

---

---

УДК 551.4.01:551.435.1

## ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТИПИЗАЦИИ РЕЧНЫХ РУСЕЛ

© 2020 г. Р. С. Чалов\*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,  
Москва, Россия*

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

Поступила в редакцию 02.03.2018 г.

После доработки 11.11.2019 г.

Принята к публикации 17.12.2019 г.

Анализ существующих, наиболее распространенных классификаций (типизаций) речных русел показывает, что практически во всех подходах к их разработке, вне зависимости от методологической основы, присутствует морфогенетическая составляющая. При ограничении всего многообразия условий развития русел рек одной, или двумя-тремя причинами их формирования сужаются возможности руслового анализа, затрудняется выявление основных закономерностей русловых деформаций, также как и управления русловыми процессами при решении практических задач. На примере р. Оби дана оценка изменений морфологии и динамики русла по длине реки как следствия многофакторности русловых процессов. Основное внимание уделено морфодинамической классификации речных русел МГУ, характеризующейся наиболее полным учетом их морфологии и режима русловых деформаций. Имея блоковую структуру, отражающую последовательность структурных уровней проявления русловых процессов (горные и равнинные реки как отражение различной кинетичности потоков и формы транспорта наносов, врезанные и широкопойменные русла, формирующиеся в различных геолого-геоморфологических условиях, собственно морфодинамические типы русла – извилистые, меандрирующие, разветвленные и относительно прямолинейные, неразветвленные при разнообразии их разновидностей и т.д.), она демонстрирует сложные взаимосвязи между ними. Учет в дополнительных блоках устойчивости русла, крупности руслообразующих наносов, направленности вертикальных русловых деформаций (врезание/аккумуляция наносов) и антропогенной измененности русел придает ей универсальный характер, дает возможность для региональных обобщений, картографирования территорий и бассейнов рек, служит основой для решения задач управления русловыми процессами при водохозяйственном и воднотранспортном использовании рек.

*Ключевые слова:* русловые процессы, типы русел, генезис, классификация, излучины, разветвления, относительно прямолинейное русло, врезанные и широкопойменные русла, наносы

**DOI:** 10.31857/S0435428120020030

## ВВЕДЕНИЕ

Вопросы генезиса, условий формирования речных русел разного морфодинамического типа, их гидролого-морфологические и гидроморфометрические характеристики, соотношения с определяющими факторами русловых процессов неуклонно привлекают внимание исследователей, возрастающее в последние десятилетия в связи с происходящими глобальными гидроклиматическими изменениями и антропогенными воздействиями на реки. От их решения зависят объективность прогнозных оценок возможных переформирований русел, увеличения или уменьшения параметров рус-

ловых форм — вплоть до трансформации одного типа русла (или его разновидности) в другой — и соответственно проектирование водохозяйственных и водотранспортных мероприятий, разрабатываемых для предотвращения негативных последствий русловых деформаций и их изменений, рационального использования водных ресурсов и эксплуатации рек в качестве водного пути сообщения, обеспечения гидроэкологической безопасности и оптимального управления русловыми процессами. Типизация русел рек — важнейшая составная часть такого подхода. С одной стороны, она учитывает многообразие форм проявлений русловых процессов, их различий на малых, средних, больших и крупнейших, горных и равнинных реках, протекающих в разных природных условиях и геолого-геоморфологических обстановках. А с другой — она обоснована для каждого типа русел гидролого-морфологическими зависимостями, и отражает их генезис, морфологию, стадийность развития, режим многолетних и вековых перестроений.

Существующие классификации (типизации) русел и русловых процессов опираются на различные методологические подходы, региональный или имеющийся в распоряжении исследователей материал (базу данных), используют разную терминологию. Наиболее распространенные отечественные классификации разработаны в ГГИ [1] и МГУ [2–4]. Последняя, по мнению Н.Б. Барышникова [5], является наиболее полной, но, поскольку первая вошла во многие нормативные документы, ей отдается предпочтение. Обзор и анализ отечественных и некоторых зарубежных классификаций были выполнены автором [4, 6], М.С. Карасевым и Б.И. Гарцманом [7], Н.Б. Барышниковым [5]. А.Ю. Сидорчук [8] обратил внимание на генезис основных русловых форм (излучин, разветвлений), связав их образование, вслед за автором [9, 10] с гидродинамической неустойчивостью прямолинейного движения потока и развитием грядовых форм руслового рельефа.

Остановимся на оценке морфогенетических основ формирования и динамики русловых форм, определяющих их типологию в основных отечественных классификациях (ГГИ, МГУ), а среди зарубежных — в классификации, предложенной Д. Росгеном [11]. Не претендуя на полноту освещения проблемы, ее рассмотрение позволит, несмотря на возможную дискуссионность, сблизить существующие подходы и определить пределы применимости тех или иных подходов.

## ГЕНЕЗИС И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РУСЕЛ РАЗНОГО ТИПА

Уже в первой и наиболее общей классификации речных русел, предложенной К.И. Россинским и И.А. Кузьминым [12], был заложен принцип морфологической и генетической независимости трех основных типов русел: 1. Извилистого (морфология), меандрирующего (динамика). 2. Разветвленного, блуждающего. 3. Относительно прямолинейного неразветвленного, периодически расширяющегося по мере смещения перекатов. Каждому из них соответствуют определенная структура потока и режим деформаций. В таком подходе было узаконено то, что уже неоднократно отмечалось в литературе, начиная с работ основоположников учения о русловых процессах В.М. Лохтина и Н.С. Лелявского — независимое существование трех основных типов русла. При этом генетический принцип сводился к механизмам последующей эволюции форм русел — излучин, разветвлений, прямолинейных; причина возникновения излучин, разветвлений или сохранения руслом прямолинейных очертаний оставалась за скобками.

В это же время (середина XX века) появляются статьи преимущественно в геолого-геоморфологической литературе (работы Е.В. Шанцера, В.В. Ламакина, а позднее И.П. Карташова, Ю.А. Лаврушина), в которых ставится вопрос — почему одни реки меандрируют, а другие разветвляются на рукава. При этом а priori дается ответ на него: разветвления связаны с аккумуляцией наносов, формирование излучин — с глубин-

ной эрозией (врезанием) рек. Однако уже тогда Н.И. Маккавеев [13] (сначала теоретически, а затем экспериментально [14]) доказал, что морфология и динамика (горизонтальные или плановые деформации) русел и развитие продольного профиля реки (врезание или систематическая аккумуляция/накопление наносов, т.е. вертикальные русловые деформации) – два автономных друг по отношению к другу явления (процесса), имеющие разную природу, формы проявления, соотношение с направлением силы тяжести (отсюда и предложенные в соответствии с этим термины [2] – горизонтальные и вертикальные деформации) но, тем не менее, оказывающие друг на друга взаимное влияние (спрямление излучин сопровождается местным врезанием русла, врезание разветвленного русла – обмелением маловодных рукавов и их отмиранием и т.д.). Близкого мнения придерживался Н.А. Ржаницын [15], связавший встречаемость меандрирующих и разветвленных русел как с условиями боковой эрозии (горизонтальные деформации), так и с вертикальными деформациями (глубинной эрозией, аккумулятивными процессами).

