

УДК 551.435.1:4.01:001.4

## РАЗДВОЕННЫЕ РУСЛА БОЛЬШИХ И КРУПНЕЙШИХ РЕК: УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, РАССРЕДОТОЧЕНИЕ СТОКА И МОРФОДИНАМИКА РУКАВОВ

© 2022 г. Р. С. Чалов<sup>1,\*</sup>, А. А. Куракова<sup>1</sup>, А. А. Камышев<sup>1</sup>, Н. М. Михайлова<sup>1</sup><sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет,  
Москва, Россия

\*E-mail: rschalov@mail.ru

Поступила в редакцию 11.07.2021 г.

После доработки 26.10.2021 г.

Принята к публикации 10.01.2022 г.

Раздвоенные русла – самый высокий структурный уровень разветвлений русел в основном больших и крупнейших рек, на которых рукава, проходящие в противоположных частях очень широкой долины, имеют протяженность десятки и сотни километров, вызывая равноценное распределение расходов воды. Обычно они сопровождаются развитием многочисленных маловодных пойменных протоков, обеспечивающих гидравлическую связь между основными рукавами. В ряде случаев возникают на малых реках. Определены основные условия развития раздвоенных русел: ширина поймы, превышающая в 10 раз ширину русла реки; глубокое затопление поймы в многоводную фазу водного режима и прохождение в это время руслоформирующих расходов воды; расположение рукавов вдоль или вблизи бортов долины; направляющее воздействие выступов (плеч) ведущих коренных берегов, обеспечивающее многоводность обоих рукавов (в противном случае второй рукав может быть маловодным). Выявлены также специфические условия формирования раздвоенных русел: в низовьях рек в их устьевых областях; вследствие внутриводных перехватов притоками при наличии общей с главной рекой поймы; в узлах слияния рек; при выходе из гор на равнину, в межгорных котловинах и при резком изменении уклонов (на малых реках) и др. Показаны различия в развитии рукавов раздвоенных русел, распространении в них морфодинамических типов русла; даны характеристики темпов русловых деформаций (размывов берегов) в рукавах в зависимости от изменения их водности, морфодинамического типа русла, расположения по отношению к коренным берегам, а также влияния рассредоточенности расходов воды на сток наносов и его продольные изменения.

**Ключевые слова:** русловые процессы, рукава, распределение расходов воды, сток наносов, размывы берегов, пойма, пойменные протоки

DOI: 10.31857/S0435428122020043

### ВВЕДЕНИЕ

Раздвоенные русла – разновидность многорукавных широкопойменных речных русел, представляющих собой их разделение на два и более самостоятельных, очень протяженных (десятки и сотни километров на больших реках) рукава, расположенных в противоположных частях (лево- и правобережных), а при наличии нескольких рукавов – и посередине днища долины, ширина которой во много раз превышает ширину русла. Вызывая рассредоточение стока воды и наносов, а в многоводную фазу водного режима превращаясь при затопленной пойме в единое “большое русло” (по выражению М.А. Великанова [1]), они существенно осложняют освоение речных ресурсов и приречных территорий, эксплуатацию водного пути, другие виды хозяйственного использова-

ния, главным образом больших и крупнейших рек. Эта проблема усугубляется сложным и зачастую неоднородным водным режимом рукавов в зависимости от особенностей затопления поймы и слива с нее вод, его различиями из-за впадения в рукава притоков, дренирующих разные части бассейна, отличающиеся по природным условиям, а также неодинаковыми устойчивостью, морфодинамикой и гидроморфологией русел рукавов, их изменчивостью по длине, вследствие продольного увеличения/уменьшения водности и других факторов и условий формирования русел.

Сам термин “раздвоенное русло” появился в литературе совсем недавно. Впервые его применила В.Г. Смирнова [2], описав этот тип русла на реках Алтая – Алее, Чае и Чарыше. В морфодинамическую классификацию МГУ он был введен

только в 2008 г. [3]. На средней и нижней Оби, нижней Волге (Волга и Ахтуба), Днестре (Днепр и Турунчук) русла этого типа рассматривались как разновидности пойменной многорукавности [4–6], на нижнем Амуре, Аргуни были отнесены к пойменно-русловым разветвлениям [7–9] несмотря на иные условия формирования, параметры, рассредоточение стока, морфодинамику и т.д. По-видимому, это – следствие недостаточной изученности руслового режима больших и особенно крупнейших рек, на которых к раздвоенным руслам отношение было как к некоему феномену в развитии тех или иных типов русла (недалеком основные рукава называют часто реками – р. Ахтуба, рр. Малая Обь, Горная Обь и Большая Обь, Турунчук), исключением из правил, требующим специальных разъяснений. Действительно, сведения о русловых процессах на реках с раздвоенным руслом, его рукавах, их изменчивости и рассредоточения стока либо вообще отсутствовали, либо стали появляться в самое последнее время и только для средней и нижней Оби [10, 11], либо касались одного из рукавов, большего по водности и обычно судоходного (Волги [5], Днестра [12]) или реже – второго (Турунчука [13], Ахтубы [14]). На малых и некоторых других реках раздвоенные русла лишь упоминаются, оставаясь неизученными в отношении их морфодинамики и условий формирования.

Отсюда – задача настоящей статьи дать оценку условий, в которых формируются раздвоенные русла в основном на больших и крупнейших реках, установить причины, почему они возникают на одних, но отсутствуют на других реках с широкопойменным руслом, дать характеристику основных рукавов, рассредоточения стока по ним, их морфодинамики и изменчивости по длине.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

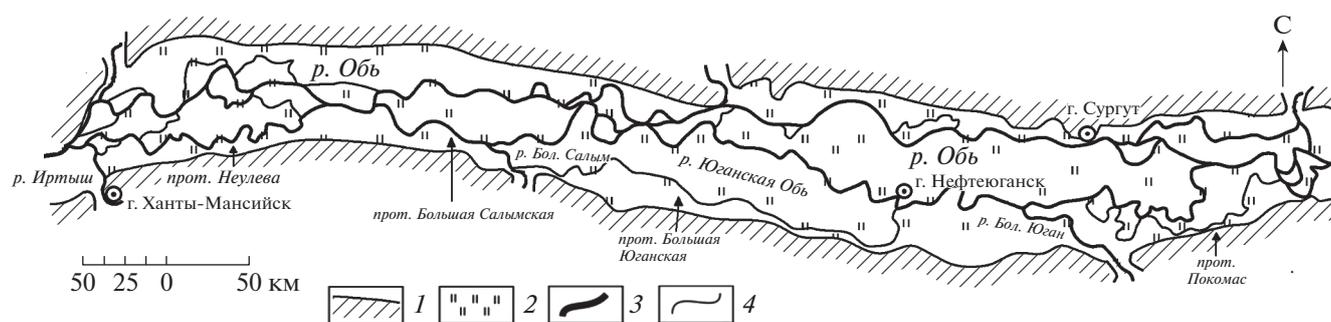
Основу руслового анализа для решения поставленной задачи составили результаты многолетних исследований (для первого автора – более 60 лет) на реках, главным образом, России, характеризующихся свободными условиями развития русловых деформаций на участках с абсолютным преобладанием широкопойменных русел. В соответствии с разработанной в МГУ им. М.В. Ломоносова методологией изучения русловых процессов были определены структурные уровни формирования разветвлений, морфодинамические типы русел основных рукавов, выполнен ретроспективный анализ переформирований, темпы и особенности русловых деформаций через оценку размывов берегов. В состав исследований входили съемки и промеры русел, измерения стока воды и наносов в рукавах, определение состава и распределения руслообразующих наносов, оценка затопляемости поймы и рассредоточения сто-

ка воды и наносов по рукавам. Широко использовались космические снимки, карты и планы русел за разные временные интервалы. Объектами исследований были реки Обь, Лена, Амур, Северная Двина, Енисей, Печора, нижняя Волга, другие реки России и сопредельных стран, великие китайские реки Янцзы и Хуанхэ, как имеющие раздвоенное русло, так и без него. Выполнены обобщение и критический анализ литературных источников, в том числе зарубежных [15], обзор космических снимков по крупнейшим рекам мира и лоцманских карт.

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗДВОЕННЫХ РУСЕЛ И РАССРЕДОТОЧЕНИЕ СТОКА

Раздвоенные русла квалифицируются как самый высокий структурный уровень развития русловых процессов в системе разветвлений: точечные → осередковые → русловые (островные) → пойменно-русловые разветвления → раздвоенные русла [16]. Отличительными особенностями раздвоенных русел являются: очень большая протяженность участков рек и очень широкая пойма, превышающая ширину русла более чем в 10 раз, расположение основных рукавов в противоположных частях долины, длина рукавов, достигающая многих десятков и сотен километров. На средней Оби (широтный участок от устья р. Ваха до слияния с р. Иртыш) выше г. Сургута от основного русла Оби в левобережную часть поймы от реки ответвляются следующие друг за другом рукава: Юганская Обь, протоки Бол. Салымская и Неулера общей длиной 350 км, которые забирают от 19 до 40% стока воды и являются наряду с основным по водности (70–80%) также судоходными, обеспечивая транспортную связь с г. Нефтеюганск, другими населенными пунктами и объектами нефтегазодобывающей отрасли (рис. 1). Протока Неулера при слиянии Оби с Иртышом сама разделяется на два самостоятельно впадающих в Иртыш рукава, образующих вместе с основным правым рукавом своеобразную “дельту” Оби.

На нижней Оби у села Перегребного, возле которого долина реки делает изгиб, изменяя направление с СЗ на С и, оказывая на поток направляющее воздействие, начинается 500-километровое разделение Оби на левый (Малая Обь) и правый рукава (Горная Обь → Большая Обь после слияния Горной Оби с квазипоперечным рукавом – протокой Бол. Нюрик), которое заканчивается уже в пределах устьевой области реки перед сужением долины коренными берегами у г. Салехард (характерно местное название здесь реки – Двубье). Каждый рукав раздвоенного русла, в свою очередь, раздваивается, в результате чего иногда в одном поперечнике через днище



**Рис. 1.** Раздвоенное русло средней Оби (широтный участок от устья р. Вах до слияния с р. Иртыш). 1 – коренные берега; 2 – пойма; 3 – рукава раздвоенного русла; 4 – пойменные протоки и притоки.

