

## ГЕОГРАФИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ НЕРАЗВЕТВЛЕННЫХ РУСЕЛ И УСЛОВИЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

© 2024 г. Р. С. Чалов<sup>1,\*</sup>, Е. Р. Чалова<sup>1,\*\*</sup>, Г. Б. Голубцов<sup>1,\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
географический факультет, Москва, Россия

\*e-mail: rschalov@mail.ru

\*\*e-mail: ekar28@yandex.ru

\*\*\*e-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.10.2023 г.

После доработки 10.06.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

Проводится географический анализ условий развития и распространения прямолинейных неразветвленных русел, образующих морфологически однородные участки, “вставки” между излучинами и островами на меандрирующих и разветвленных реках, а также рукавов русловых (островных), пойменно-русловых разветвлений и раздвоенных русел. Показано, что морфологически однородные участки с этим типом русла встречаются на реках сравнительно редко, что связано с неустойчивостью прямолинейного движения потока. Установлены условия, при которых возможно образование прямолинейных русел: расположение широкопойменных русел вдоль коренных берегов, на реках с врезанным руслом и т.д. В частности, показано, что на реках с врезанным руслом его прямолинейность поддерживается слабой размываемостью или неразмываемостью берегов, особенно сложенных скальными породами, обуславливающих их стабильность. На составленной мелкомасштабной карте приведено районирование территории России по распространению прямолинейных неразветвленных русел и их встречаемости на малых и средних реках с другими типами русла. На больших и крупнейших реках выделены морфологически однородные участки прямолинейного русла, а также проявления прямолинейности в виде “вставок” между смежными излучинами и разветвлениями разных типов, в рукавах разветвлений разных морфодинамических типов и структурных уровней. Рассмотрены причины и условия преобразования прямолинейных русел в извилистое и разветвленное (трансформирующееся русло) или их нетрансформируемости в разных регионах страны, что является важным аспектом при учете водохозяйственного и водотранспортного использования рек.

**Ключевые слова:** русловые процессы, типизация, морфодинамика русел, рукава, излучины, движение потока, трансформация русел, устойчивость русел

DOI: 10.31857/S2587556624040032 EDN: RQGCRZ

### ВВЕДЕНИЕ

Относительно прямолинейные, неразветвленные русла — один из трех основных морфодинамических типов речных русел, особенностью распространения которого является сравнительно малая встречаемость по сравнению с меандрирующими (извилистыми) и разветвленными на рукава. По подсчетам, сделанным на основе карты “Русловые процессы на реках СССР” (1990), их доля от длины рек (протяженностью 500 км и более) с широкопойменным руслом составляет 7.4%, с врезанным руслом — 6.8% (суммарно 14.2%); другие типы русла занимают 58% извилистые и 30% разветвлен-

ные (Русловой ..., 1984). Это обстоятельство, а также большая устойчивость прямолинейных русел и незначительность переформирований во времени обусловили их слабую изученность или подмену оценок морфологии и деформаций собственно самих прямолинейных русел “внутрирусловыми” формами рельефа — перекатами, побочными, осередками, грядами разных размеров.

Однако редкая встречаемость прямолинейных русел относится только к морфологически однородным участкам речных русел. Короткие прямолинейные отрезки русел располагаются часто между смежными излучинами, характеризующаяся длиной, в 3–4 раза меньшей дли-

ны самих излучин и представляя собой своего рода “вставки” между нижним крылом одной и верхним крылом другой излучины, или они разделяют острова, образующие одиночные разветвления либо звенья сопряженных разветвлений. Если одиночные разветвления создают морфологически однородный участок, прямолинейные “вставки” между островами являются их неотъемлемой частью русла этого типа, создавая чередование по длине реки островов, разделяющих русло на рукава, и прямолинейных неразветвленных “вставок”. Протяженность таких “вставок” превышает иногда в несколько раз длину самих разветвлений, вследствие чего деформации их происходят автономно по отношению друг к другу, но зависят от переформирования русла в прямолинейных “вставках” и в то же время оказывают влияние на них. Прямолинейные очертания нередко имеют рукава в разветвлениях любого типа, определяя их развитие. При этом во всех подобных случаях их не относят к самостоятельному типу русла, включая их в тот, который определяет морфодинамический тип русла (излучины, разветвления). Принимая же во внимание все разнообразие проявлений прямолинейности русел, “вставок” между излучинами и островами и рукавов разветвлений, общее количество (доля) их существенно (в несколько раз) возрастает. Форма русла в целом (прямое, извилистое или разделенное на рукава) или рукавов разветвленных русел и их “внутрирусовой” рельеф обуславливают темпы и направленность горизонтальных (плановых) деформаций, размывы берегов, взаимодействие в многоводную фазу режима руслового и пойменного потоков и, как следствие, специфику инженерных, водохозяйственных и водотранспортных (путевых) мероприятий, осуществляемых на реках при освоении как водных и речных ресурсов, так и приречных территорий, прокладку коммуникаций через реки и т.д.