М.А. Великанов [16] обратил внимание на то, что разветвленность русел присуща, главным образом, большим и крупнейшим рекам, возникая вследствие большой их ширины и распластанности потока. Н.А. Ржаницын [17] показал, что распластанность потока и стремление его к разветвленности зависят от соотношения глубины и ширины русла  $h/b_p$ , которая увеличивается от малых к большим рекам (от 1-го до 9–13-го порядка, по системе кодировки Н.А. Ржаницына) в 10–100 раз. Согласно лабораторным опытам А.И. Лосиевского [18], в широком, относительно мелком русле течение потока неоднородно, разделяется на две и более динамические оси, между которыми находятся зоны замедленного течения, где аккумулируются наносы и образуются осередки, являющиеся основой формирования разветвленного русла. И.Ф. Карасев [19] теоретически обосновал “критерий квазиоднородности потока”:

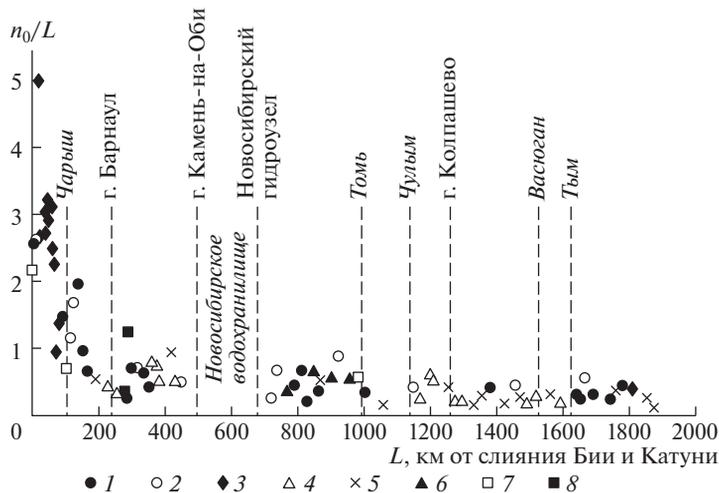
$$\theta = \frac{b_p}{h} \sqrt{\lambda},$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлических сопротивлений,  $C$  – коэффициент Шези,  $n$  – коэффициент шероховатости русла. В руслах малых рек  $\theta < 4.5$ , на средних реках  $4.5 < \theta < 9.5$ , на больших и крупнейших  $\theta > 9.5$ . В последнем случае в потоке образуется две и более ветви течения, между которыми скорости меньше. При достаточно большом стоке наносов здесь формируются осередки, которые при зарастании превращаются в острова, создающие разветвленные русла. При  $\theta < 4.5$  в потоке выделяется четко выраженный стрежень (динамическая ось потока), в промежуточных условиях (средние реки) – широкая стрежневая зона потока. Однако подобные соотношения  $b_p/h$  и значения  $\theta$  могут возникать не только на больших и крупнейших реках. Они встречаются и на малых и средних реках там, где происходит резкая смена геолого-геоморфологического строения долины реки и ограниченных на свободные условия развития русловых деформаций, соответственно, смена врезанных русел широкопойменными, особенно если это сопровождается изменением уклонов реки. В таких случаях, а также в местных расширениях русла происходит не аккумуляция наносов, как это обычно трактуется, а изменение формы их транспорта при сохранении общей величины стока наносов. Перемещение транзитом взвешенных или в безрядовой форме донных (велокомых) наносов во врезанном русле, где в соответствии с уравнением неразрывности  $Q = \omega V$  из-за стеснения потока скорости потока  $V$  существенно больше, чем в расширениях, сменяется рядовым движением наносов с образованием сложной иерархии аккумулятивных форм руслового рельефа – от самых крупных (побочной, осередков, перекатов) до микро- и ультрамикроморф. В итоге в этих условиях (а также в зонах подпора потока половодья выше слияния с однопорядковыми притоками, перед резким сужением днища долины и т.д.) формируются разветвленные русла.

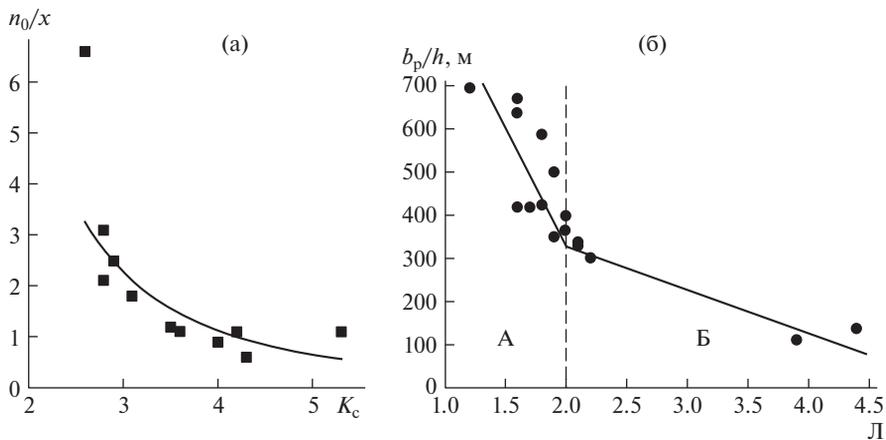
К эффекту, подобному влиянию увеличения водности рек, приводит снижение устойчивости русел. Н.И. Маккавеев [20] установил обратную зависимость между параметрами излучин и показателями устойчивости, впоследствии многократно подтвержденную натурными исследованиями [10]; при наиболее низких значениях (слабоустойчивое и неустойчивое русло) излучины не возникают, формируется разветвленное русло. С. Шумм [21] в связи с этим расположил типы русла в обратной последовательности по отношению к устойчивости (стабильности) русла: прямолинейные, стабильные → прямолинейные, со смешивающимися побочными → меандрирующие стабильные → меандрирующие, относительно стабильные, с обширными отмелями у выпуклых берегов, их отторжением, смещением излучин и их спрямлением → → разветвленные извилистые, нестабильные → многорукавные нестабильные.

Увеличение водности рек по их длине, изменение уклонов и устойчивости русла, его ширины  $b_p$ , глубины  $h$ , соответственно  $b_p/h$ , геолого-геоморфологических условий развития русловых деформаций на разных участках и стока наносов, т.е. постоянная морфогенетическая изменчивость условий формирования русел, определяют сложную картину чередования форм проявления русловых процессов и русловых режимов, как в разных бассейнах или регионах, так и на конкретных реках, тем большего, чем больше река, ее бассейн или регион. Во всех случаях необходимым условием развития излучин или разветвлений являются достаточно большой сток влекомых наносов, обеспечивающий формирование прирусловых отмелей (побочной, осередков), возможность их закрепления растительностью и превращение в пойменные шпоры или острова.

Наглядный пример неоднозначности причин смены морфодинамического типа русла и режима его деформаций дают Обь и ее составляющие Бия и Катунь. На последних горные типы русла чередуются во внутригорных котловинах с полугорными, врезанные излучины и прямолинейное врезанное русло сменяется сложными разветвлениями (по классификации МГУ [2, 4] – разбросанными, по классификации ГГИ [1] – пойменной многорукавностью). Такая же смена происходит в низовьях этих рек, при выходе их из гор в предгорья Алтая, причем ближе к слиянию обе реки становятся равнинными, неразветвленными. Ниже их слияния Обь [2, 22] характеризуется сначала наиболее сложными параллельно-рукавными разветвлениями, образованными многочисленными небольшими островами, а затем все более простыми их разновидностями, чередующимися на верхней Оби с участками извилистого (меандрирующего) русла. Последние уже преобладают ниже слияния Оби с Томью, где до г. Нижневартовска встречаются лишь отдельные простые одиночные или пойменно-русловые разветвления (рис. 1). При этом степень разветвленности (морфологической сложности) русла  $n_o/l$  (здесь  $n_o$  – количество островов на участках длиной  $l$ ) находится в обратной зависимости от устойчивости русла – коэффициента стабильности Н.И. Маккавеева  $K_c$  (рис. 2, а). Соответственно и относительная ширина русла  $b_p/h$  зависит от его устойчивости. На графике (рис. 2, б) в качестве ее показателя принято число Лохтина  $L$ , которое в отличие от  $K_c$ , не содержит в себе ширину русла  $b_p$ , что позволяет исключить ложную корреляцию; в то же время известно, что  $L$  и  $K_c$  тесно коррелируют между собой. Увеличение ширины русла вниз по течению реки происходит только ниже слияния с р. Чарыш; от слияния Бии и Катунь до устья Чарыша водность Оби практически постоянная и  $b_p$  полностью определяется устойчивостью русла. Излучины русла встречаются еще ниже по течению – ниже устья р. Аляя, где русло становится относительно устойчивым. Сопоставление графиков  $b_p \sim l$ , соответствующих меандрирующему и относительно прямолинейному неразветвленному типам русла, показывает, что для первого (рис. 3, а), там, где русло неустойчивое и слабо устойчивое, характерно уменьшение ширины русла по течению реки, а затем ширина неуклонно растет, но лишь ниже устья р. Томи (водность реки увеличилась почти вдвое) она достигает зна-