долины прослеживается от 3 до 5 рукавов раздвоенного русла (рис. 2), между которыми происходит основное рассредоточение стока (по водности они равноценны).

Перед ответвлением Юганской Оби ширина поймы  $B_n$  составляет 13–14 км, в створе захода в нее – 27–28 км при ширине русла  $b_p = 1.2–2.5$  км, т.е. соотношение  $B_n/b_p$  увеличивается с 8–9 до 23. При отсутствии направляющего воздействия на поток правого берега водность второго рукава раздвоенного русла – Юганской Оби – составляет 19%, но вниз по течению к своему устью возрастает до 40% за счет впадения в него пойменных проток и левобережного притока – р. Большой Юган.

Ниже слияния с р. Иртыш Обь на протяжении 320 км течет вдоль правого коренного берега (Белогорский “материк”), ширина односторонней (левобережной) поймы  $B_n = 15–20$  км при ширине русла  $b_p = 1.5–2.0$  км, соотношение  $B_n/b_p = 7–10$ . Второго альтернативного рукава здесь нет, хотя пойма расчленена пойменными протоками, водность каждой из которых не превышает 4% (в сумме они забирают до 22% общего расхода воды в реке в половодье). Ниже села Перегребного, где ширина поймы возрастает до 45 км, а соотношение  $B_n/b_p$  до 30, Обь разделяется на два рукава: левый – Малая Обь и правый – Горная Обь. В Малую Обь уходит 64% общего расхода воды, направляясь в нее выступом Белогорского “материка” на изгибе долины реки. В 170 км ниже по течению перед слиянием с рекой Северной Сосьвой ширина поймы увеличивается до 60 км, но затем уменьшается до 30 км за счет левобережной Северо-Сосьвинской возвышенности. Ее изгиб оказывает на поток в половодье направляющее воздействие, обуславливая перераспределение стока между основными рукавами раздвоенного русла по квазипоперечному рукаву – протоке Бол. Нюрик, и большим по водности (65% от общего стока Оби) становится правый рукав, который от слияния с ним называется Большой Обью,

продолжая следовать вдоль правого коренного берега – уступов уже Полуйской возвышенности. Ширина поймы вновь возрастает до 50 км. Раздвоенное русло заканчивается перед сужением дна долины в 15 км выше г. Салехарда.

Аналогичная картина характерна для двух участков раздвоенного русла на нижнем Амуре. В верхнем из них (Троицко-Иннокентьевском), сформировавшемся за мысом Тулун правого коренного берега у с. Троицкого (гора Маяк) ширина дна долины (пойма + русло) увеличивается с 13 до 28 км, соотношение  $B_n/b_p$  (при  $b_p = 2–2.5$  км) – с 5.2–6.5 до 11.2–14, причем количество рукавов раздвоенного русла, как и на нижней Оби, достигает четырех. Длина крайнего правого рукава (собственно Амура) – 70 км, левого – протоки Эмрон – 65 км. Слияние рукавов происходит перед сужением долины у села Мамлыж ( $B_n = 4.5$  км,  $b_p = 2$  км) (рис. 3).

Второй участок раздвоенного русла на нижнем Амуре (протяженность левого рукава Старый Амур 81 км, правого – протоки Мариинской 92 км) начинается ниже мыса правого коренного берега – горы Софийской ( $B_n = 11$  км,  $b_p = 2.2$  км) и заканчивается выше села Богородского в сужении долины между хребтом Гидали и горой Иркутской ( $B_n = 6$  км,  $b_p = 1.8$  км). Ширина дна долины в расширении достигает 28–30 км при ширине русла 2.5 км.

На нижней Волге исток левого рукава – р. Ахтубы – находится непосредственно ниже общего поворота долины и ее сужения в створе современного Волгоградского гидроузла, сопровождающегося резким расширением левобережной Волго-Ахтубинской поймы в 6–8 раз: с 2–3 км в сужении до 40 км ( $B_n/b_p = 2–2.5$  против около 40 в сужении). Изгиб долины обеспечивает направление реки под правый коренный берег, сохраняя правобережную асимметрию поперечного профиля всей долины средней и нижней Волги и обуславливая маловодность Ахтубы (2–3% от стока Волги).

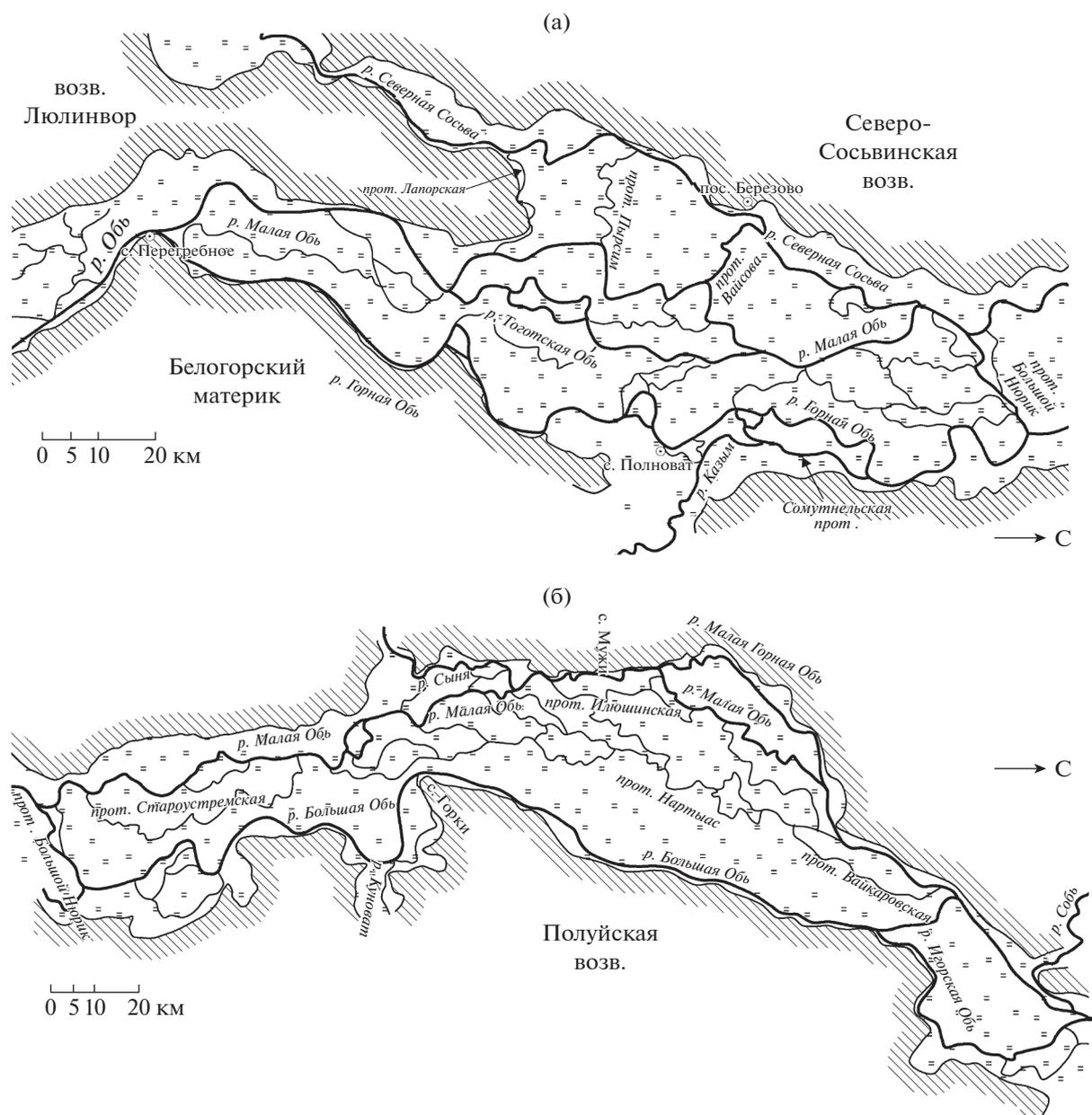


Рис. 2. Раздвоенное русло нижней Оби: (а) — в пределах ХМАО–Югры, (б) — в пределах ЯНАО. Усл. обозначения см. рис. 1.

На реке Днестре раздвоенное русло (Днестр и Турунчук) также связано с более чем в 2 раза расширением днища долины (ширина пойменного “междукавья” (термин предложен в [2] для обозначения пойменных территорий между рукавами раздвоенных русел) — около 6 км при ширине русла  $b_p = 150$  м) [12], соответствуя смене русла адаптированного типа (при относительно суженной пойме) [3, 17] широкопойменным. Большую часть стока — от 51 до 60%, в зависимости от водности года и фазы водного режима (судоходство осуществляется в правом рукаве), забирает левый

рукав — протока Турунчук, которая является прямым продолжением русла на вышележащем участке реки.