Задача настоящей статьи, во-первых, показать условия формирования прямолинейных неразветвленных русел, образующих морфологически однородные участки, определяющих морфологию рукавов на разветвленных реках и создающих относительно короткие “вставки” между смежными излучинами или островами; во-вторых, на основе материалов многолетних исследований дать географический анализ распространения прямолинейных русел во всех их проявлениях на реках России. Огромная территория России и множество рек позволяют выявить особенности формирования русел этого типа в различных природных условиях. Подобные исследования были выполнены для процессов разветвления (Чалов, Чалова, 2019) и меандрирования рек (Чалов, Чалова, 2023) и их

проявлений в руслах других типов (например, формирования излучин рукавов или извилистости меженного русла при развитии побочной в прямолинейном русле, образования островов на излучинах и т.д.). Таким образом, анализ условий формирования и распространения прямолинейных неразветвленных русел завершит на данном этапе рассмотрение географии речных русел и процессов формирования их основных морфодинамических типов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу статьи положены результаты многолетних (с 1957 г.) исследований русловых процессов на реках России и бывшего СССР — равнинных и горных, малых, больших и крупнейших, выполняемых по различным проектам (госзаданиям, грантам РФФИ и РНФ, программам, госконтрактам, хозяйственным договорам), имевшим как фундаментальный, так и прикладной характер (Северная Двина и ее основные притоки — Вычегда, Вага, Пинега, Сухона, Юг; Печора и Мезень; Обь, Иртыш, Томь, Чулым, Кеть, Бия, Катунь; Лена, Киренга, Витим, Алдан, Вилюй; Амур; Индигирка, Яна, Колыма; Дон и Хопер; Волга, Ока, Протва, Сура, Инсар, Кудьма, Озерка; Енисей и Селенга; Терек и реки Северного Кавказа и западного Закавказья; реки степного и горного Алтая; Амударья; Неман). На ряде рек исследования выполнялись с неоднократной повторностью, что дало возможность установить закономерности переформирования русел, в том числе прямолинейных, для которых выявлены их трансформации и взаимосвязи с развитием излучин и разветвлений. Были осуществлены рекогносцировочные обследования малых и средних рек по регионам России, а также в бассейнах Янцзы и Хуанхэ, Вислы, в польских и украинских Карпатах. Все реки в той или иной мере характеризуются наличием участков прямолинейных неразветвленных русел, рукавов разветвлений и “вставок” между излучинами или островами большей или меньшей протяженности.

В зависимости от поставленных задач русловые исследования выполнялись по полной или сокращенной программе, но всегда с применением современной (на время проведения работ) аппаратуры. Их результатом были многочисленные региональные публикации по конкретным рекам или их участкам; обобщение полученных материалов привело к созданию карт русловых процессов на реках СССР и европейской части, Алтайского региона, Ханты-Мансийского округа, на которых выделялись прямолинейные русла, образующие морфологически однородные участки.