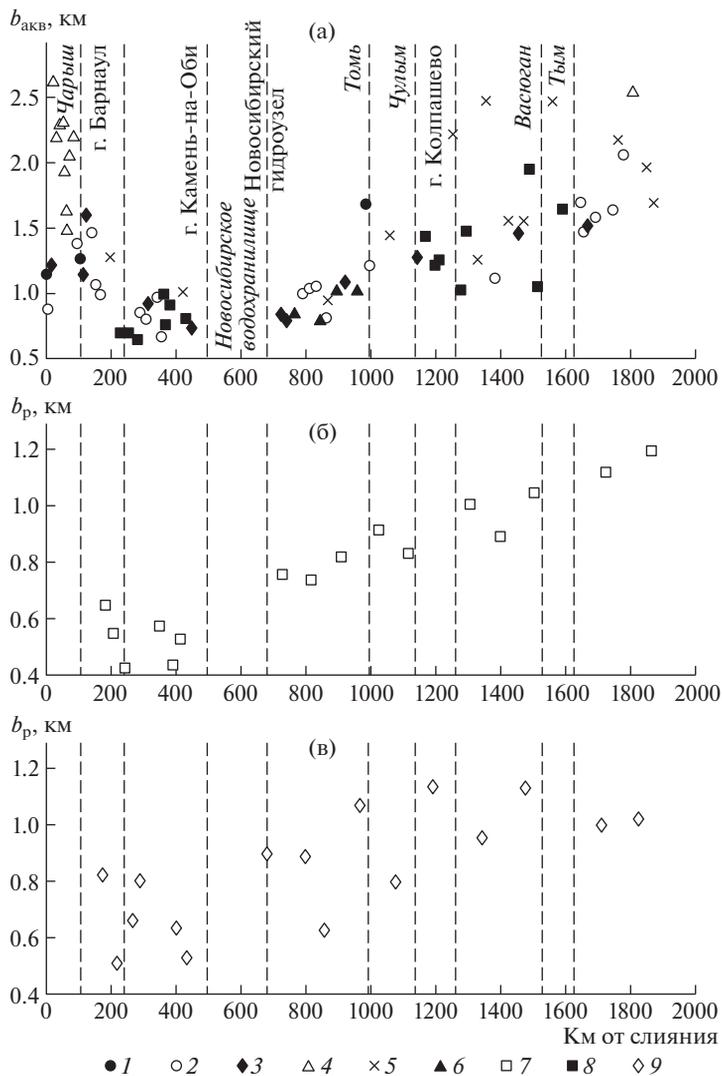


**Рис. 1.** Изменение степени разветвленности русла  $n_0/x$  ( $n_0$  – количество островов на участке длиной  $x$ ) по длине реки на верхней и средней Оби (от слияния Бии и Катуня до г. Нижневартовска).  
 Типы разветвлений: 1 – одиночные, 2 – односторонние, 3 – параллельно-рукавные, 4 – на прорванных излучинах, 5 – пойменно-русловые, 6 – сопряженные, 7 – в узлах слияния рек, 8 – в привершинных частях излучин (по А.А. Камышеву [22]).



**Рис. 2.** Влияние устойчивости русла верхней Оби (коэффициент Н.И. Маккавеева  $K_c$  и число Лохтина  $L$ ) на степень разветвленности русла  $n_0/x$  (а) и относительную его ширину  $b_p/h$  (б).  
 Усл. обозначения см. рис. 1.

чений, близких к верховьям Оби. На излучинах русла (рис. 3, б) повсеместно ширина в 2–3 раза меньше, чем в разветвлениях, причем независимо от их типа прослеживается единая тесная связь (коэффициент корреляции 0.8)  $b_p \sim l$ . В прямолинейном русле (рис. 3, в) изменение  $b_p$  по длине реке (увеличение водности) в целом соответствует извилистому, но коэффициенты в зависимости  $b_p/h$ , меньше, если русло имеет плесо-



**Рис. 3.** Изменение по длине верхней и средней Оби ширины русла в разветвленном (без островов)  $b_{акв}$  – (а), на излучинах  $b_p$  – (б), относительно прямолинейном, неразветвленном  $b_p$  (верхняя группа точек – с осередками и островами второго порядка, нижние – без них) – (в).

*Разветвления:* 1 – дельтовые (в узлах слияния рек), 2 – одиночные, 3 – односторонние, 4 – параллельно-рукавные, 5 – пойменно-русловые, 6 – сопряженные; *излучины:* 7 – свободные, 8 – прорванные; 9 – прямолинейное неразветвленное русло.

вый характер (устойчивое), и больше у перекаточного или при развитии вторичных разветвлений (слабо устойчивое).

Таким образом, можно говорить о многофакторности формирования на Оби разных типов русла. При однородности геолого-геоморфологических факторов, обуславливающих по всей реке свободные условия для развития русловых деформаций, формируется (от слияния Бии и Катуня до устья) широкопойменное русло. Подобные



Рис. 4. Лестница террас в шпоре врезанной излучины р. Алабуги (Тянь-Шань). Фото автора.

условия характерны практически для всех рек Западной Сибири, в том числе стекающих с гор, обрамляющих ее на западе и юго-востоке. В других регионах такие условия встречаются только на малых и средних реках.

Во врезанном русле, свойственном ограниченным условиям развития русловых деформаций, преобладают извилистые (врезанные излучины) и прямолинейные русла, но на больших реках встречаются, а иногда даже широко распространены разветвления (средняя Лена, Ангара, Енисей, Сев. Двина, нижний Амур и др.). Однако разнообразие разветвлений у них существенно меньше, преобладают крупные острова, размеры которых намного больше, чем при тех же характеристиках стока воды и наносов в широкопойменном русле. Это объясняется большей, а иногда очень высокой (при галечно-валунном составе наносов) устойчивостью русел, а также при врезании рек — более активной глубинной эрозией в многоводных рукавах, тогда как маловодные со временем обсыхают, острова объединяются в крупные островные массивы. Имеет значение и существенно меньшая (при прочих равных условиях) ширина русла, соответственно, большая величина удельного руслоформирующего расхода воды (особенно при отсутствии поймы) в многоводную фазу водного режима и, как следствие, высокая транспортирующая и эрозионная способность потока. Результат абсолютного преобладания глубиной эрозии — появление у островов и в шпорах излучин коренных цоколей. Последние превращаются в высокие, не затопляемые, даже в самые высокие половодья (паводки) скульптурные острова (на Ангаре их высота достигает 60 м в параллельно-рукавных разветвлениях [23]), или в лестницу цокольных террас на излучинах (рис. 4). На средней Лене, нижнем Амуре, Сев. Двине выше устья Ваги, Мезени, Ангаре разветвления русла представлены параллельно-рукавным типом, отличающимся от широкопойменного очень большими размерами вытянутых вдоль реки цепочек островов, имеющих, как правило, коренной цоколь.

Врезанные русла, вне зависимости от их морфологического типа, относятся к категории практически недеформируемых, устойчивых и абсолютно устойчивых [4], стабилизированных геологическим строением и рельефом территории, по которой протекают реки. Изменения их форм настолько замедленны, что проявляются только на протяжении геологических отрезков времени, выражаясь в постепенном отступании подмываемых берегов и столь же медленном росте противоположных (горизонтальные деформации по темпам соизмеримы с вертикальными или даже меньше их). Имеющиеся данные о скоростях размыва таких берегов единичны и относятся к широко-

пойменным прямолинейным руслам, проходящим вдоль них. По наблюдениям Е.В. Трепетцова [24] на верхней Оби 100-метровый уступ Приобского степного плато, сложенного лессовидными суглинками (!), отступает в год не более чем на 3 см; еще медленнее идет размыв правого коренного берега Сев. Двины (от слияния Юга и Сухоны до устья Вычегды), сложенного песчаниками и аргиллитами пермо-триаса — 1 см/год [25]. Формы врезанного русла поэтому оказываются “законсервированными”, и изменения природных условий в течение столетних, тысячелетних и геологических отрезков времени не сопровождаются трансформациями русел, и, если и сказываются на русловых процессах, то проявляются в основном не в морфологии самого русла, а в его рельефе (гряды разных размеров) или в развитии форм русла второго и даже третьего порядков.

В отличие от врезанного русла широкопойменные подвержены постоянным трансформациям как при многолетних периодических, так и при направленных вековых и более продолжительных изменениях водности и стока наносов. В первом случае они носят также периодический характер, во втором — приводят к изменениям морфодинамического типа русла [26] (извилистое русло становится разветвленным, происходит усложнение разветвлений и наоборот), увеличиваются или уменьшаются параметры форм русла. Излучины меандрирующих рек Европейской части России, в зависимости их от большей или меньшей водности, в разные периоды верхнего плейстоцена—голоцена, имели большие или меньшие размеры, по сравнению с современными [27].