Сравнительно небольшой участок раздвоенного русла имеется в низовьях р. Кеть. Здесь оно сформировалось ниже села Белояровка, где ширина поймы  $B_{п} = 2.5$  км при  $b_p = 0.74$  км, в расширении долины с  $B_{п} = 11–12$  км и заканчивается при ее сужении до 9.6 км ( $b_p$  увеличивается до 1 км). Длина рукавов составляет: левого — 18 км, правого — 21 км. В нижнем течении р. Таза на 279 км от

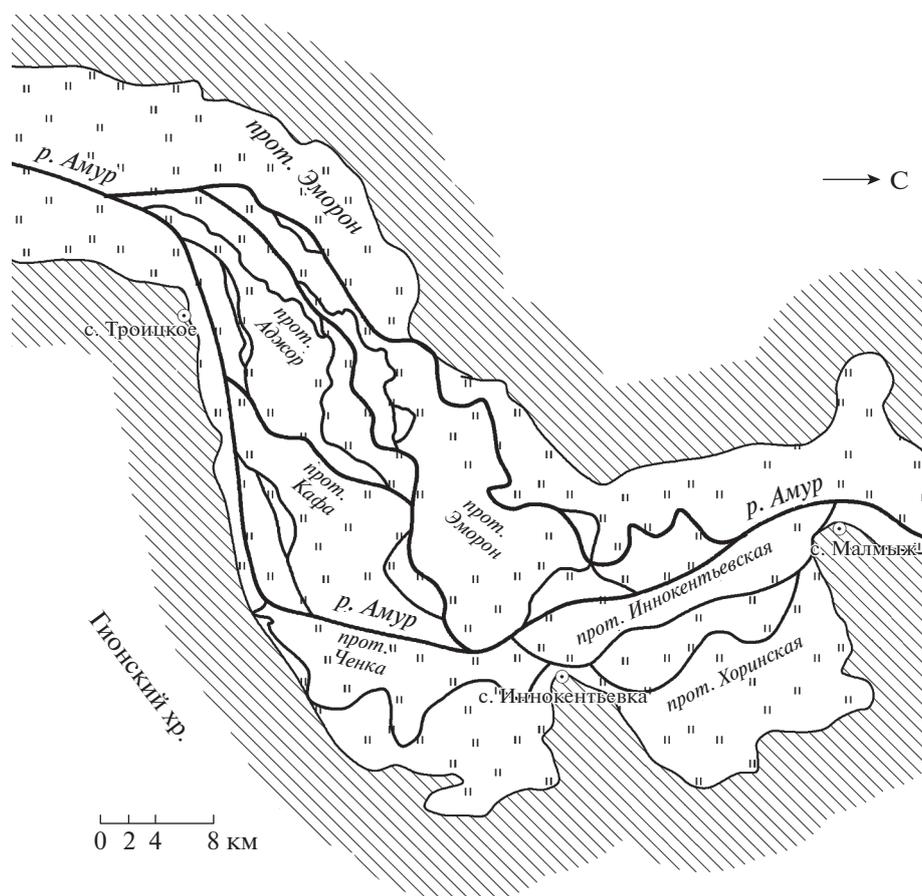


Рис. 3. Раздвоенное русло нижнего Амура (от села Троицкое до села Малмыж). Усл. обозначения см. рис. 1.

устья русло разделяется на левый судоходный рукав – протоку Яун-Тарко длиной 64 км и правый рукав – собственно Таз длиной 45 км. Это соответствует почти двукратному расширению поймы при ширине русла  $b_p = 0.54$  км.

Имеются сведения о наличии раздвоенного русла на реках: Нигер [18], Миссисипи [19], Туул (приток реки Орхона в Монголии) [20], Аругни [9], Анадыре, а также на малых реках Алтая [2] и Камчатки [21], где они приурочены к расширениям долин при выходе рек из гор в предгорья, к внутригорным котловинам или расположены ниже крупных сужений при пересечении увалов на предгорных плато, сопровождаясь одновременно резким снижением уклонов и сменой типа русловых процессов на горных реках на русловые процессы полугорных и равнинных рек [3, 17]. Во всех известных примерах условием для формирования раздвоенного русла является большая ширина днища долины (пойма + русло), существенно превышающая соотношение  $B_n/b_p = 10$  и достигающая иногда  $>30$  (нижняя Обь). Для сравнения: на нижней Лене, превышающей по водности Обь и имеющей широкопойменное сла-

бо- или неустойчивое русло, т.е. условия, способствующие формированию сложно разветвленного (многорукавного) русла, раздвоенное русло отсутствует. При огромной ширине русла (суммарно вместе с островами – до 28 км, на неразветвленных участках – до 10 км при ширине береговой поймы около 20–30 км) соотношение  $B_n/b_p$  близко к нижнему пределу выделения широкопойменных русел на больших реках –  $B_n/b_p = 2–3$  [3, 17]. В этих условиях реализация многоводности реки и слабой устойчивости русел проявляется в формировании наиболее сложной русловой (островной) разветвленности – параллельно-рукавных разветвлений, образованных системой двух рукавов, осложненных разветвлениями 2–3-го порядков и межостровными протоками, разделяющими острова разного размера (от элементарных и малых до больших [8]). Таковы верхняя и средняя между устьями Томи и Ваха Обь, средняя и нижняя Лена, Сев. Двина, Печора. На нижней Лене такое русло развивается как альтернатива раздвоенному руслу при  $B_n = 3–5b_p$ , сопровождающаяся увеличением ширины (вместе с островами) самого русла до 28 км и создавая чрезвычайные осложнения при эксплуатации водного пути

(других водопользователей здесь практически нет). Таким образом, соотношение  $B_n/b_p > 10$  можно рассматривать как один из критериев развития раздвоенных русел.

Другим важным критерием раздвоенного русла (в отличие от пойменной многорукавности, расчленяющей пойму на отдельные части маловодными пойменными протоками) является в большинстве случаев соизмеримость по водности образующих его рукавов (например, на широтном участке средней и нижней Оби рукава раздвоенного русла забирают каждый не менее 19–40% от общего расхода воды в реке), либо автономность и выдержанность параметров русла по всей длине маловодного рукава, берущего начало в основном русле и затем проходящего вдоль или вблизи противоположного борта долины и характеризующегося своим, отличным от многоводного водным и русловым режимами. Такова Ахтуба, исток которой находится у Волгоградского гидроузла, и которая самостоятельно сливается с одним из рукавов дельты Волги, протекая вдоль сухих степей Нижнего Заволжья, и на всем своем протяжении принимает маловодные пойменные протоки — воложки, или они из нее берут начало. Такое своеобразие (маловодность второго рукава раздвоенного русла) помимо воздействия изгиба долины, направляющего сток Волги в правый рукав, очевидно, связано с его генезисом как реликтом бывшего дельтового рукава, сформировавшегося по мере заполнения эстуария (залива) нано-сами [5].

Аналогом Ахтубы по генезису на начальном этапе формирования раздвоенного русла, вероятно, может служить правый рукав р. Таз — Малый Таз при его впадении в Тазовскую губу. Этот рукав в устье по водности лишь немного уступает главному руслу р. Таз (доля стока в нем — до 33,4% [23]), проходящему у левого коренного берега (аналог основного русла Волги выше дельты). Рукав начинается намного выше устьевой области реки в виде сравнительно маловодной протоки. По мере приближения к губе он принимает воды впадающих в него многих пойменных протоков, по которым осуществляется гидравлическая связь с основным руслом Таза, и превращается в многоводный рукав.

При сложном раздвоении русла, когда на реке количество рукавов достигает четырех (нижняя Обь, Амур, Аргунь), рассредоточение стока по ним, усугубляющееся отвлечением его в пойменные протоки, расчленяющие “межрукавья” на отдельные массивы, приводит к тому, что водность основных рукавов сокращается до минимальных размеров. В этом отношении показательным является рассредоточение стока по рукавам раздвоенных русел на нижней Оби в пределах

ХМАО—Югры — от села Перегребного до квазипоперечной протоки Бол. Нюрик (табл. 1).

В узле разделения Малой и Горной Оби ширина поймы увеличивается вниз по течению от 15–20 до 45 км, а затем перед слиянием с р. Сев. Сосьва — до 60 км, становясь здесь по левобережью общей для обеих рек. В узле разделения рукавов Малая Обь забирает 64% общего расхода воды, который затем рассредотачивается по рукавам “вторичных” раздвоений — Тоготской Оби, протоке Вайсова и многочисленным пойменным протокам (см. рис. 2, а). Среди последних выделяются протоки Лапорская и Пырсим, забирающие из Малой Оби, соответственно, 19 и 10% расхода в узлах ответвления (5 и 2% от общего расхода воды нижней Оби) и впадающие, пересекая левобережную пойму, в р. Сев. Сосьва. В результате водность Малой Оби сокращается вниз по течению более чем в 10 раз, составляя всего 5% от общего расхода воды в Оби во время половодья (табл. 1), хотя и на небольшом по длине участке — всего 16 км. Но это создает огромные трудности для судоходства, поскольку по Малой Оби проходит основной водный путь на этом участке нижней Оби.

После слияния с Тоготской Обью и р. Сев. Сосьва водность Малой Оби практически восстанавливается. Однако протока Бол. Нюрик вновь забирает из нее большую часть расхода воды (41 или 22% от водности всей нижней Оби). Более того, пересекая поперек пойму Оби, эта протока собирает воды из ряда пойменных протоков, расчленяющих пойменное “межрукавье” Малой и Горной Оби, и стекающих (во время половодья) с самой поймы. В результате водность Бол. Нюрика возрастает от истока Малой Оби к слиянию с Горной Обью более чем в 2 раза, составляя от общего расхода воды в нижней Оби 54%.

Горная Обь, в отличие от Малой Оби, почти на всем протяжении располагаясь вдоль правого высокого коренного берега — Белогорского “материка”, практически не изменяется по водности. Лишь в нижней ее части, где в нее впадает р. Казым и появляется правобережная пойма, вправо отходит Сомутнельская протока, образующая для Горной Оби вторичное раздвоение русла (доля расхода в ней от Горной Оби — 53%, от всей нижней Оби — 18%); протяженность основного левого рукава, собственно Горной Оби на участке ее раздвоения — около 50 км.

Ниже протоки Бол. Нюрик водность Малой Оби составляет 35% от общего расхода; соответственно, на Большую Обь приходится 65% стока реки. От Малой Оби там, где ширина днища долины увеличивается до 50 км (в створе пос. Мужичи), а левый ее борт (Приуральская возвышенность) отступает от реки, ответвляется влево Малая Горная Обь, забирающая из нее 32% расхода воды.