Исследования включали в себя ретроспективный анализ русловых деформаций, который выполнялся по картографическим материалам (лоцманским картам и картам судоходных рек, издаваемых с конца XIX — начала XX в. и зафиксировали состояние речных русел на время их составления, топографических и других карт), а также аэро- и космическим снимкам. Они дополнялись крупномасштабными планами, получаемыми изыскательскими партиями службы водных путей в результате промеров и съемок русел судоходных рек. В итоге был получен обширный материал, обобщение и анализ которого позволяют создать представление об условиях формирования русел и русловом режиме рек, дать гидролого-морфологическое обоснование выделения каждого типа русла, установить их морфологическое разнообразие. Применительно к прямолинейным неразветвленным руслам и их развитию в рукавах разветвлений и на крыльях излучин была разработана их классификация, обоснованы структурные уровни развития (Чалов Р.С., Чалов С.Р., 2023), определены соотношения с процессами меандрирования и разветвления, составлена мелкомасштабная карта распространения прямолинейных неразветвленных русел, основывающаяся на методологии картографирования русловых процессов (Чалов и др., 1986; Чалов, 1988).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Прямолинейные неразветвленные русла и условия их формирования.* Одной из причин ограниченности распространения прямолинейных русел является неустойчивость прямолинейного движения потока (Гришанин, 1972; Гришанин, Замышляев, 1985), вследствие чего русло трансформируется в извилистое или разветвленное в зависимости от соотношения морфометрических параметров и гидравлических сопротивлений (Карасев, 1975). Неустойчивость прямолинейного движения потока и его разделение на ветви течения при большой ширине русла (согласно критерию И.Ф. Карасева<sup>1</sup>) характерно для больших и крупнейших рек; средние и малые реки при  $4.5 < \Theta < 9$  и  $\Theta < 4.5$  соответственно преимущественно меандрируют. Поэтому для сохранения прямолинейности русла нужны определенные дополнительные условия (Чалов, 2008).

Как тип русла, образующий морфологически однородные участки на реках, прямолинейные

русла образуют самостоятельный блок в морфодинамической классификации МГУ (Маккавеев, 1971; Чалов, 1979, 2008) или выделены отдельной строкой в классификациях К.В. Гришанина (1972) и китайских ученых (Линь Чэнкуань, 1963; Шэн Юйчен, Гун Гоюань, 1986; Цянь Нин, 1987). Д.Л. Росген (Rosgen, 1994) связал прямолинейность русел с большими уклонами ( $>0.4–2\%$ ), т.е. соотнес их с горными реками. В “гидроморфологической теории руслового процесса” ГГИ (Кондратьев и др., 1982) выделяемые ленточно-грядовый, побочневый и осередковый (без соответствия последнего русловой многоруканности) типы процесса можно трактовать как соответствующие прямолинейным руслам, получившим название по развитым в них формам внутрируслового рельефа, отражающего грядовое перемещение наносов. Близкий подход характерен для работ С. Шумма (Schumm, 1977), который выделяет слабоизвилистое или прямое (однорукавное) русло также с осередками при большом стоке наносов, а в более поздней работе (Shen et al., 1978) — прямолинейные стабильные (очевидно — плесовые) и прямые со смещающимися побочными. К.В. Гришанин (1972), давая характеристику прямолинейным руслам, также рассматривает их с точки зрения формирования и смещения в них побочной. По существу, такой же подход был и в классификации К.И. Россинского и И.А. Кузьмина (1947, 1958), которые деформации прямолинейных русел оценили как “периодическое расширение”, которое наблюдается в каждом створе при смещении перекатов (на перекате между побочными меженное русло расширяется, глубина уменьшается; когда створ проходит побочень, то в плесовой ложине между перекатами русло сужается, глубина возрастает).

Специальное и наиболее полное исследование морфологии и динамики прямолинейных русел было выполнено В.В. Ивановым (1989), который обосновал критерии отнесения русел к прямолинейному типу:  $l/L < 1.10–1.15$  (здесь  $l$  — длина участка русла,  $L$  — шаг его пологого изгиба) и определения условий перехода от прямолинейности к извилистости (началу процесса меандрирования) русла и  $B_o/b_p < 0.35–0.40$  ( $B_o$  — ширина острова,  $b_p$  — ширина русла выше разветвления) — от прямолинейности к разветвленности. При нарушении последнего возникающие острова образуют разветвления второго порядка, влияние которых на структуру потока не охватывает всего русла, проявляясь только вблизи острова, а само русло и его берега сохраняют прямолинейные очертания; при  $B_o/b_p > 0.35–0.40$  размывы берегов напротив острова приводят к местному расширению русла, обуславливая дальнейшее развитие разветвления (Чалов и др., 1998; Чалов, 2009).

<sup>1</sup>  $Q = \frac{b_p}{h} \sqrt{\lambda} > 9$ , где  $\lambda = \frac{2g}{C}$  — коэффициент гидравлических сопротивлений,  $C$  — коэффициент Шези,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $b_p$  — ширина русла,  $h$  — глубина потока.