Из изложенного выше можно сделать вывод о многофакторности причин и условий формирования русел одного и того же морфодинамического типа, возникающих даже в различных условиях: устойчивости русла, водоносности реки, величине стока наносов, во врезанном или широкопойменном русле. Общим является неустойчивость прямолинейного движения потока [19, 28, 29]. С этим связана малая распространенность прямолинейных русел. При достаточном стоке наносов и образовании крупных аккумулятивных грядовых форм руслового рельефа (макроформ) происходит закрепление первичного изгиба стрежня (извилины динамической оси, по Н.И. Маккавееву [13, 20]) и возникновение соответствующей структуры потока при обсыхании прирусловой отмели в межень или на спаде паводка (половодья) [4, 9]. Необходимым условием развития излучин и сохранения свойственной им структуры потока — не только при обсыхании макроформ в межень, но и в многоводную фазу водного режима — является зарастание побочной растительностью и, как следствие, превращение их в пойменные шпоры. Это определяет динамическую устойчивость излучин и их дальнейшую эволюцию — последовательное изменение их формы и параметров, переход от одной стадии развития к другой (пологая → развитая → крутая → петлеобразная). То же самое происходит, если крупная грядовая форма рельефа имеет вид осередка, но тогда при его зарастании начинает развиваться русловое разветвление.

Представления о подобном генезисе излучин и разветвлений, полученные на основе анализа обширного натурального материала [2, 4, 9], подтверждены гидрологическими расчетами, выполненными А.Ю. Сидорчуком [8]. Однако он ограничился только широкопойменными руслами, хотя, как это было показано выше, разветвления оказываются характерными для врезанных русел. Также нельзя согласиться с утверждениями, что “макроформам соответствуют как самые большие грядовые русловые формы — побочни и осередки (т.е. собственно макроформы руслового рельефа — *Р. Ч.*), так и стабилизированные растительностью и пойменным наилком острова и излучины, которые определяют уже форму всего русла” [8, с. 327]. Может быть это отчасти справедливо по отношению к малым рекам, но на средних и больших прирусловые отмели у выпуклых берегов излучин, возле островов обычно представляют собой морфологически сложные образования, составленные из двух-трех надвинувшихся друг на друга в зонах замедления течения и аккумуляции наносов гряд — макроформ [2, 30, 31].

В “типизации русловых процессов” ГГИ [1] выделяемые типы русла расположены в определенной последовательности в двух направлениях увеличения транспортирующей способности потока от свободного меандрирования: осередковый тип или русловая многорукавность ← ленточнорядовый тип ← побочневый тип ← меандрирование ограниченное ← **меандрирование свободное** → меандрирование незавершенное → → пойменная многорукавность. Вполне очевидная дискуссионность этого подхода [6, 7, 32, 33], несмотря на его массовое внедрение в нормативную литературу, привела Б.Ф. Снищенко [34] к необходимости его модификации. Сохранив те же типы русел – русловых процессов (исключен только ленточнорядовый тип) он разместил их в однонаправленной последовательности от свободного меандрирования в отношении снижения транспортирующей способности потока  $W_{тр}$  и гидравлических сопротивлений поймы  $\lambda_{п}$ , с одной стороны, и увеличения удельного расхода руслообразующих наносов  $q_n$  и гидравлических сопротивлений русла  $\lambda_r$ , с другой: свободное меандрирование ↔ незавершенное меандрирование ↔ пойменная многорукавность ↔ ограниченное меандрирование ↔ побочневый тип ↔ русловая многорукавность (осередковый тип). Этот вариант, хотя и сохраняет элементы дискуссионности и умозрительности (отсутствуют расчетные  $W_{тр}$ ,  $q_n$ ,  $\lambda_{п}$ ,  $\lambda_r$  для ее обоснования), открывает возможности более углубленного генетического анализа типов речных русел. Переход от одного типа русла к другому при изменении факторов (в классификации ГГИ это транспортирующая способность потока, в модификации Б.Ф. Снищенко – ее соотношение со стоком наносов и гидравлических сопротивлений русел и пойм) – широко распространенное явление и, наверное, такой подход следовало бы применять и для других определяющих факторов. Вместе с тем ограничение одним или несколькими факторами не приведет к ожидаемому результату, но вызовет определенный антагонизм между различными подходами.

Среди зарубежных заслуживает внимания классификация Д.Л. Росгена [11], представленная и в виде сложно построенной таблицы и в графической форме. В ней он учитывает состав руслообразующих наносов, соотношение ширины поймы и русла (аналогия врезанным, адаптированным и широкопойменным руслам), относительную ширину русла  $b_p/h$ , степень извилистости и разветвленности русла, а также уклоны, в т.ч. соответствующие полугорным рекам. Ряд этих показателей дается в широком диапазоне, что фактически также подчеркивает многофакторность образования типов речных русел. В то же время отсутствует учет устойчивости русла и водности реки, различий между горными и равнинными реками. Особенность подхода Д.Л. Росгена – отказ от названий типов русел и замена его сочетанием индексов, соответствующих параметрам и характеристикам русла, что затрудняет его восприятие и анализ.

Подытоживая сказанное, можно констатировать, что большинство современных подходов к типизации речных русел основывается на трех принципах – морфологии русла, характерных деформациях (режиме переформирований) и генезисе образующих их русловых форм. Вместе с тем для этих подходов характерна ограниченность имеющейся в распоряжении исследователей базы данных, неполнота охвата морфологических разновидностей, особенно по отношению к разветвленным руслам, стремление свести все разнообразие к наиболее простым схемам (например, к меандрированию [1, 35, 36]). В то же время решение все более разнообразных и сложных практических задач, связанных с управлением русловыми процессами при использовании речных ресурсов, транспортным освоением рек, предотвращением опасных проявлений русловых процессов и обеспечением гидротехнической и гидроэкологической безопасности, требуют всестороннего учета всех возможных морфологических проявлений русловых процессов, их динамики, условий формирования и генезиса.

## ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОРФОДИНАМИЧЕСКИХ ТИПОВ РУСЛА В КЛАССИФИКАЦИИ МГУ

Наиболее полной, учитывающей практически все известные на настоящее время типы русел и их разновидности, по-видимому, является морфодинамическая классификация МГУ [3, 6], последний вариант которой опубликован в монографии [4] и вошел в учебники [5, 37]. В ней заложены принципы гидродинамической независимости, многоуровненности, сложности форм проявления, их генезиса и многофакторности русловых процессов. Структура классификации представляет собой систему блоков (рис. 5), каждый из которых соответствует определенному уровню развития русловых процессов, отличающимся механизмом взаимодействия потока и русла, формой транспорта наносов, условиям формирования, т.е. в конечном счете имеет генетическую основу. Генезис типов русла или их разновидностей, во-первых, подробно анализируется в сопровождающих текстовых обоснованиях, без которых вообще невозможно представление классификации; во-вторых, выделение трех типов руслового процесса, соответствующих равнинным, горным и полугорным рекам, основывается на учете механизмов взаимодействия в системе “поток – русло” и различий в формах перемещения донных (руслообразующих) наносов [2, 4], т.е. генезиса самих русловых форм; в-третьих, вытекает из генетически связанных относительно устойчивых состояний русла, соответствующих каждому блоку и ячейке классификации (уровню развития русловых процессов). Последнее как принцип классификации русел выдвинул Б.И. Гарцманом и М.С. Карасевым [7], которые, однако, считают, что именно генетический момент в классификации МГУ отсутствует. Прямого указания на генезис нет и во всех других классификациях (К.И. Россинского и И.А. Кузьмина, ГГИ, Н.А. Ржаницына, Д.Л. Росгена и др.), но он тем не менее по существу является их основой. Вопросы же происхождения и эволюции излучин, разветвлений или прямолинейных русел, макро- или мезоформ руслового рельефа, других проявлений русловых процессов, механизмов их формирования поэтому обычно рассматриваются, опираясь уже на выделенные в классификации типы русла, и в той последовательности, в какой они в ней размещены. Именно такой подход характерен для всех основных работ по морфологии и динамике речного русла.