**Таблица 1.** Расходы воды  $Q$  в рукавах раздвоенного русла нижней Оби (в пределах ХМАО–Югры) в половодье (по измерениям в июне 2019 г.) [10]

Рукава, пойменные протоки, притоки	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$Q$ , %	
		от Оби	от Малой или Горной Оби
<b>Узел разветвления Малой и Горной Оби</b>			
Малая Обь	15044	64	100
Горная Обь	8412	36	100
<b>Малая Обь</b>			
Исток Малой Оби – разделение Малой и Тоготской Оби			
Малая Обь	5595	24	40
Тоготская Обь	8364	36	60
Разделение Малой и Тоготской Оби – исток пойменной протоки Пырсим			
Лапорская	1153	5	19
Пырсим	435	2	10
Исток пойменной протоки Пырсим – разделение Малой Оби и протоки Вайсова			
Вайсова	2490	11	67
Малая Обь	1213	5	33
Разделение Малой Оби и протоки Вайсова – слияние Малой и Тоготской Оби			
Малая Обь	2029	9	23
Тоготская Обь	6747	29	77
Слияние Малой и Тоготской Оби – слияние Малой Оби и Сев. Сосьвы			
Малая Обь	7224	31	52
Сев. Сосьва	6652*	28	48
Слияние Малой Оби и Сев. Сосьвы – разделение Малой Оби и протоки Бол. Ньюрик			
Малая Обь	8403	36	59
Бол. Ньюрик	5048	22	41
<b>Горная Обь</b>			
Исток Горной Оби – разделение Горной Оби и Сомутнельской протоки			
Горная Обь	3517	15	58
Сомутнельская	2568	11	42
Казым	1651	7	20
Между разделением и слиянием Горной Оби и Сомутнельской протоки			
Горная Обь	3754	16	47
Сомутнельская	4219	18	53
Слияние протоки Бол. Ньюрик и Горной Оби			
Бол. Ньюрик	12566	54	71
Горная Обь	5205	22	29
Бол. Обь	17771	76	100

Примечание. \* – суммарный расход Сев. Сосьвы, проток Лапорской, Пырсим и Вайсова, левого притока – р. Вогулка.

Всего же с оттоком воды в многочисленные пойменные протоки это приводит к снижению доли стока в ней по отношению ко всей реке до 13%. Водность Большой Оби, как и Горной Оби, проходящих вдоль правого коренного берега (Сибирские Увалы – Белогорский “материк” и Полульская возвышенность), выдержана по их длине, и лишь при слиянии с Малой Обью от нее ответвляется последний правый рукав раздвоенного русла – Игоровская Обь.

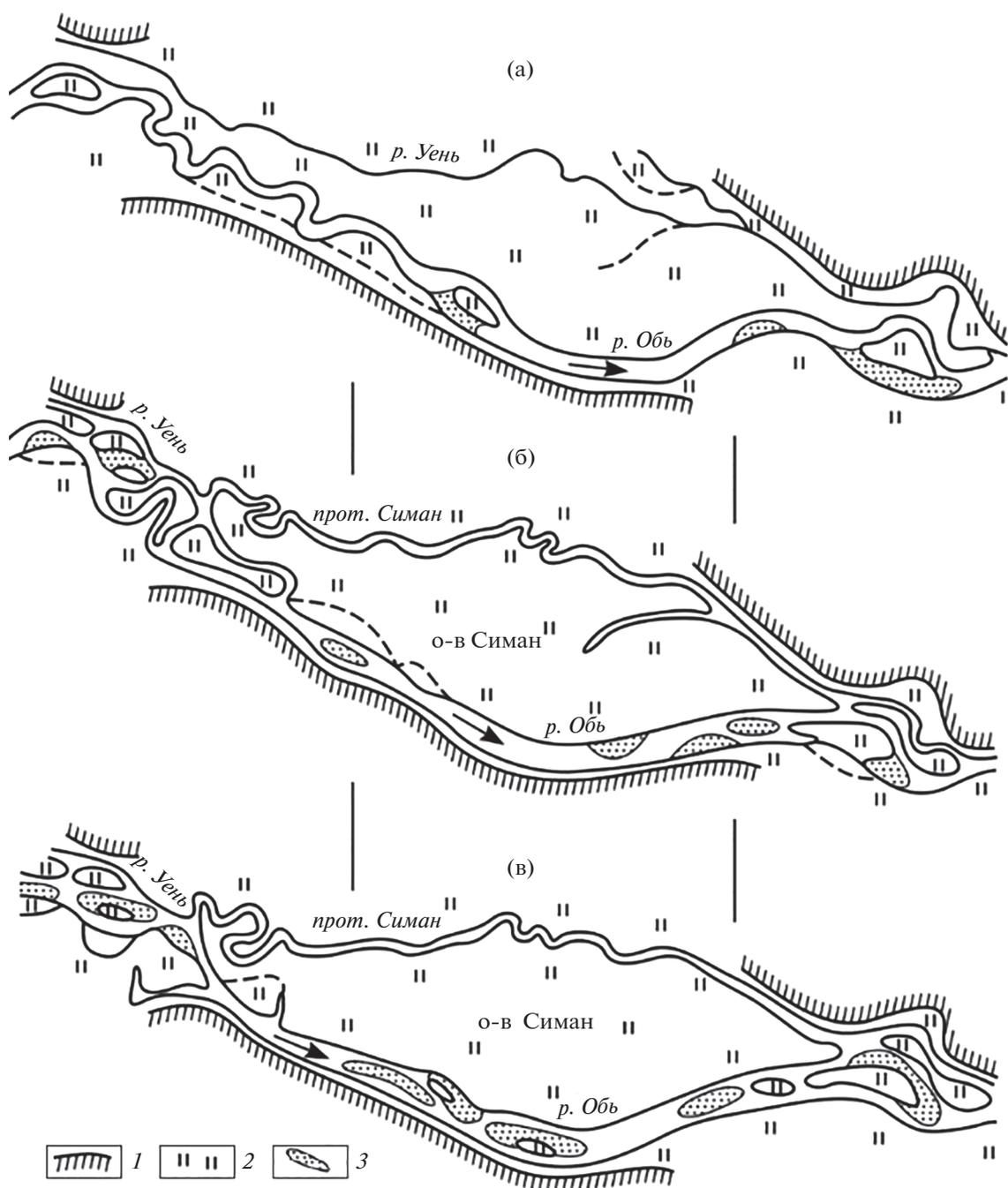
Большинство рек с раздвоенным руслом (среды перечисленных выше исключение составляют р. Днестр с Турунчуком и р. Туул) характеризуются развитой пойменной многоорукавностью. Создающие ее пойменные протоки (ответвления, сопровождающие русла любого морфодинамического типа) являются, с одной стороны, результатом эволюции излучин (их спрямления) или русловых разветвлений (причленение островов к пойме при неполном отмирании рукавов), а с другой, – следствием глубокого затопления поймы и прохождения руслоформирующих расходов в многоводную фазу водного режима [3, 17]. Вследствие этого на пойме формируются достаточно мощные течения [24], отдельные ветви которых, в первую очередь, сосредотачиваются по староречьям и отшнуровавшимся от русла протокам, не давая им отмереть и превратиться в ложбины на пойме. Исходная форма русел этих проток зависит от типа русла, в котором они возникают. Со временем она трансформируется, приспособляясь к водности пойменных проток (иногда они носят местное название – воложки на Волге, полои на Сев. Двине, шары на Печоре). Относительная водность пойменных проток невелика, составляя каждая обычно первые проценты от расхода воды в реке (самые многоводные – до 10–15%), хотя в сумме при их многочисленности они забирают до 30%. По данным Н.Б. Барышникова [24], на средней Оби с раздвоенным руслом по пойме и пойменным протокам проходит всего 14.2% расхода половодья (3500 м<sup>3</sup>/с), тогда как основное русло Оби и Юганская Обь сосредотачивают 85.5% (21 200 м<sup>3</sup>/с) стока. По данным натурных измерений в половодье 2019 г. только самые крупные пойменные протоки (без учета затопления поймы) в совокупности забирают от 500 до 1500 м<sup>3</sup>/с (при расходе воды в русле реки – около 25 000 м<sup>3</sup>/с). То есть, пойменные протоки, осуществляя гидравлическую связь рукавов раздвоенного русла, уменьшают или увеличивают их водность.

Пойменные протоки не формируются, и пойма представляет единое консолидированное, не расчлененное ими на отдельные массивы образование, если руслоформирующие расходы воды  $Q_{\phi}$  проходят в пойменных бровках, затопление высокой водой невелико, наблюдается далеко не каждый год и на непродолжительное время, на

пойме не возникает транзитное течение. Этот же фактор служит условием, обуславливающим отсутствие раздвоенного русла. Действительно, на верхней и средней Оби (до слияния с р. Кеть), имеющей пойму  $B_{\text{п}} > 10b_{\text{р}}$ , при ее затоплении верхний интервал  $Q_{\phi}$  отсутствует, раздвоенное русло и пойменная многоорукавность не возникают. Таким образом, при очень широкой пойме ( $B_{\text{п}} > 10b_{\text{р}}$ ), но при прохождении  $Q_{\phi}$  в пойменных бровках (до выхода воды на пойму) раздвоенное русло отсутствует (верхняя и частично средняя Обь, в первом случае, средняя и нижняя Лена, Сев. Двина, Печора – во втором). В этом случае многоводность потока и неустойчивость русла компенсируются наиболее морфологически сложными формами русловой разветвленности – параллельно-рукавными разветвлениями с чрезвычайно большим количеством островов разных размеров, разделяющих две системы основных рукавов, каждый из которых, в свою очередь, характеризуется русловыми разветвлениями второго порядка.

Возможны некоторые специфические условия образования раздвоенных русел. Среди них иногда встречаются внутриводные “перехваты” (правильнее говорить о внутриводных “перехватах”) части стока притоками, протекающими в тыловых частях пойм рек, больших по водности. Так, на Оби между г. Новосибирском и устьем р. Томь протока Симан, отходящая от реки в левую часть днища долины и имеющая длину около 45 км, образовалась в результате размыва поймы между Обью и р. Уень, стекающей с Приобского плато и текущей в тыловой части Обской поймы (рис. 4). Вследствие этого по образовавшемуся прорану уходит до 30% стока Оби в низовья р. Уень, превратившейся на протяжении нескольких десятков километров во второй рукав Оби [25].

В устье р. Кеть (приток средней Оби) при выходе ее в долину Оби сформировалось два рукава – короткий Кеть Тогурская (9 км), имеющий переменное направление течения (если половодье по р. Кеть проходит раньше, чем по Оби, то по нему большая часть стока притока идет в главную реку; в остальные периоды Обь направляет часть стока в нижнюю часть р. Кеть). Длина Обь–Кетского рукава в тыловой части Обской поймы Кети Копыловской – несколько десятков километров (его устье у села Нарым). Аналогичная ситуация имеет место при впадении в Обь р. Сев. Сосьва, которая сначала принимает из Малой Оби две крупные пойменные протоки, а ниже пос. Березово сливается с одним из рукавов раздвоенного русла – протокой Вайсова. В итоге в узле слияния Малой Оби с р. Сев. Сосьва сток последней составляет лишь 40%, остальная часть – обские воды, поступившие из протоки (рукава раздвоенно-



**Рис. 4.** Образование раздвоенного русла путем внутриводосточного (внутрипойменного) “перехвата” части стока Оби ее притоком – р. Уень. 1 – коренные берега; 2 – пойма; 3 – осередки и прирусловые отмели.