В.В. Иванов (1989) классифицировал прямолинейные русла по вероятности их преобразования в процессе саморазвития в другие типы русла: широкопойменное — трансформирующееся (с двусторонней поймой); адаптированное (с узкой поймой) и врезанное — нетрансформирующееся. Процесс преобразования (трансформации) типа русла в ходе его саморазвития и при неизменности факторов (водности, стока наносов и др.) занимает обычно многие десятилетия и даже столетия, и поэтому оценка таких трансформаций при прогнозировании деформаций имеет в основном фоновый характер (за исключением случаев, когда значения критериев  $l/L$  и  $B_0/b_p$  приближаются или уже стали критическими). Учитывая в известной мере представления К.И. Россинского и И.А. Кузьмина (1947, 1958), ГГИ (Кондратьев и др., 1982), К.В. Гришанина (1972), среди прямолинейных русел следует выделять врезанные и широкопойменные, а среди последних — плесовые и перекатные. Плесовый характер присущ обычно участкам русла, расположенным вдоль коренных берегов, имеющих выровненные в плане очертания; перекатные (с шахматным расположением побочной и извилистыми очертаниями в межень или осередковой разветвленностью) — также вдоль коренного берега, но с чередованием его выступов и выбоин (вогнутостей), отклоняющих поток от него, или при двусторонней пойме. Наличие коренного (ведущего) берега обуславливает во время половодья (высоких паводков) возникновение однонаправленных циркуляционных течений в сторону затопленной поймы, вследствие чего вдоль нее создается зона аккумуляции наносов, тогда как у коренного берега русло размывается, что приводит к стабилизации русла в целом (его нетрансформируемости), отступления коренного берега и медленного смещения прямолинейного русла параллельно самому себе в его сторону (Чалов, 1979, 2011). У возникающих ниже выступов и мысов коренного берега побочной обычно развивается побочная протока, по которой со временем происходит отторжение побочной, и даже при большом стоке руслообразующих наносов и развитии перекатов прямолинейность русла сохраняется.

Во врезанных руслах их прямолинейность поддерживается слабой размываемостью или неразмываемостью берегов, особенно сложных скальными породами, обуславливающих их стабильность.

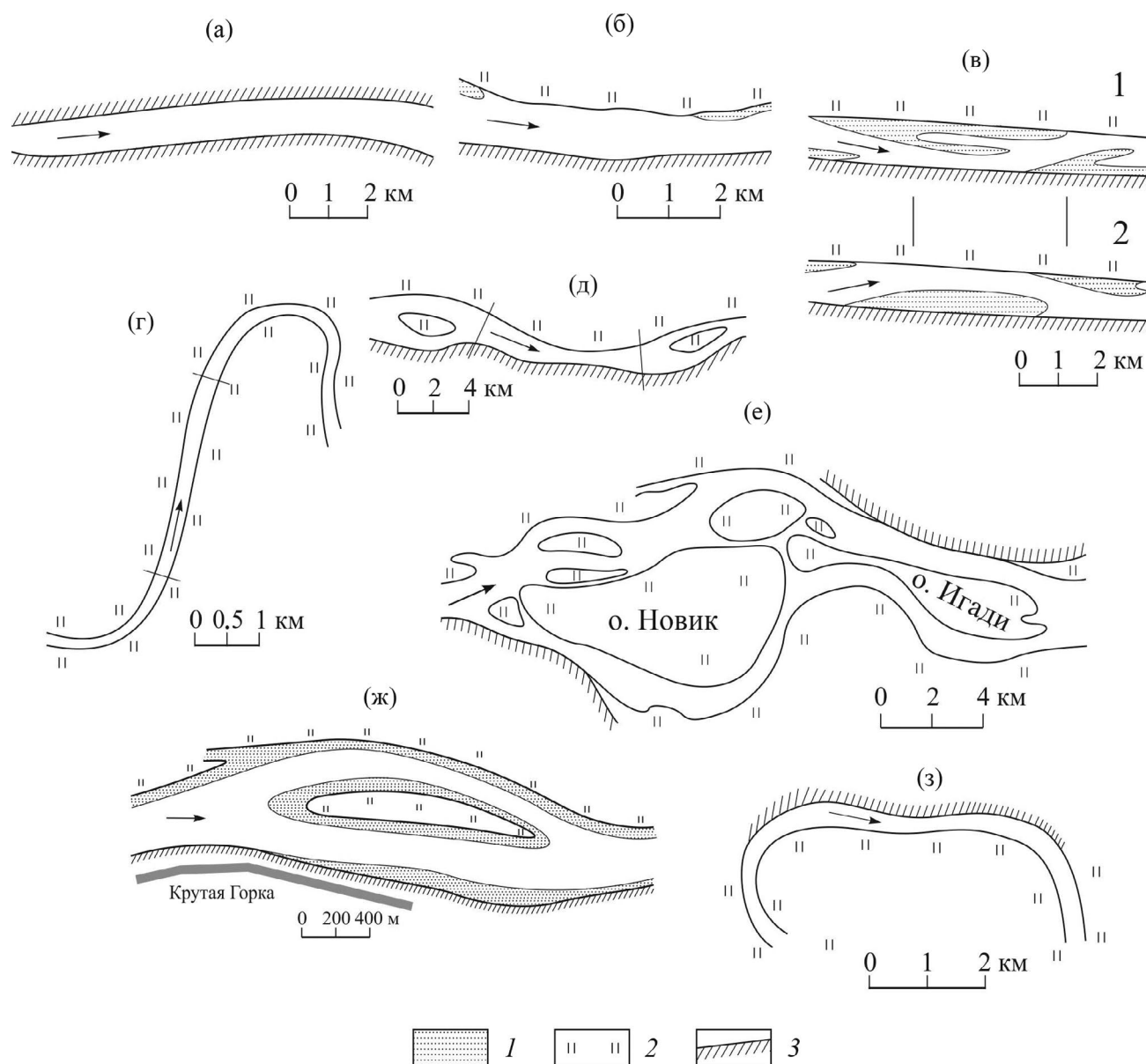
Врезанный характер русла или расположение широкопойменного русла вдоль коренного (ведущего) берега — наиболее распространенная причина формирования их прямолинейности и неразветвленности (рис. 1а, б). К этому добавляется слабая устойчивость (неустойчивость) русла, при