В классификации МГУ первый блок – типы русловых процессов – прямо вытекает из определения самих процессов: совокупность явлений, связанных с взаимодействием потока и подстилающих русло грунтов, эрозией, транспортом и аккумуляцией наносов. Это определяет выделение горных, полугорных и равнинных рек, различающихся по кинетике потоков, механизмам взаимодействия с грунтами и движения наносов, и их типов, принципы выделения которых неодинаковы на горных (уклоны, формы транспорта наносов) и равнинных (степень распластанности потока, его скоростное поле, развитие циркуляционных течений) реках (рис. 6). Полугорные реки в этом отношении занимают промежуточное положение, характеризуясь чертами, присущими как тем, так и другим, проявляющимися в разные фазы водного режима.

Второй блок классификации определяет различия в формировании русел в зависимости от геолого-геоморфологического строения речных долин и бассейнов рек: свободные и ограниченные условия развития русловых деформаций, в которых формируются, как антитезы, широкопойменные (ширина поймы  $B_n > 3-7 b_p$ ) и врезанные русла (пойма отсутствует или  $B_n < b_p$ ). Это определяет принципиальные различия в условиях движения потока (его гидравлические характеристики), особенно в многоводную фазу водного режима, и, как следствие, неодинаковые условия в развитии форм русла и руслового рельефа, их деформаций и т.д., неодинаковые на горных и равнинных, малых, средних, больших и крупнейших реках.

Морфогенетическую роль играют также макроформы русла (третий блок) – палеорусловые образования в широких днищах речных долин или наследующие их макро-

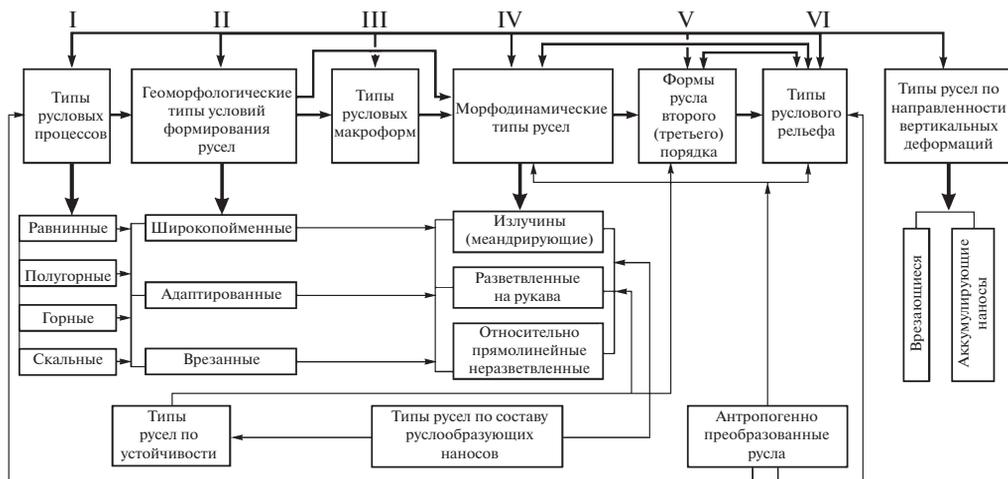


Рис. 5. Структура морфодинамической классификации речных русел МГУ (Р.С. Чалов с дополнениями [4]).

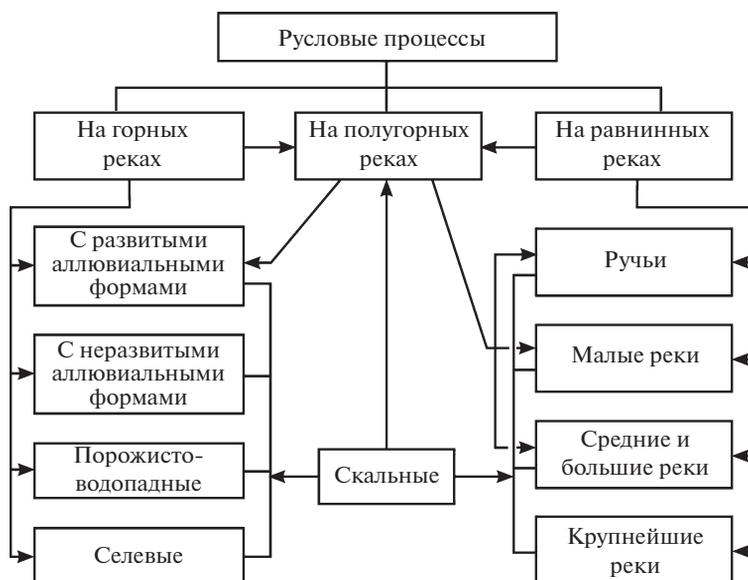


Рис. 6. Схема типизации русловых процессов по условиям взаимодействия потока и русла и формам транспорта наносов (Р.С. Чалов с дополнениями [4]).

формы русла – структуры, обусловленные врезанием рек, которые для излучин в геоморфологической литературе называют также долинными меандрами [38, 39]. Несмотря на иногда значительные большие параметры по отношению к излучинам (разветвлениям) современных русел, они воздействуют на структуру потока, распределение зон преимущественного размыва или аккумуляции наносов и в геологических масштабах времени сказываются в направленном их смещении, изменении очертаний в плане, у врезанных излучин – в образовании петлеобразных форм и их спрямления

за счет встречного сближения берегов на их крыльях (Э. Мартонн [40] называл это “долинным прорывом”). В широкопойменном русле такие макроформы образуются в периоды повышенной водности рек и отражаются в рельефе пойм, создавая пути стока и концентрации затопляющих их вод в половодье (паводки) и через это оказывая влияние на процессы в самом русле.

Четвертый блок – собственно морфодинамические типы русел – отражает морфологию, генезис и динамику излучин (меандрирование), разветвлений (морфологическое название совпадает с названием процесса – процесс разветвления; в других классификациях это – русловая, или островная многорукавность) и относительно прямолинейных, неразветвленных русел. Прямолинейные русла из-за неустойчивости прямолинейного движения потока сохраняются либо при малом стоке руслообразующих наносов и, соответственно, отсутствии макроформ руслового рельефа, больших скоростях их смещения, что не позволяет появиться на них растительности, либо при наличии дополнительно возникающих гидравлических предпосылок (например, при расположении русла вдоль коренного берега и образовании в многоводную фазу режима устойчивого поперечного уклона водной поверхности в сторону затопленной поймы) [2, 4]. Прямолинейность врезанных русел обычно связана с геологической структурой (разломы, зоны трещиноватости и пр.) и характерна для областей распространения скальных горных пород; в пластичных породах она, как правило, не возникает.

Извилистые (меандрирующие) и разветвленные русла – следствие развития макроформ руслового рельефа (побочней, осередков). При этом вероятность формирования разветвлений всегда возрастает в расширениях речных долин, перед их сужениями и выше слияния с крупными притоками, в местных расширениях самого русла и т.д.

Пятый блок образуют формы русла второго/третьего порядков, образующиеся в рукавах разветвлений, на крыльях излучин и могут встречаться в прямолинейном русле. Они характеризуются меньшими параметрами и генетически связаны либо с развитием мезоформ руслового рельефа [8], либо определяются водностью и морфометрическими параметрами рукавов. Еще одно условие развития таких форм – прохождение на реке руслоформирующих расходов воды  $Q_{\text{ф}}$  в два или три интервала, каждому из которых соответствуют свои формы русла [2, 4].

Шестой блок, классификации составляют формы руслового рельефа и русловые деформации, связанные с грядовым движением наносов. Это наиболее генетически обоснованный блок: гряды – в основном, макроформы руслового рельефа – являются основой развития русел того или иного морфодинамического типа, а их развитие, будучи отражением формы транспорта наносов, определяется кинетичностью потока и характером взаимодействия его с руслом. Гидродинамические и геоморфологические (свободные или ограниченные) условия формирования, размеры (водность) реки, сток наносов и морфодинамический тип русла определяют перекаточный или плесовый его характер. К этому же блоку относятся скульптурные формы руслового рельефа, образованные неровностями коренного ложа реки при воздействии на него потока.

