русле (р. Ангара).

осуществляется в сторону то притока, то главной реки на разных этапах прохождения половодья или паводков на сливающихся реках. Генетически островные массивы, составляющие пойменно-руслевое разветвление, являются “дельтовыми” образованиями главной реки при слиянии с крупным притоком. Основные рукава при этом имеют свои типы русла, т.е. возникает комбинация различных морфодинамических типов русла. При слиянии Амура и Усури она усиливается

осуществляется в сторону то притока, то главной реки на разных этапах прохождения половодья или паводков на сливающихся реках. Генетически островные массивы, составляющие пойменно-руслевое разветвление, являются “дельтовыми” образованиями главной реки при слиянии с крупным притоком. Основные рукава при этом имеют свои типы русла, т.е. возникает комбинация различных морфодинамических типов русла. При слиянии Амура и Усури она усиливается

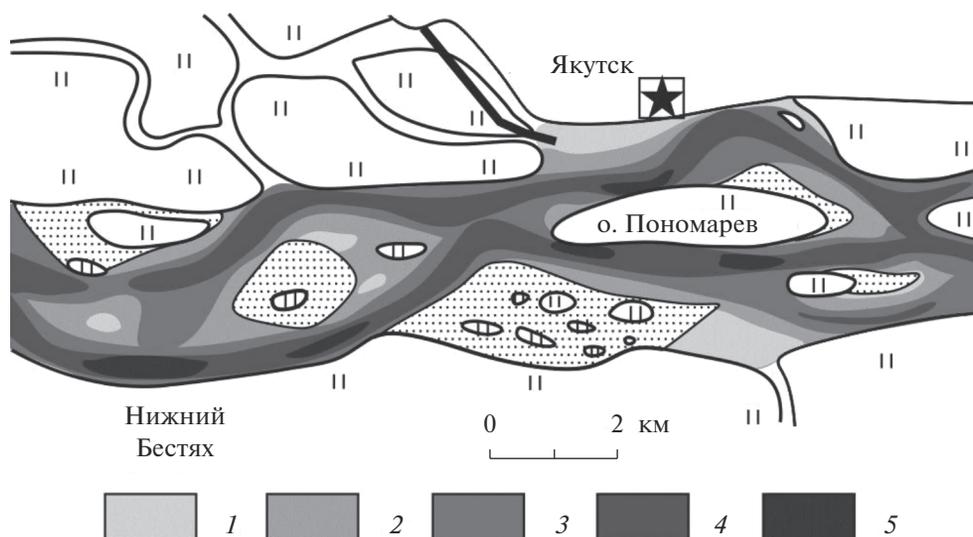


Рис. 5. Скоростное поле потока (по измерениям 2017 г.) в параллельно-рукавных разветвлениях р. Лены в Якутском водном узле. Скорости течения, м/с: 1 – 0.1–0.4, 2 – 0.4–0.7, 3 – 0.7–1.0, 4 – 1.0–1.3, 5 – 1.3–1.6.

формированием прорванных излучин, шпоры которых со временем приключаются к ухвосту островного массива, образующего пойменно-русловое разветвление, что приводит к удлинению (смещению вниз по течению) основного узла слияния Амура и Усури.

Особое место в морфодинамической классификации разветвлений занимают разветвления врезанных русел, в которых острова – скульптурные, так как целиком образованы коренными выступами посередине реки – незатопляемыми массивами даже при самых высоких уровнях воды, и скульптурно-аккумулятивные, в которых к таким скальным выступам, как правило, с низовой стороны в зоне аккумуляции наносов примыкают обширные пойменные ухвостья. Скульптурные встречаются, помимо Ангары, на Витиме, Катунь и даже на сугубо равнинной (не только по типу русловых процессов, но и по орографии) Сухоне; скульптурно-аккумулятивные имеют более широкое распространение, встречаются на верхней и частично средней Лене, Алдане, Енисее и многих других реках.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вариации сочетаний основных русловых разветвлений, создающих морфодинамический тип русла, с разветвлениями 2–3-го порядков, второстепенными прибрежными разветвлениями, пойменной многоруканностью и разветвлениями на более высоких уровнях (пойменно-русловыми, раздвоенными руслами) очень многочисленны. Необходимость их классификации и учета не только определяется общенаучными интересами,

но и непосредственно связана с задачами управления русловыми процессами на разветвленных реках, на которых они особенно сложны. В классификационной таблице учтено большинство возможных проявлений разветвленности на разных структурных уровнях развития русловых процессов, при формировании морфодинамического типа русла, образовании второстепенных форм и форм 2-го и 3-го порядков. При этом осталось вне классификации (хотя и подразумевается) влияние устойчивости русла и состава руслообразующих наносов на морфологию и динамику разветвлений.

Предложенная структура классификации разветвлений – развитие блоковой структуры морфодинамической классификации русел рек, разработанной в МГУ, в направлении детализации и уточнения разветвлений. Она позволяет дополнить ее по мере продолжения исследований, выявления новых разновидностей и закономерностей их деформаций, соответственно – уточнять схемы и приемы управления русловыми процессами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабян А.М. Динамика потока и русла равнинных рек, разветвленных на рукава. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1991. 18 с.
2. Алексеевский Н.И., Беркович К.М. Стабильность разветвленных участков рек в связи с транспортом наносов // Вод. ресурсы. 1992. № 5. С. 47–51.
3. Алексеевский Н.И., Чалов С.Р. Гидрологические функции разветвленного русла. М.: Географ. фак. МГУ, 2009. 240 с.