го русла Оби) Вайсова и пойменных проток Лапорской и Пырсим.

Своеобразной разновидностью раздвоенных русел являются пойменные проточно-озерные разветвления [26]. Их образование связано с заполнением наносами озерных водоемов. На р. Янцзы в пределах равнины Лянху сохранилось оз. Дантинху, в которое впадает система правых

рукавов, доля стока в которой составляет 50% стока реки и из которого вытекает рукав, соединяющийся затем с основным левым рукавом, располагающимся в северной части равнины, ежегодно затапливаемой в многоводную фазу водного режима (паводочной период) [27]. На нижнем Тереке [28] такое раздвоенное русло сформировалось вследствие прорыва прирусловых валов

и приустьевых разливов реки (аналог мелководного озерного водоема) и заполнения их наносами.

В узле слияния Амура и Уссури протока Казакевича с переменным направлением течения (в основном из Амура в низовья Уссури и из Уссури в Амур при прохождении высоких паводков по притоку) и Амурская протока (низовья Уссури плюс воды Амура, поступающие из Казакевичевой протоки) имеют длину около 60 км, представляя собой, по существу, второй рукав раздвоенного русла Амура (ранее [29] он рассматривался как рукав аномально большого пойменно-руслового разветвления), который соединяется с рекой Уссури, подобно протоке Вайсова при слиянии Оби с р. Сев. Сосьва.

### ОСОБЕННОСТИ МОРФОДИНАМИКИ РАЗДВОЕННЫХ РУСЕЛ

В раздвоенных руслах каждый рукав характеризуется своим набором морфодинамических типов русла, обычно извилистого или с русловыми разветвлениями относительно простых разновидностей (одиночные, прибрежные, сопряженные) и невысокими значениями степени разветвленности  $n_0/x$  ( $n_0$  – количество островов на единицу длины реки  $x$ ). Параметры форм русла (излучин, разветвлений), темпы русловых деформаций или преобладание того или иного типа русла определяются водностью рукавов, различиями в распределении стока наносов и конкретными условиями их формирования. Например, прохождение одного из рукавов вдоль коренного берега (Горная и Большая Обь, нижняя Волга в пределах Волго-Ахтубинской долины) создает условия для преимущественного распространения прямолинейного неразветвленного русла или односторонних разветвлений, в которых вторые маловодные рукава находятся вдоль односторонней поймы [3].

Раздвоенные русла по соотношению разветвленности и извилистости основных рукавов можно охарактеризовать двумя крайними примерами. Первый – нижняя Волга, где от основного русла ответвляется маловодный (всего 3–4% стока Волги) левый рукав – Ахтуба, проходящий в тыловой части Волго-Ахтубинской поймы. Почти на всем протяжении он меандрирует и лишь местами вдоль левого коренного берега русло его относительно прямолинейное, но с извилинами динамической оси потока возле побочной и иногда с осередковыми разветвлениями. В русле собственно Волги (правом основном рукаве) относительно прямолинейные участки, одиночные разветвления и излучины распространены приблизительно в равном долевом соотношении, причем параметры излучин самого русла Волги и ее рукавов на несколько порядков величин больше, чем у излучин Ахтубы [5, 6, 30].

Другой пример раздвоенного русла – средняя (на широтном участке) и нижняя Обь. В 294 км ниже слияния с р. Иртыш она разделяется на два соизмеримых по водности рукава – Малую и Горную Обь (64 и 36% соответственно). На широтном участке средней Оби в системе проток Юганская Обь – Бол. Салымская – Неулева русла рукавов меандрирующие, параметры излучин зависят от их водности (относительная водность в пределах 19–40% от общего расхода воды в реке). В русле правого рукава – собственно Оби, как и выше истока Юганской Оби, сложно чередуются по длине относительно прямолинейные неразветвленные участки, пологие и развитые сегментные излучины, одиночные, пойменно-русловые и сопряженные разветвления. При этом отвлечение части стока в левые рукава раздвоенного русла практически не сказывается на изменении параметров формы русла (излучин, разветвлений), так как находится в пределах величины рассредоточения стока по многочисленным пойменным протокам (ответвлениям) выше по течению, до истока Юганской Оби: их суммарная водность составляет 20–25% во время половодья, тогда как Юганская Обь на заходе забирает 19% и лишь к устью возрастает до 40% благодаря впадению в нее притока – р. Бол. Юган и пойменных проток.

На Малой Оби, отходящие от нее сначала в центральную часть поймы Тоготская Обь, затем влево протока Вайсова, перераспределение стока по протоке Бол. Нюрик и ответвление Малой Горной Оби приводят к снижению ее водности до 15% и меньше от общего расхода реки в половодье. Вследствие этого на Малой Оби русло преимущественно меандрирует, образуя иногда очень крутые излучины с коленообразными изгибами потока в их привершинных частях. При этом параметры излучин рукавов зависят от их водности, определяя, в свою очередь, у развитых и крутых ( $l/L > 1.7$  – крутые, 1.4–1.7 – развитые,  $< 1.4$  – пологие [3]) различные скорости размыва берегов  $C = f(l/L)$ ; на пологих излучинах эта связь, как и в одиночных русловых разветвлениях не проявляется, так как преобладает влияние других факторов, в том числе из-за развития островов на их крыльях или в привершинных частях, что приводит к еще большему снижению расходов воды в основном русле рукава. На Горной и Большой Оби при преобладании прямолинейного неразветвленного русла вдоль правого коренного берега встречаются одиночные разветвления и излучины, формирующиеся ниже его мысов и выступов, оказывающих на поток направляющее воздействие и вызывающие отклонение от него русла.

Проявлением различий в интенсивности русловых деформаций являются неодинаковые скорости размыва берегов в едином и в раздвоенном русле. На средней Оби выше раздвоенного русла средняя скорость отступания пойменных берегов

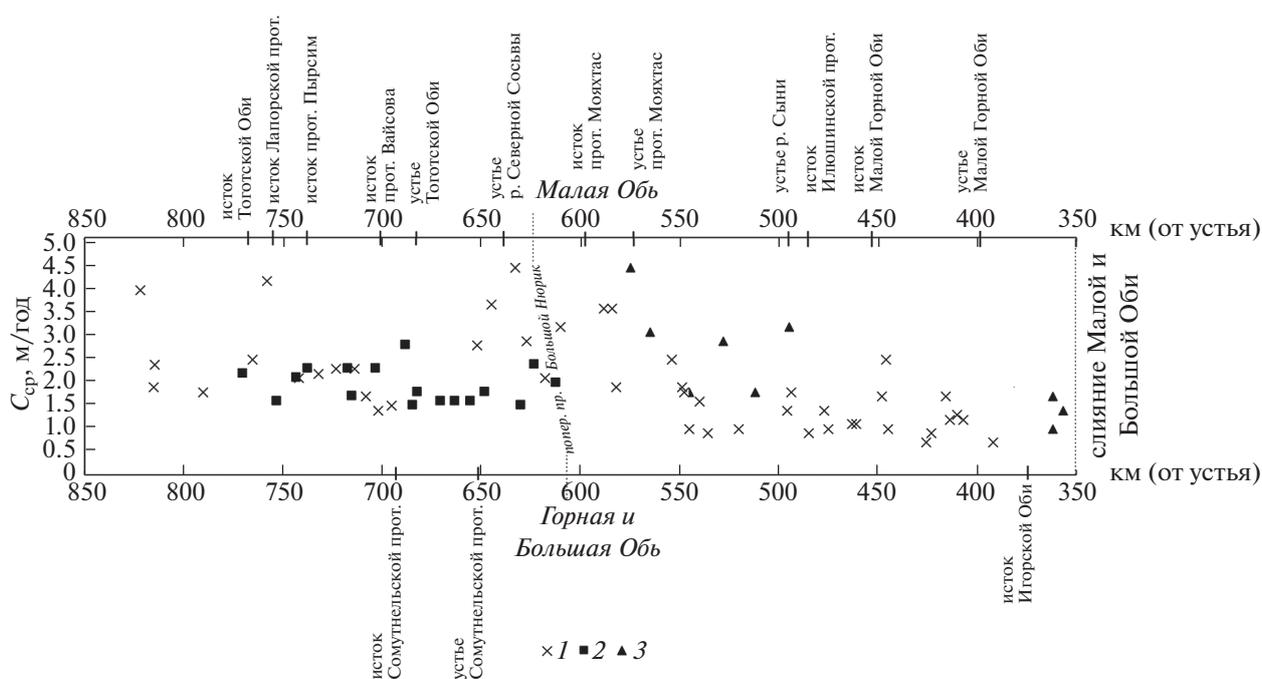


Рис. 5. Изменение средней скорости размыва берегов по длине рукавов раздвоенного русла нижней Оби. 1 — Малая Обь, 2 — Горная Обь, 3 — Большая Обь.