Все шесть блоков взаимосвязаны между собой, составляя каскадную систему структурных уровней развития русловых процессов – от типа русловых процессов до рельефа русла – и определяя режим его перестроений на каждом из них. Особняком стоит седьмой блок, представленный скальными руслами на реках разного размера (от малых до больших), на горных и равнинных реках (по типу русловых процессов) во всем диапазоне продольных уклонов, но их практически нет на реках, русла которых формируются в свободных геолого-геоморфологических условиях развития русловых деформаций. Скальное русло местами встречается на Енисее и Амуре; характерно для Ангары, рек Карелии, верховьев рек в горах. С ним связаны водопады; сами же русла иногда имеют вид скальных лотков, по которым осуществляется только транзит галечно-валунных наносов из-за стеснения потока. При этом в механизме взаимодействия

потока и русла существенная роль принадлежит корродирующему эффекту, который обуславливает врез в скальное дно со скоростью до 1–7 см/год [41]. В то же время скальных русел нет на реках Западной Сибири; на Русской равнине они встречаются только в пределах структурных возвышенностей.

Дополнительные блоки классификации определяют особенности формирования русел, условия, в которых они развиваются, происходит образование форм руслового рельефа и их временной трансформации в формы русла. Таковыми являются блоки, характеризующие русла по составу руслообразующих наносов (валунно-глыбовый, галечно-валунный, песчано-галечный, песчаный, песчано-илистый), по их устойчивости, по направленности и темпам вертикальных русловых деформаций (врезания рек / аккумуляция наносов), по степени и формам антропогенной преобразованности русел и факторов, определяющих их развитие, вплоть до превращения русел в каналы, бетонированные лотки и т.д. Для первых двух дополнительных блоков разработаны соответствующие классификации, показатели и количественные параметры, определены причины, условия, механизмы и закономерности переформирования русел на всех уровнях проявлений русловых процессов [4]. Галечно-валунные русла присущи как горным, так и равнинным рекам, определяя во многом режим их деформации; песчаные русла – прерогатива исключительно равнинных рек. Песчано-илистый состав руслообразующих наносов обуславливает безгрядовый их транспорт на Хуанхэ, Амударье, в низовьях Терека. Крупность наносов – одна из составляющих показателей устойчивости русла. Вместе с тем врезанные и широкопойменные русла не коррелируют с их устойчивостью и морфодинамическим типом. Врезанные русла Северной Двины и нижней Мезени являются слабоустойчивыми, как и широкопойменные на этих реках, характеризуются самыми сложными морфологически и по режиму деформации параллельно-рукавными разветвлениями [9, 42, 43].

Два других дополнительных блока достаточно детально освещены в литературе. Для вертикальных деформаций важны их общее (региональное) или местное проявления, направленное или периодическое развитие, соотношение с грядовым движением наносов, а также естественный или антропогенно обусловленный генезис, связь с гидроклиматическими изменениями. При этом прямая связь их направленности с геоморфологическими условиями, устойчивостью и морфодинамическим типом русла отсутствует. Реки с врезанным руслом могут аккумулировать наносы (Амур в нижнем течении [44, 45]), тогда как широкопойменные, сложно разветвленные врезаются, хотя и очень медленно (верхняя Обь [46]).

Антропогенные воздействия на русловые процессы и морфодинамику речных русел детально рассмотрены К.М. Берковичем [47], который классифицировал их по генезису, длительности, направленности и распространении вдоль реки, прямому и косвенному воздействию. Через механизмы процессов, величину стока наносов, водность реки, устойчивость и антропогенно обусловленные вертикальные деформации (врезание / аккумуляция) они неоднозначно сказываются в морфологических преобразованиях русел, их трансформации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, классификация русел рек МГУ, будучи морфодинамической, по существу является также морфогенетической, охватывающей морфологию русел, их рельеф, механизм русловых процессов, учитывающей разнообразие их проявлений на малых, средних и больших, горных и равнинных реках, реках с разным составом руслообразующих наносов и т.д.

Совокупность всех классификационных признаков (основные и дополнительные), морфогенетические основы типов русловых процессов, геоморфологических и морфодинамических типов русла позволяет давать всестороннюю оценку условий и зако-

номерностей переформирования русел, опасности их проявлений, выявлять специфику развития в разных природных условиях. Поэтому морфодинамические классификация русел рек МГУ явилась основой крупных региональных монографических обобщений и мелкомасштабного картографирования русловых процессов, охватившего как территорию Северной Евразии (Россия и сопредельные государства), так и бассейны больших рек (Лены, средней и верхней Оби, Сев. Двины), создания как общих, так и специальных (например, опасности, экологической напряженности) карт русловых процессов. Вместе с тем она дала возможность разработать и обосновать крупные проекты управления русловыми процессами при решении различных задач водохозяйственного и воднотранспортного освоения и использования рек [48].

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Выполнено по планам НИР (госзадание) кафедры гидрологии суши и НИЛаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова при частичной поддержке РФФ (проект 14-17-00155) – обоснование и применение гидролого-морфологических параметров для оценки генезиса и формы русла, (проект 17-18-00086) – генезис разветвлений русел и их место в морфодинамической классификации) и РФФИ (проект 18-05-00487) – учет специфических проявлений русловых процессов в классификациях речных русел.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Смищенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 272 с.
2. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
3. Чалов Р.С. Типы русловых процессов и принципы морфодинамической классификации речных русел // Геоморфология. 1996. № 1. С. 25–36.
4. 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.
5. Барышников Н.Б. Русловые процессы. СПб.: РГГМУ, 2008. 439 с.
6. Чалов Р.С. О классификации речных русел // Геоморфология. 1980. № 1. С. 3–16.
7. Карасев М.С., Гарцман Б.И. О принципах регионального анализа русловых процессов малых и средних рек и их антропогенной динамики // Геоморфология. 2002. № 2. С. 10–16.
8. Сидорчук А.Ю. Главные формы речных русел: меандры и разветвления // Вопр. географии. Сб. 140. Современная геоморфология. М.: Кодекс, 2015. С. 319–340.
9. Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излуины. М.: Изд-во МГУ, 2004. 371 с.
10. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
11. Rosgen D.L. A classification of natural riners // Catena. 1994. Vol. 22. P. 169–199.
12. Россинский К.И., Кузьмин И.А. Некоторые вопросы прикладной теории формирования речных русел // Пробл. регулирования речного стока. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1947. С. 88–129.
13. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
14. Маккавеев Н.И., Хмельва Н.В., Зайтов И.Р., Лебедева Н.В. Экспериментальная геоморфология. М.: Изд-во МГУ, 1991. 196 с.
15. Ржаницын Н.А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 240 с.
16. Великанов М.А. Русловой процесс. М.: Госфизматиздат, 1958. 396 с.
17. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 264 с.
18. Лосиевский А.И. Лабораторные исследования процессов образования перекатов // Тр. ЦНИИВТ. Вып. 36. 1934. 98 с.
19. Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 288 с.
20. Экспериментальная геоморфология. Вып. 2. М.: Изд-во МГУ, 1969. 173 с.
21. Shen H.W., Schumm S.V., and Doehring D.O. Stabillite of stream channel pattens // Transp. Rec. 1979. Vol. 736. P. 22–38.