4. *Алексеевский Н.И., Чалов С.П.* Структура русловых разветвления // Геоморфология. 2004. № 3. С. 57–66.
5. *Водные пути бассейна Лены.* М.: МИКИС, 1995. 600 с.
6. *Голубцов Г.Б., Чалов Р.С.* Острова верхней Оби: морфометрическая характеристика, эволюция и динамика // Геоморфология. 2019. № 1. С. 81–92.
7. *Жмыхова Т.В., Чалов Р.С.* Прирусловые отмели на верхней Оби: типизация, морфология и гидролого-морфометрический анализ // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С. 63–74.
8. *Кжемень К.* Транспорт влекомого материала в высокогорной флювиальной системе на примере Западных Татр // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 15. М.: Изд-во МГУ, 2005. С. 283–292.
9. *Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снищенко Б.Ф.* Основы гидроморфологической теории русловых процессов. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 72 с.
10. *Михайлов В.Н.* Динамика гидрографической сети в неприливых устьях рек // Тр. ГОИН. Вып. 102. М.: Гидрометеиздат, 1971. 260 с.
11. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 343 с.
12. *Маккавеев Н.И., Чалов Р.С.* Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.
13. *Опасные русловые процессы и среда обитания лососевых рыб на Камчатке.* М.: ВНИРО, 2014. 240 с.
14. *Попов И.В.* Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 328 с.
15. *Проектирование судовых ходов на свободных реках* // Тр. ЦНИИЭВТ. Вып. 36. М.: Транспорт, 1964. 264 с.
16. *Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины.* М.: Журн. “РТ”, 2012. 492 с.
17. *Русловые процессы и водные пути на реках Обско-го бассейна.* Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
18. *Самохин М.А., Чалов С.П.* Многолетний режим и принципы регулирования пойменных проточно-озерных разветвлений (на примере Янцзы и Терека) // География и природ. ресурсы. 2008. № 3. С. 17–25.
19. *Характеристика русла и русловые процессы в среднем и нижнем течении р. Янцзы.* Пекин: Наука, 1985. 272 с. (на китайском языке).
20. *Чалов Р.С.* Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
21. *Чалов Р.С.* Дискретные и континуальные проявления русловых процессов в морфологии и динамике речных русел // Геоморфология. 2006. № 4. С. 22–31.
22. *Чалов Р.С.* Морфологические типы русел равнинных рек, разветвленных на рукава // Вод. ресурсы. 1998. Т. 25. № 2. С. 179–185.
23. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: ЛКИ, 2008. 608 с.
24. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
25. *Чалов Р.С.* Сложно разветвленные русла равнинных рек: условия формирования, морфология и деформации // Вод. ресурсы. 2001. Т. 28. № 2. С. 166–171.
26. *Чалов Р.С., Власов Б.Н., Лю Шугуан, Чжао Еань, Юй Вэньчоу.* Специфические формы разветвленного русла р. Янцзы и их эволюция // География и природные ресурсы. 2006. № 2. С. 150–157.
27. *Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И.* Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: МГУ, 2000. 212 с.
28. *Чалов С.П.* Гидрологические функции русловых разветвлений. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2007. 24 с.
29. *Чалов С.П.* Формирование структуры русловых разветвлений // Геоморфология. 2006. № 1. С. 92–102.
30. *Чалов С.П., Цыпленков А.С.* Сток наносов малых рек районов современного вулканизма (р. Сухая Елизовская, Камчатка) // Геоморфология. 2017. № 1. С. 104–116
31. *Чернышов Ф.М.* Повышение эффективности путевых работ на многорукавных участках судоходных рек. Новосибирск: НИИВТ, 1973. 324 с.
32. *Ashmore P.E.* How do gravel-bed rivers braid? // Canadian J. Earth Sci. 1991. № 28. P. 326–341.
33. *Baker K.R.* Stream-channel response to flood, with examples from Central Texas // Geol. Soc. Am. Bull. 1977. V. 88. № 8. P. 1057–1071.
34. *Egozi R., Ashmore P.* Defining and measuring braiding intensity. Earth Surf. Process. Landf. 2008. № 33 (14). P. 2121–2138
35. *Fahnestok R.K.* Morphology and Hydrology of a Glacial stream – White river, Mount Rainer Washington // Geol/survey professional paper. 1963. № 422. P. 1–70.
36. *Goodwin Craig N.* Fluvial classification: Neanderthal necessity or needles normally // Wildland Hydrol. 1999. P. 229–236.
37. *Kallerhals R., Church M., Bray D.J.* Classification and analysis of river process // J. hydraulic division. V. 102. № 7. 1976.
38. *Kaszowski L., Krzemien K.* Classification systems of mountain river channels // River channels: pattern, structure and dynamics. Cracow. 1999. P. 27–40.
39. *Knighton D.* Fluvial forms and processes. London: Arnold, 1998. 383 p.
40. *Komar E.A.* Shapes of streamline Island on the Earth and Marth: Experiments and analyses of the minimum – drag form // Geol. 1983. № 11. P. 651–854.
41. *Metivier F., Meunier P.* Input and output mass flux correlations in an experimental braided stream. Implications on the dynamics of bed load transport // J. Hydrol. 2003. V. 271. Iss. 1–4. P. 22–38.
42. *Rosgen D.L.* A classification of natural rivers // Catena. 1994. V. 22. P. 169–199.
43. *Schumm S.A.* The Fluvial System. N. Y.: Wiley, 1977. 338 p.
44. *Yang S.T.* Potential energy and stream morphology // Water resour. 1971. Res. 7. № 2. P. 311–322.