составляет 3.1 м/год, среднемаксимальная зафиксирована на одной из излучин — 26.6 м/год. Ниже ответвления Юганской Оби, а затем проток Бол. Салымской и Неулева в основном (правом) рукаве берега размываются примерно с той же средней скоростью — 3.2 м/год, тогда как среднемаксимальная несколько ниже — 17.6 м/год. В левых рукавах раздвоенного русла средней Оби из-за их меньшей водности скорости размыва берегов в 1.5–2 раза меньше: в Юганской Оби — 1.8 м/год, Бол. Салымской протоке — 1.9 м/год, протоке Неулева — 1.4 м/год, среднемаксимальные соответственно — 5.3, 4.2 и 3.1 м/год. Ниже слияния с р. Иртыш, где река течет вдоль правого коренного берега, скорость размыва берегов в среднем составляет 2.8 м/год, максимумы приурочены к левым рукавам одиночных разветвлений, образующим развитые излучины (например, в Сотниковском разветвлении — 16.6 м/год). В раздвоенном русле нижней Оби левый, протекающий преимущественно в пойменных берегах, рукав — Малая Обь, водность которого существенно сокращается вниз по течению, имеет средние скорости их размыва 2.3 м/год, среднемаксимальная — 10.1 м/год отмечена в одностороннем разветвлении, в котором прибрежные острова отклоняют стрежень потока к противоположному берегу. В правом рукаве — Горной Оби, испытывающей ограничивающее влияние правого коренного берега, скорости размыва берегов ниже (средняя — 1.9 м/год, среднемаксимальная —

6.8 м/год в одиночном разветвлении). В Тоготской Оби — рукаве, проходящем в центральной части поймы и забирающем больше половины стока Малой Оби (60%), скорости отступления берегов достигают 2.8 м/год, максимум зафиксирован на крутой излучине — 12.0 м/год. В правом рукаве — Большой Оби, которая, как и Горная Обь протекает вдоль правого коренного берега, средние и среднемаксимальные скорости размыва берегов несколько больше, чем на Горной Оби — 2.0 и 8.7 м/год, соответственно, из-за ее большей водности. На Малой Оби ниже протоки Бол. Нюрик вследствие меньшей ее водности, в том числе из-за рассредоточения стока по многочисленным протокам и ответвлениям Малой Горной Оби, средние скорости берегов снижаются до 1.4 м/год, среднемаксимальная составляет 10.7 м/год на свободной излучине. Ниже слияния Малой и Большой Оби берега размываются со средней скоростью 1.7 м/год, несмотря на наиболее высокую мощность потока (последний рукав раздвоенного русла — Игоровская Обь здесь забирает 20% стока), что связано с относительной прямолинейностью русла и рукавов русловых разветвлений.

Таким образом, вниз по течению средней и нижней Оби наблюдается общее снижение интенсивности размыва берегов на фоне (в нижнем течении) колебаний, связанных с рассредоточением стока и его перераспределением между рукавами раздвоенного русла (рис. 5). В верхней ча-

сти Малой Оби (до протоки Бол. Нюрик) она зависит от водности рукава и морфодинамического типа его русла. Темпы отступления берегов снижаются при оттоке воды в Тоготскую Обь, пойменные протоки (Лапорскую, Пырсим) и в протоку Вайсову до минимальных значений — 1.4 м/год после ответвления последней. Исключение составляет участок, где ответвляется Лапорская протока (4.2 м/год), в связи с местным активным развитием вновь сформировавшегося пойменно-руслового разветвления. Ниже слияния с Тоготской Обью, а затем и р. Сев. Сосьва размывы берегов возрастают только до 4.5 м/год. На Горной и Большой Оби заметное снижение темпов размыва берегов имеет место при отходе от нее Сомутельской протоки (до 1.5–1.8 м/год) по сравнению с участками выше и ниже по течению.

Перераспределение стока между Малой и Большой Обью в пользу последней привело к изменению интенсивности размыва берегов в рукавах раздвоенного русла. На Малой Оби происходит постепенное снижение размыва берегов по мере рассредоточения стока по пойменным протокам и ответвления левого рукава (Малой Горной Оби) до минимальных значений — 1.2 м/год. На Большой Оби ниже слияния с Бол. Ножиком скорости размыва возрастают до 4.5 м/год, но затем на большей ее части, где рукав располагается вдоль правого коренного берега, наблюдаются лишь локальные размывы левобережной поймы и только ниже ответвления Игорской Оби, где появляется правобережная пойма, скорости отступления берегов составляют 1.0–1.7 м/год.

На р. Кеть в раздвоенном русле средняя скорость размыва пойменных берегов на излучинах левого более многоводного рукава — собственно Кеть (1.7 м/год) такие, как и на излучинах выше по течению, но среднемаксимальные скорости заметно меньше — 3.6 против 6.1 м/год. В правом рукаве раздвоенного русла (Старая Кеть) средние и среднемаксимальные скорости размыва снижаются — 1.3 и 2.1 м/год соответственно.

На р. Казым скорости размыва берегов составляют 1.6 м/год (максимум 3.5 м/год). В раздвоенном русле левый рукав (его длина 72 км) — собственно Казым, в который впадают три притока, средняя скорость размыва берегов 1.8 м/год, среднемаксимальная — 4.9 м/год. В правом меньшем по водности рукаве — протоке Сорумказым они меньше в 1.5 и более раза — 1.3 (средняя) и 2.0 м/год (среднемаксимальная).

На нижнем Амуре, в Троицко-Иннокентьевском трех-четыреукавном раздвоенном русле правый, наиболее многоводный рукав, проходя вдоль или вблизи коренного берега, в основном имеет прямолинейное русло, остальные — в начале прямолинейное, а затем меандрирующее с развитыми и крутыми сегментными излучинами,

а в нижней части наиболее многоводного рукава — протоки Кафа разветвленно-извилистое. В Мариинском раздвоенном русле оба рукава характеризуются одиночными разветвлениями, правый рукав — Мариинская протока также пойменно-русловыми перед мысами правого коренного берега (у села Мариинского и горы Иркутской) и “дельтовым” в устье левого рукава — Старый Амур.

В раздвоенном русле нижнего Днестра более многоводная протока Турунчук имеет поровну прямолинейное неразветвленное русло и крутые синусоидальные излучины. В правом судоходном рукаве Днестра формируются сложные пальцевидные и крутые сегментные излучины с  $l/L \approx 2.0$  и радиусами кривизны 200–280 м (при ширине русла 120–150 м) [12].

### СТОК НАНОСОВ В РУКАВАХ РАЗДВОЕННЫХ РУСЕЛ

Распределение стока наносов в раздвоенных руслах — наименее изученный вопрос их режима и условий формирования. Известно только, что на нижней Волге [5] годовой сток взвешенных наносов Ахтубы существенно уступает таковому в правом рукаве — собственно Волге, составляя 0.15 млн т до создания Волгоградского гидроузла и 0.05 млн т в настоящее время (против соответственно 18.5 и 7.3 млн т на Волге). Однако мутность воды в обоих рукавах (Ахтубе и Волге) практически одинакова (0.30 и 0.32 г/м<sup>3</sup>). В 2019–2020 гг. впервые были получены сведения [11] о распределении мутности воды и стока взвешенных наносов во время половодья в раздвоенном русле нижней Оби. В узле разделения реки на Малую и Горную Обь мутность Малой Оби (56 г/м<sup>3</sup>), в которую поток направляется мысом правого коренного берега, выше, чем в Горной Оби, отходящей от Малой Оби почти по нормали. Расход взвешенных наносов в Малой Оби (765.9 кг/с) в 2.5 раза превышает таковой в Горной Оби (282.6 кг/с). Это различие сохраняется по всей длине раздвоенного русла, чему благоприятствуют расположение Горной Оби вдоль правого коренного берега и большая интенсивность русловых деформаций на Малой Оби, проявляющаяся в размывах пойменных берегов. Для Горной Оби характерны сравнительно небольшие колебания мутности (максимальные значения — 41 г/м<sup>3</sup>, минимальные — 25 г/м<sup>3</sup>). Мутность Малой Оби изменяется в широких пределах и повсеместно выше, чем на Горной Оби, изменяясь от 70.5 г/м<sup>3</sup> (максимальное значение) до 38.1 г/м<sup>3</sup> (минимальное значение) непосредственно ниже захода в протоку Вайсова. В узле разделения Малой и Тоготской Оби оба рукава существенно различаются по мутности (соответственно 53.9 и 36.0 г/м<sup>3</sup>), хотя вод-

ность последней в 1.5 раза больше: Тоготская Обь отходит от Малой Оби почти под прямым углом, располагаясь у вогнутого берега в вершине ее излучины. При этом сток наносов в половодье в обоих рукавах практически одинаков (301.5 и 301.3 г/м<sup>3</sup>). Очевидно, это отражает большую активность русловых деформаций в Малой Оби. В узле разделения Малой Оби и протоки Бол. Нюрик значения мутности практически одинаковы – соответственно 40.2 и 41.6 г/м<sup>3</sup>. Расход взвешенных наносов по длине протоки Бол. Нюрик (всего 24 км) увеличивается с 388 до 590 кг/с при росте водности более, чем в 2 раза, что связано со сливом в нее осветленных вод с затопленной поймы и из пойменных проток. Вдоль обоих основных рукавов раздвоенного русла на фоне существенных колебаний, определяемых местными условиями (наличием русловых разветвлений, ответвлением или впадением пойменных проток, сливом вод с затопленной поймы, размывами берегов и т.д.), прослеживается общее снижение мутности: на Малой Оби в верхней ее части преобладают значения более 50 г/м<sup>3</sup>, в нижней – 30–40 г/м<sup>3</sup>, на Горной Оби – от 40 до 30 г/м<sup>3</sup>. Это коррелирует с продольным изменением вдоль основных рукавов величин взвешенных наносов. На Малой Оби от захода в нее до ответвления протоки Вайсова включительно расход взвешенных наносов уменьшается более чем в 20 раз (при снижении расходов воды в 7 раз). Соответственно, аккумуляция наносов приводит к тому, что возрастает количество перекатов, которые, особенно ниже истока протоки Вайсова, лимитируют судоходство по глубине. Увеличение расхода воды в Малой Оби после слияния с Тоготской Обью, а затем с р. Сев. Сосьва (объединенный расход с обскими протоками Лапорской, Пырсим и Вайсова) более чем в 4 раза и соответствующий рост транспортирующей способности потока обуславливают повышение расхода взвешенных наносов почти в 6 раз (до 477.3 кг/с), но затем на коротком расстоянии к истоку протоки Бол. Нюрик он снижается до 140 кг/с.

Аналогичные изменения, но с меньшей амплитудой, происходят на Горной Оби. От захода в нее расходы взвешенных наносов снижаются, особенно сильно после ответвления Сомутнельской протоки. Ниже слияния с ней и увеличения расхода воды более чем в 2 раза он возрастает всего в 2.1 раза, но далее к слиянию с протокой Бол. Нюрик вновь уменьшается. Таким образом, для обоих рукавов раздвоенного русла нижней Оби характерно продольное уменьшение во время половодья стока взвешенных наносов.