22. Чалов Р.С., Рулева С.Н., Беркович К.М., Завадский А.С., Камышев А.А., Михайлова Н.М. Верхняя и средняя Обь: русловые процессы и оценка условий управления ими // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 20. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2018. С. 149–195.
23. Чалов Р.С., Чалов С.Р. Морфология скального русла реки Ангары на участках Богучанского и Мотыгинского водохранилищ // География и природные ресурсы. 2009. № 1. С. 103–110.
24. Третьяков Е.В. Размыв берегов рек в степном Алтае и его инженерно-геологическая характеристика // Бюл. науч.-техн. информации. № 8 (52). М.: Госгеолтехиздат, 1963. С. 3–19.
25. Амалицкий В.П. Дневник наблюдений по Малой Северной Двине. Л.: Изд-во АН СССР, 1931. 57 с.
26. Чалов Р.С. Временная трансформация морфодинамических типов русел больших равнинных рек // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2018. № 3. С. 3–13.
27. Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Чернов А.В., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н. Сток воды и морфология русел рек Русской равнины в поздневалдайское время и в голоцене (по данным палеоруслового анализа) // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 12. М.: Изд-во МГУ, 2000. С. 196–231.
28. Замышляев В.И. О плановой устойчивости прямого русла // Тр. ГГИ. Вып. 278. 1982. С. 48–55.
29. Гришанин В.И., Замышляев В.И. Возникновение меандрирования рек как проблемы гидродинамической неустойчивости // Тр. ГГИ. Вып. 301. 1985. С. 5–12.
30. Чалов Р.С., Михайлова Н.М., Жмыхова Т.В. Морфология, морфометрические характеристики и динамика побочной на Северной Двине // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2012. № 6. С. 54–60.
31. Чалов Р.С., Сурков В.В., Жмыхова Т.В. Прирусловые отмели как формы руслового рельефа, промежуточные между меженным руслом и поймой реки // Геоморфология. 2006. № 1. С. 18–29.
32. Знаменская Н.С. Системная методология как основа изучения руслового процесса // Динамика и термика рек и водохранилищ. М.: Наука, 1984. С. 171–194.
33. Кондратьев А.Н. Соотношение транспортирующей способности потока и стока наносов как условия формирования русел рек различных типов // Геоморфология. 1999. № 3. С. 14–18.
34. Сущенко Б.Ф. Развитие теории руслового процесса в XX в. // Тр. ГГИ. 2002. Вып. 361. С. 5–16.
35. Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит // Тр. Геол. ин-та АН СССР. Сер. геол. Вып. 135. 1951. 275 с.
36. Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 328 с.
37. Чалов Р.С. Русловые процессы (русловедение). М.: ИНФРА-М, 2016. 569 с.
38. Щукин И.С. Общая морфология суши. Т. 1. М.–Л.–Новосибирск: ОНТИ, 1933. 366 с.
39. Dury G.H. Principles of underfit streams / Us Geol. Surv Prof. Pap. 452-A. 1964. 67 p.
40. Мартонн Э. Основы физической географии. Т. II. Геоморфология. М.: Учпедгиз, 1945. 556 с.
41. Хакимов С.К. Русловые процессы на горных реках Западного Тянь-Шаня. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1992. 29 с.
42. Завадский А.С., Рулева С.Н., Чалов Р.С., Чалов С.Р. Морфология, переформирования русла и перекатов р. Мезени (нижнее течение) // Географический вестник. 2010. № 3 (124). С. 11–23.
43. Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М.: ООО «Журнал «РТ»», 2012. 492 с.
44. Махинов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Направленная аккумуляция наносов и морфология русла нижнего Амура // Геоморфология. 1994. № 3. С. 70–78.
45. Махинов А.Н., Лю Шугуан. Формирование рельефа русла и берегов рек. Хабаровск: ДВО РАН, 2013. 174 с.
46. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. О развитии рельефа поверхности речных террас и признаки глубинной эрозии на примере верхней Оби // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1964. № 4. С. 120–125.
47. Беркович К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001. 164 с.
48. Чалов Р.С. Управление русловыми процессами как основа совершенствования водных путей // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2017. № 3. С. 3–13.

## The Genetic Component of River Bed Typologies

R.S. Chalov<sup>#</sup>

*Lomonosov Moscow State University, faculty of Geography, Moscow, Russia*

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

The paper represents the analysis of the existing, most common classifications (typifications) of river channels. It is displayed that almost in all approaches, regardless of the methodological basis, there is a morphogenetic component. Restriction of the whole variety of conditions for river channels development by one or two or three factors of channel formation confines the possibilities of channel analysis, distinguishing the main regularities of channel dynamics and management of channel processes in practical problems solution. In the case study of the Ob' River the estimation was performed of the changes of channel morphology and dynamics along the river as the consequences of the multifactor nature of channel processes. The main attention is paid to the morphodynamic classification of river channels by the Moscow State University, which is characterized by the most complete account of their morphology and channel changes regime. A block structure of this classification reflects the sequence of structural levels of channel processes manifestations (mountain and lowland rivers as a reflection of different flow turbulence and forms of sediment transport, incised and wide-floodplain channels which develop in different geological and geomorphological conditions, morphodynamic channel types themselves – meandering, braided and relatively straight and the diversity of their varieties, etc.) – so this classification demonstrates complex interrelations between its structural levels. Accounting of channel stability, size of bed-material load, direction of vertical channel development (river entrenchment (incision)/accumulation of sediments) and anthropogenic channel change gives to the classification a universal character, makes it possible for regional generalizations and mapping of territories and river basins, gives an opportunity to use it as a basis of channel processes management in water economy and water transport.

*Keywords:* channel processes, channel types, genesis, classification, channel meanders, braided channels, straight channel, incised and wide floodplain channels, sediments

### ACKNOWLEDGEMENTS

Completed according to the Scientific Research Works (federal task) of the Hydrology Department and Makkaveev Research Laboratory of soil erosion and channel processes of the Lomonosov Moscow State University with partial support of the Russian Scientific Fund (project 14-17-00155) – justification and application of hydrological and morphological parameters for the evaluation of river channels form and genesis and RFBR (project 18-05-00487) – registration of specific manifestations of channel processes in river channel classifications.

### REFERENCES

1. Kondrat'ev N.E., Popov I.V., and Snishchenko B.F. *Osnovy gidromorfologicheskoi teorii ruslovogo protsessa* (Fundamentals of the hydromorphological theory of the channel process). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1982. 272 p.
2. Chalov R.S. *Geograficheskie issledovaniya ruslovykh protsessov* (Geographical studies of the channel processes). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1979. 232 p.
3. Chalov R.S. *Tipy ruslovykh protsessov i printsipy morfodinamicheskoi klassifikatsii rechnykh rusel* (Types of riverbed processes and principles of morphodynamic classification of channels). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1996. No. 1. P. 25–36. (in Russ.)
4. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 1. Ruslovye protsessy: formy, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel*. (Riverbed Science: Theory, Geography, Practice. T. 1. Channel processes: factors, mechanisms, forms of demonstration and forming conditions of river channels). M.: Izd-vo LKI (Publ.), 2008. 608 p.
5. Baryshnikov N.B. *Ruslovye protsessy* (Channel processes). SPb.: RGGMU (Publ.), 2008. 439 p.

6. Chalov R.S. *O klassifikatsii rechnykh rusel* (About classification of river channels). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1980. No. 1. P. 3–16. (in Russ.).
7. Karasev M.S. and Gartsman B.I. *O printsipakh regionalnogo analiza ruslovykh protsessov malykh i srednikh rek i ikh antropogennoi dinamiki* (Principles of regional analysis of channel processes in the small and middle-size rivers and their man-induced dynamics). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2002. No. 2. P. 10–16. (in Russ.)
8. Sidorchuk A.Y. *Glavnye formy rechnykh rusel: meandry I razvetyleniya* (The main forms of river channels: meanders and braiding). *Voprosy geografii. Vol. 140. Sovremennaya geomorfologiya*. M.: Kodeks (Publ.), 2015. P. 319–340. (in Russ.)
9. Chalov R.S., Zavadskiy A.S., and Panin A.V. *Rechnye izluchiny* (River bends). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 2004. 371 p.
10. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 2. Morfodinamika rechnykh rusel* (Riverbed Science: Theory, Geography, Practice. T. 2. Morphodynamics of river channels). M.: KRASAND (Publ.), 2011. 960 p.
11. Rosgen D.L. A classification of natural rivers. *Catena*. 1994. Vol. 22. P. 169–199.
12. Rossinskii K.I. and Kuzmin I.A. *Nekotorye voprosy prikladnoi teorii formirovaniya rechnykh rusel*. (Some questions of applied theory of forming of river channels). M.–L.: Izd-vo AN SSSR (Publ.), 1947. P. 88–129. (in Russ.)
13. Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine* (River channel and erosion in its basin). M.: Izd-vo AN SSSR (Publ.), 1955. 347 p.
14. Makkaveev N.I., Khmeleva N.V., Zaitov I.R., and Lebedeva N.V. *Eksperimentalnaya geomorfologiya* (Experimental Geomorphology). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1961. 196 p.
15. Rzhantsyn N.A. *Morfologicheskie i gidrologicheskie zakonomernosti stroeniya rechnoi seti* (Morphological and Hydrological Regularities of the Structure of the River Net). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1960. 240 p.
16. Velikanov M.A. *Ruslovoi protsess* (Channel processes). M.: Gosfizmatizdat (Publ.), 1985. 264 p.
17. Rzhantsyn N.A. *Rusloformiruyushchie protsessy rek* (Channel-forming processes of rivers). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1985. 264 p.
18. Losievskii A.I. *Laboratornye issledovaniya protsessov obrazovaniya perekatov* (Laboratory studies of the processes of formation of tumors). *Tr. TsNIIVT*. Vol. 36. 1934. 98 p.
19. Karasev I.F. *Ruslovye protsessy pri perebroske stoka* (The Channel Processes During the Diversion of Flow). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1975. 288 p.
20. *Eksperimentalnaya Geomorfologiya* (Experimental Geomorphology). Vol. 2. M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1969. 173 p.
21. Shen H.W., Schumm S.V., and Doehring D.O. Stability of stream channel patterns. *Transportation Research Record*. 1979. Vol. 736. P. 22–38.
22. Chalov R.S., Ruleva S.N., Berkovich K.M., Zavadskiy A.S., Kamyshev A.A., and Mikhailova N.M. *Verkhnyaya i Srednyaya Ob': ruslovye protsessy i otsenka uslovii upravleniya imi* (Upper and Middle Ob: channel processes and assessment of its management conditions). *Eroziya pochv i ruslovye protsessy*. Vol. 20. M.: Geogr. f-t MGU (Publ.), 2018. P. 149–195. (in Russ.)
23. Chalov R.S. and Chalov S.R. *Morfologiya skal'nogo rusla reki Angary na uchastkakh Boguchanskogo I Motygin'skogo vodokhranilishcha*. (The morphology of the rocky channel of the Angara river in its stretches within the Boguchanskoye and Motygin'skoye reservoirs). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2009. No. 1. P. 103–110. (in Russ.)
24. Trepetsov E.V. *Razmyv beregov rek v Stepnom Altae i ego inzhenerno-geologicheskaya kharakteristika* (The erosion of river banks in the steppe Altai and its engineering-geological characteristics). *Bul. Nauchno-tekhn. Informatsii*. M.: Gosgeoltekhizdat (Publ.), 1963. No. 8 (52). P. 3–19. (in Russ.)
25. Amalitskii V.P. *Dnevnik nabludenii na Severnoi Dvine* (Small Northern Dvina Observation Diary). L.: Izd-vo AN SSSR (Publ.), 1931. 57 p.
26. Chalov R.S. *Vremennaya transformatsiya morfodinamicheskikh tipov rusel bolshikh ravninnykh rek* (Temporal transformation of morphodynamic types of channels of the large lowland rivers). *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2018. No. 3. P. 3–13. (in Russ.)
27. Sidorchuk A.Y., Panin A.V., Chernov A.V., Borisova O.K., and Kovalyukh N.N. *Stok vody i morfologiya rusel rek Russkoi ravniny za pozdnevaldaiskoe vremya i v golotsene (po dannym paleoruslovogo analiza)* (Fluvial response to proglacial effects and climate in the upper Dnieper valley (Western Russia) during the late Weichselian and the Holocene). *Eroziya pochv i ruslovye protsessy*. Vol. 20. M.: Izd-vo MGU, 2000. P. 196–231. (in Russ.)