Эти же тенденции проявляются ниже по течению. Однако, если средние значения мутности во время половодья на Большой и Малой Оби примерно одинаковы, то на последней отмечается

большой диапазон их изменений. Это объясняется тем, что на Малой Оби протяженность размываемых берегов более чем в два раза превышает их протяженность на Большой Оби. Многие пойменные протоки и несудоходные рукава в русловых разветвлениях выполняют наносотсасывающую роль, вследствие чего в них поступает большее количество взвешенных наносов (мутность в них превышает 65–70 мг/л, тогда как в основных рукавах он не более 30–40 г/м<sup>3</sup>). На этом фоне ниже захода в протоку Бол. Нюрик расход взвешенных наносов на Малой Оби в половодье продолжает уменьшаться и к слиянию с Большой Обью составляет 341 кг/с при мутности 30–40 г/м<sup>3</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования раздвоенных русел позволили установить, что условиями для их развития являются: 1) большая ширина реки, при которой ширина поймы более, чем в 10 раз превышает ширину русла, т.е.  $B_n > 10b_p$ ; 2) глубокое и длительное затопление поймы в многоводную фазу водного режима, сопровождающееся в это время прохождением руслоформирующих расходов воды; 3) направляющее воздействие выступов ведущих коренных берегов в начале расширения днища долины как дополнительный фактор раздвоения; в ряде случаев это обеспечивает маловодность одного из рукавов, отходящего за плечом ведущего берега; 4) прохождение рукавов в основном вдоль (или вблизи) коренных берегов (бортов долины), и лишь рукава вторичных раздвоений расположены в центральной части поймы.

Генетически на больших и крупнейших реках раздвоенные русла – результат эволюции русловых разветвлений или образования прорванных излучин в условиях очень широкой ( $B_n > 10b_p$ ), глубоко и на длительное время затопляемой поймы. Течения на пойме, концентрируясь вдоль староречий или отшнуровавшихся от реки бывших рукавов, обеспечивают их функционирование либо в виде относительно маловодных пойменных проток, либо при большой ширине поймы ( $B_n > 10b_p$ ) и особенно при направляющем воздействии на поток выступов и мысов коренных берегов – рукавов раздвоенного русла, соизмеримых по водности с основной рекой.

В низовьях рек (нижняя Волга, Днестр, Таз) раздвоенные русла представляют собой реликты дельтовых рукавов. Встречаются и некоторые другие условия их формирования: внутридолинные (внутрипойменные) перехваты стока протоками при наличии общей поймы, в узлах слияния больших рек, пойменные проточно-озерные разветвления. На малых реках они являются следствием аккумуляции наносов в предгорьях, внут-

ри- и межгорных котловинах при резком расширении днища долины и уменьшения уклонов.

Распределение стока, неодинаковая водность рукавов раздвоенных русел и ее изменения по их длине сказываются в формировании в каждом из них своего набора морфодинамических типов русел, в различных параметрах русловых форм (излучин, русловых разветвлений), интенсивности русловых деформаций, в том числе размывов берегов и в особенностях стока наносов, определяемых их водностью и ее изменениями по длине рукавов.

Полученные закономерности в основном при- сущи большим и крупнейшим рекам: малые и средние реки в отношении развития на них раздвоенных русел остаются практически пока неизученными.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Выполнено по планам НИР (госзадание) кафедры гидрологии суши (№ 121051400038-10) и НИЛаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Макавеева МГУ им. М.В. Ломоносова (№ 121051100166) (исходные материалы, классификация) при финансовой поддержке РНФ (проект № 18-17-00086 – натурные исследования, русловой анализ) и РФФИ (проекты № 20-35-90003/20 – размывы берегов и № 19-35-90101/19 – распределение стока и мутности воды в разветвлениях).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Великанов М.А. Русловой процесс (основы теории). М.: Госфизматгиз, 1958. 395 с.
2. Смирнова В.Г. Гидролого-морфологический анализ разветвленных русел рек Алтайского региона. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск: ИГ СО РАН, 2002. 20 с.
3. 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.
4. Русловой режим рек Северной Евразии. М.: Изд-во МГУ, 1994. 336 с.
5. Зайцев А.А., Иванов В.В., Коротаев В.Н., Лабутина И.А., Лукьянова С.А., Ли Цзунсянь, Римский-Корсаков Н.А., Рычагов Г.И., Свиточ А.А., Сидорчук А.Ю., Сычев В.В., Чернов А.В. Нижняя Волга: геоморфология, палеогеография и русловая морфодинамика. М.: ГЕОС, 2002. 242 с.
6. Атлас русловой морфодинамики Нижней Волги (Волгоград – Астрахань). М.: Изд-во МГУ, 2009. 232 с.
7. Махинов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Направленная аккумуляция наносов и морфология русла Нижнего Амура // Геоморфология. 1994. № 3. С. 70–78.
8. Махинов А.Н. Современное рельефообразование в условиях аллювиальной аккумуляции. Владивосток: Дальнаука, 2006. 232 с.
9. Завадский А.С., Зима Ю.В. Естественные и антропогенные изменения русла реки Аргунь (в свете ее пограничного положения) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2011. № 4. С. 4–16.
10. Чалов Р.С., Камышев А.А., Завадский А.С., Куракова А.А. Морфодинамика и гидролого-морфологическая характеристика русла средней Оби на широтном участке // География и природные ресурсы. 2021. № 2. С. 92–102.
11. Чалов Р.С., Камышев А.А., Куракова А.А., Завадский А.С. Особенности рассредоточения стока воды и взвешенных наносов в половодье в раздвоенном русле нижней Оби (в пределах ХМАО–Югры) // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 1. С. 22–33.
12. Беркович К.М., Злотина Л.В., Иванов В.В., Никитина Л.Н., Рязанов П.Н., Турькин Л.А., Чалов Р.С., Чернов А.В. Развитие русла среднего и нижнего Днестра в условиях интенсивной антропогенной нагрузки // Экологические проблемы эрозии почв и русловых процессов. М.: Изд-во МГУ. 1991. С. 141–164.
13. Борик С.А. Комплексные экспедиционные исследования и оценка влияния русловых процессов на гидрологический режим равнинной реки (на примере нижнего Днестра). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Одесса: ОГМИ, 1987. 17 с.
14. Горяинов В.В., Филиппов О.В., Плякин А.В., Золотарев Д.В. Волго-Ахтубинская пойма: особенности гидрографии и водного режима. Волгоград: Волгоград. науч. изд-во, 2004. 112 с.
15. Чалов Р.С., Чалова А.С., Голубцов Г.Б. О терминологии и классификации разветвлений равнинных рек // Геоморфология. 2021. Т. 52. № 3. С. 48–63. <https://doi.org/10.31857/S0435428121030032>
16. Чалов Р.С., Чалов С.Р. Структурные уровни и морфодинамическая классификация русловых разветвлений // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 3. С. 259–271. <https://doi.org/10.31857/S0321059620030049>
17. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 234 с.
18. Назаров Н.Н., Диарора Б., Дремин Д.А. Морфологические разновидности русла и условия их формирования на р. Нигер (Западная Африка) // Геоморфология. 2021. № 2. С. 3–13. <https://doi.org/10.31857/S0435428121020085>
19. Latrubesse E.M. Patterns of anabranching channel: the ultimate end-member adjustment of mega rivers // Geomorphology. Vol. 101. № 1–2. 2008. P. 130–145. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.035>
20. Эколого-географический атлас-монография “Селенга–Байкал” // Тр. Байкальской экспедиции. Вып. 1. / Гл. ред. Н.С. Касимов. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2019. 288 с.

21. *Ермакова А.С.* Руслоразветвление на реках Камчатки. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2009. 26 с.
22. *Голубцов Г.Б.* Гидролого-морфологическая характеристика островов разветвленных русел верхней Оби и средней Лены // Маккавеевские чтения – 2019. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2020. С. 21–32.
23. *Кортаев В.Н., Лодина Р.В., Чалов Р.С., Шутов А.М.* Формирование устьев рек Таза и Пура и рельефа дна для южной части Тазовской губы // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 5. М.: Изд-во МГУ, 1976. С. 140–153.
24. *Барышников Н.Б.* Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм. СПб.: РГТМУ, 2012. 426 с.
25. Руслоразветвление и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
26. *Чалов Р.С.* Руслоразветвление: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
27. *Чалов Р.С., Власов Б.Н., Лю Шугуан, Чжао Еань, Юй Вэньчоу.* Специфические формы разветвленного русла Янцзы и их эволюция // География и природные ресурсы. 2006. № 2. С. 151–158.
28. *Самохин М.А., Чалов С.Р.* Многолетний режим и принципы регулирования пойменно-озерных разветвлений (на примере Янцзы и Терека) // География и природные ресурсы. 2008. № 3. С. 17–25.
29. *Чалов Р.С., Чернов А.В.* Проблемы развития русла Амура в районе Амуро-Уссурийского водного узла // География и природные ресурсы. 2000. № 4. С. 93–98.
30. *Кортаев В.Н., Иванов В.В., Чалов Р.С.* Морфодинамика русла Нижней Волги // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 21. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2019. С. 170–192.

## Bifurcated channels of large and the largest rivers: conditions of formation, water runoff distribution and morphodynamics

R. S. Chalov<sup>a, #</sup>, A. A. Kurakova<sup>a</sup>, A. A. Kamyshev<sup>a</sup>, and N. M. Mikhaylova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: rschalov@mail.ru*

Bifurcated channels represent the highest structural level of channel branching in the large rivers and characterized by two equal channels that flow on the opposite sides of a very wide valley for tens and hundreds of kilometers. They form when the floodplain is 10 times wider than the channel, the entire floodplain is being inundated during flood stage, the branches are located near the sides of the valley, exposure of bedrock banks control discharge distribution between the channels. Their formation is usually accompanied by the development of numerous floodplain channels that provide hydraulic connection between the main branches. In some cases, bifurcated channels occur on small rivers. Typically bifurcated channels occur in the low reach close to the river mouth; or form as a result of stream capture by tributaries that share the same floodplain with the main river; or when river flowing out of the mountains to the plain, etc. There are differences in the development of branches of bifurcated channels, the distribution of morphodynamic types of channels; various riverbank erosion rates. These characteristics depend on the change in their water content, the morphodynamic type of the channel, the location in relation to the bedrock banks, as well as the effect of the distribution of discharge on sediment runoff and its longitudinal changes.