28. Zamyshlyayev V.I. *O planovoi ustoichivosti pryamogo rusla* (Planned stability of the direct channel). *Tr. GGI*. Vol. 278. 1982. P. 48–55. (in Russ.)
29. Grishanin K.V. and Zamyshlyayev V.I. *Vozniknovenie meandrirovaniya rek kak problemy gidrodinamicheskoi neustoichivosti* (The emergence of meandering rivers as a problem of hydrodynamic instability). *Tr. GGI*. Vol. 301. 1985. P. 5–12. (in Russ.)
30. Chalov R.S., Mikhailova N.M., and Zhmykhova T.V. *Morfologiya, morfometricheskie kharakteristiki i dinamika pobochnei na Severnoi Dvine* (Side-bars morphology, morphometric parameters and dynamics (case study of the Severnaya Dvina River). *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2012. No. 6. P. 54–60. (in Russ.)
31. Chalov R.S., Surkov V.V., and Zhmykhova T.V. *Priruslovye otmeli kak formy ruslovogo rel'efa, pro-mezhutochnye mezhdru mezhennym ruslom i poimoi reki*. (Point bars as a special forms of the channel topography intermediate between river channel and the flood plain). *Geomorfologiya. (Geomorphology RAS)*. 2016. No. 1. P. 18–29. (in Russ.)
32. Znamenskaya N.S. *Sistemnaya metodologiya kak osnova izucheniya ruslovogo protsessa Dinamika i termika rek i vodokhranilishch* (Systemic methodology as the basis for the study of the channel process). M.: Nauka (Publ.), 1984. P. 171–194. (in Russ.)
33. Kondratiev A.N. *Sootnoshenie transportiruyshchei sposobnosni potoka i stoka nanosov kak uslovie formirovaniya rusel rek razlichnykh tipov* (Stream carrying capacity and sediment load ratio as a condition of formation river channels of different patterns). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1999. No. 3. P. 14–18. (in Russ.)
34. Snishchenko B.F. *Razvitiye teorii ruslovogo protsessa v GGI* (The development theory of the channel process in the XX c.). *Tr. GGI*. Vol. 361. 202. P. 5–16. (in Russ.)
35. Shantser E.V. *Alluvii ravninnykh rek umernogo poyasa i ego znachenie dlya poznaniya zakonomen- nostei stroeniya i formirovaniya alluvialnykh svit* (Alluvium of lowland rivers in the temperate belt and its significance for understanding regularities in the structure and formation of alluvial sequences). *Tr. Geol. in-ta AN SSSR. Ser. geol.* Vol. 135. 1951. 275 p. (in Russ.)
36. Popov I.V. *Deformatsii rechnykh rusel i gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* (River channel deformations and hydraulic engineering). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1965. 328 p.
37. Chalov R.S. *Ruslovye protsessy (ruslovedenie)* (Channel processes (channel science)). M.: INFRA-M (Publ.), 2016. 569 p.
38. Shchukin I.S. *Obshchaya morfologiya sushi* (The General morphology of the land). T. 1. M.–L.–Novosibirsk: ONTI (Publ.), 1933. 366 p.
39. Dury G.H. Principles of underfit streams. *US Geol. Survey Prof. Pap.* 452-A. 1964. 67 p.
40. Martonn E. *Osnovy fizicheskoi geografii* T. II. *Geomorfologiya*. (Basics of physical geography. T. II. Geomorphology). M.: Uchpedgiz (Publ.), 1945. 556 p.
41. Khakimov S.K. *Ruslovye protsessy na gornykh rekakh Zapadnogo Tyan-Schanya* (Channel process of the western Tien Shan). Abstract PhD thesis. M.: MGU (Publ.), 1992. 29 p.
42. Zavadskiy A.S., Ruleva S.N., Chalov R.S., and Chalov S.R. *Morfologiya, pereformirovaniya rusla i perekatov r. Mezeni (nizhnee techenie)* (Morphology, reorganization of the channel and rifts of the river. Mezeni (lower course)). *Geograficheskii vestnik*. 2010. No. 3 (124). P. 11–23. (in Russ.)
43. *Ruslovye protsessy i vodnye puti na rekakh basseina Severnoi Dviny* (Channel processes and water ways on the rivers of the Northern Dvina basin). R.S. Chalov, L.S. Pervushin, and V.G. Shmykov. (Eds.) M.: OOO “Zhurnal «RT»”, 2012. 492 p.
44. Makhinov A.N., Chalov R.S., and Chernov A.V. *Napravlenneya akkumulatsiya nanosov i morfologiya rusla Nizhnego Amura* (Directional accumulation of sediments and the morphology of the Lower-Amur channel). *Geomorfologiya (Geomorphology. RAS)*. 1994. No. 3. P. 70–78. (in Russ.)
45. Makhinov A.N. and Ly Shuguan. *Formirovanie rel'efa rusla i beregov rek* (The Formation of River Channels and riverside). Khabarovsk: DVO RAN, 2013. 174 p.
46. Makkaveev N.I. and Chalov R.S. *O razvitiy rel'efa poverkhnosti rechnykh terras i priznaki glubinnoi erozii na primere Verkhnei Obi* (On the development of the relief of river terraces and signs of deep erosion on the example of the Upper Ob). *Izv. AN SSSR. Ser. geogr.* 1964. No. 4. P. 120–125. (in Russ.)
47. Berkovich K.M. *Geograficheskii analiz antropogennykh izmeneniy ruslovykh protsessov*. (Geographical analysis of the channel processes anthropogenous changes). M.: GEOS (Publ.), 2001. 164 p.
48. Chalov R.S. *Upravlenie ruslovyymi protsessami kak osnova sovershenstvovaniya vodnykh putei* (Control of fluvial processes as a basis for waterway improvement). *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2017. No. 3. P. 3–13. (in Russ.)