*Keywords:* channel processes, bifurcated channels, branches, distribution of water discharge, sediment runoff, riverbank erosion, floodplains, floodplain channels

### ACKNOWLEDGEMENTS

The paper is prepared according to the plan of scientific research of the Department of Land Hydrology (No. 121051400038-10) and the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes (No. 121051100166) with financial support of the Russian Science Foundation (projects No. 18-17-00086) and Russian Foundation of Basic Research (project No. 20-35-90003/20, No. 19-35-90101/19).

### REFERENCES

1. Velikanov M.A. *Ruslovoi protsess (osnovy teorii)* (Channel process (fundamentals of theory)). М.: Gosfizmatgiz (Publ.), 1958. 395 p.
2. Smirnova V.G. *Gidrologo-morfologicheskii analiz razvetvlenykh rusel rek Altaiskogo regiona* (Hydrological and morphological analysis of branched river channels of the Altai region). PhD thesis. Irkutsk: IG SO RAN (Publ.), 2002. 20 p.

3. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 1. Ruslovyie protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* (Riverbed science: theory, geography, practice. Vol. 1: Riverbed processes, mechanism, forms of manifestations and conditions of formations of riverbeds). M.: LKI (Publ.), 2008. 608 p.
4. *Ruslovoi rezhim rek Severnoi Evrazii* (Channel regime of the rivers of Northern Eurasia). M.: MGU (Publ.), 1994. 336 p.
5. Zaitsev A.A., Ivanov V.V., Korotaev V.N., Labutina I.A., Luk'yanova S.A., Li Tszunyan', Rimskii-Korsakov N.A., Rychagov G.I., Svitoch A.A., Sidorchuk A.Yu., Sychev V.V., and Chernov A.V. *Nizhnaya Volga: geomorfologiya, paleogeografiya i ruslovaya morfodinamika* (Lower Volga: geomorphology, paleogeography and channel morphodynamics). M.: GEOS (Publ.), 2002. 242 p.
6. *Atlas ruslovoi morfodinamiki Nizhnei Volgi (Volgograd – Astrakhan')* (Atlas of channel morphodynamics of the Lower Volga (Volgograd – Astrakhan)). M.: MGU (Publ.), 2009. 232 p.
7. Makhinov A.N., Chalov R.S., and Chernov A.V. *Napravlennoye akkumulyatsiya nanosov i morfologiya rusla Nizhnego Amura* (Progressive alluviation and channel morphology in the lower reaches of the Amur River). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1994. No. 3. P. 70–78. (in Russ.)
8. Makhinov A.N. *Sovremennoe rel'efoobrazovanie v usloviyakh allyuvial'noi akkumulyatsii* (Modern relief formation under conditions of alluvial accumulation). Vladivostok: Dalnauka (Publ.), 2006. 232 p.
9. Zavadskii A.S. and Zima Yu.V. *Estestvennye i antropogennye izmeneniya rusla reki Arguni (v svete ee pogranichnogo polozheniya)* (Natural and anthropogenic changes in the channel of the Argun River (in the light of its border position)). *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*. 2011. No. 4. P. 4–16. (in Russ.)
10. Chalov R.S., Kamyshev A.A., Zavadskii A.S., and Kurakova A.A. *Morfodinamika i gidrologo-morfologicheskaya kharakteristika rusla srednei Obi na shirotnom uchastke* (Morphodynamics and hydrologic-morphological characteristics of the middle Ob riverbed at the latitudinal stretch). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2021. No. 2. P. 92–102. (in Russ.)
11. Chalov R.S., Kamyshev A.A., Kurakova A.A., and Zavadskii A.S. *Osobennosti rassredotocheniya stoka vody i vzveshennykh nanosov v polovod'e v razdvoennom rusle nizhnei Obi (v predelakh KhMAO–Yugry)* (The Distribution of Water and Suspended Sediment Flow during Spring Flood in the Forked Channel of the Lower Ob (within Khanty-Mansi Autonomous Area)). *Vodnye resursy*. 2021. Vol. 48. No. 1. P. 22–33. (in Russ.)
12. Berkovich K.M., Zlotina L.V., Ivanov V.V., Nikitina L.N., Ryazanov P.N., Turykin L.A., Chalov P.C., and Chernov A.B. *Razvitie rusla srednego i nizhnego Dnestra v usloviyakh intensivnoi antropogennoi nagruzki* (Development of the riverbed of the middle and lower Dniester under conditions of intense anthropogenic load). *Ekologicheskie problemy erozii pochv i ruslovykh protsessov*. M.: MGU (Publ.), 1991. P. 141–164. (in Russ.)
13. Borik S.A. *Kompleksnye ekspeditsionnye issledovaniya i otsenka vliyaniya ruslovykh protsessov na gidrologicheskii rezhim ravninnoi reki (na primere nizhnego Dnestra)* (Complex expeditionary studies and assessment of the influence of channel processes on the hydrological regime of a plain river (case study of the lower Dniester)). PhD thesis. Odessa: OGMI (Publ.), 1987. 17 p.
14. Goryainov V.V., Filippov O.V., Plyakin A.V., and Zolotarev D.V. *Volgo-Akhtubinskaya poima: osobennosti gidrografii i vodnogo rezhima* (Volga-Akhtubinskaya floodplain: features of hydrography and water regime). Volgograd: Volgograd (Publ.), 2004. 112 p.
15. Chalov R.S., Chalova A.S., and Golubtsov G.B. *O terminologii i klassifikatsii razvetvlenii ravninnykh rek* (To the classification of braided channels of plain rivers). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2021. Vol. 52. No. 3. P. 48–63. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0435428121030032>
16. Chalov R.S. and Chalov S.R. *Strukturnye urovni i morfodinamicheskaya klassifikatsiya ruslovykh razvetvlenii* (Structural levels and morphodynamic classification of channel braiding). *Vodnye resursy*. 2020. Vol. 47. No. 3. P. 259–271. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0321059620030049>
17. Chalov R.S. *Geograficheskie issledovaniya ruslovykh protsessov* (Geographic studies of channel processes). M.: MSU (Publ.), 1979. 232 p.
18. Nazarov N.N., Diarora B., and Dremin D.A. *Morfologicheskie raznovidnosti rusla i usloviya ikh formirovaniya na r. Niger (Zapadnaya Afrika)* (Morphological varieties of the channel and the conditions of their formation on the Niger river (West Africa)). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2021. № 2. P. 3–13. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0435428121020085>
19. Latrubesse E.M. Patterns of anabranching channel: the ultimate end-member adjustment of mega rivers. *Geomorphology*. Vol. 101. № 1–2. 2008. P. 130–145. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.035>
20. *Ekologo-geograficheskii atlas-monografiya “Selenga – Baikal”*: Trudy Baikalskoi ekspeditsii. Vyp. 1. (Environmental Atlas-monograph “Selenga-Baikal”: Selenga – Baikal expedition. Vol. 1). N. S. Kasimov (Ed.). M.: Geographical faculty MSU (Publ.), 2019. 288 p.
21. Ermakova A.S. *Ruslovyie protsessy na rekakh Kamchatki* (Channel processes on the rivers of Kamchatka). PhD thesis. M.: MSU (Publ.), 2009. 26 p.
22. Golubtsov G.B. *Gidrologo-morfologicheskaya kharakteristika ostrovov razvetvlenykh rusel verkhnei Obi i srednei Leny* (Hydrological and morphological characteristics of the branched-channel islands of the upper Ob and middle Lena). *Makkaveevskie chteniya*. 2019. M.: MGU (Publ.), 2020. P. 21–32. (in Russ.)
23. Korotaev V.N., Lodina R.V., Chalov R.S., and Shutov A.M. *Formirovanie ust'ev rek Taza i Pura i rel'efa dna dlya yuzhnoi chasti Tazovskoi guby* (Forma-

- tion of the mouths of the Taza and Pura rivers and the bottom relief for the southern part of the Taz Bay). *Eroziya pochv i ruslovyye protsessy*. Vol. 5. M.: MGU (Publ.), 1976. P. 140–153.
24. Baryshnikov N.B. *Problemy morfologii, gidrologii i gidravliki poim* (Problems of morphology, hydrology and hydraulics of floodplains). SPb.: RGGMU (Publ.), 2012. 426 p.
25. *Ruslovyye protsessy i vodnye puti na rekakh Ob'skogo basseina* (Channel processes and waterways on the rivers of the Ob basin). Novosibirsk: RIPEL plyus (Publ.), 2001. 300 p.
26. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 2 Morfodinamika rechnykh rusel* (Riverbed science: theory, geography, practice. Vol. 2: Morphodynamics of river channels). M.: KRASAND (Publ.), 2011. 960 p.
27. Chalov R.S., Vlasov B.N., Lyu Shuguan, Chzhao Ean', and Yui Ven'chou. *Spetsificheskie formy razvetvlennogo rusla Yantszy i ikh evolyutsiya* (Specific forms of the Yangtze branched channel and their evolution). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2006. No. 2. P. 151–158. (in Russ.)
28. Samokhin M.A. and Chalov S.R. *Mnogoletnii rezhim i printsipy regulirovaniya poimennenno-ozernykh razvetvlenii (na primere Yantszy i Tereka)* (Long-term regime and principles of regulation of floodplain-lake braiding (on the example of Yangtze and Terek)). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2008. No. 3. P. 17–25. (in Russ.)
29. Chalov R.S. and Chernov A.V. *Problemy razvitiya rusla Amura v raione Amuro-Ussuriiskogo vodnogo uzla* (Problems of the development of the Amur channel in the area of the Amur-Ussuriysky water hub). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2000. No. 4. P. 93–98. (in Russ.)
30. Korotaev V.N., Ivanov V.V., and Chalov R.S. *Morfodinamika rusla Nizhnei Volgi* (Morphodynamics of the channels of the Lower Volga). *Eroziya pochv i ruslovykh protsessov*. Vol. 21. M.: MGU (Publ.), 2019. P. 170–192. (in Russ.)