которой большая подвижность побочной и осередков не позволяет им закрепиться растительностью и превратиться в шпору излучины или остров (рис. 1в). Таково, например, русло р. Хуанхэ (Чалов и др., 2000), где полная перестройка руслового рельефа (побочной, осередков) происходит в каждую многоводную фазу режима, хотя в межень русло производит впечатление меандрирующего из-за быстрого появления травяного покрова. Само русло при этом остается прямолинейным, несмотря на интенсивные размывы берегов, фронт которых постоянно меняет свое положение. Такие русла в китайских классификациях часто называют блуждающими.

На горных реках прямолинейность русел связана с большими уклонами, вследствие чего роль тангенциальной составляющей силы тяжести превышает (как и циркуляционных течений при затоплении пойм равнинных рек) влияние неустойчивости прямолинейного движения потока.

На всех реках отклонение потока от коренного берега мысами и выступами (его неровностями) обуславливает незначительность доли этого типа русла и его распространение между формами русла другого типа (смежными излучинами, одиночными разветвлениями), имея вид отдельных коротких фрагментов (рис. 1г, д). На меандрирующих реках прямолинейные участки возникают как следствие остаточной циркуляции потока в нижнем крыле излучины, вследствие чего происходит удлинение места перегиба русла между смежными излучинами (Маккавеев, 1955; Розовский, 1957) вплоть до образования прямолинейной “вставки” между смежными излучинами. На малых реках фактором развития прямолинейности служит незначительность стока наносов, но в условиях их обмеления критерий  $\Theta$  из-за снижения глубины и роста гидравлических сопротивлений  $\lambda$ , в том числе вследствие развития водной растительности, возрастает, и русла начинают разветвляться.

Условия для формирования прямолинейных русел возникают у рукавов разветвлений, в первую очередь, тех из них, которые проходят вдоль коренных берегов. Они характерны для рукавов пойменно-русловых разветвлений, формирующихся обычно на перевале реки от одного борта долины к другому (рис. 1е): один из двух рукавов в верхней своей части проходит возле коренного берега и имеет здесь прямолинейное русло, второй — в нижней части, где русло подходит к противоположному коренному берегу (Чалов, 2023). В русловых [островных — этот термин применял К.В. Гришанин (1972)] разветвлениях один из рукавов может иметь прямолинейное русло по тем же причинам, но, в отличие от пойменно-русловых, оно охватывает рукав по всей его длине (рис. 1ж).



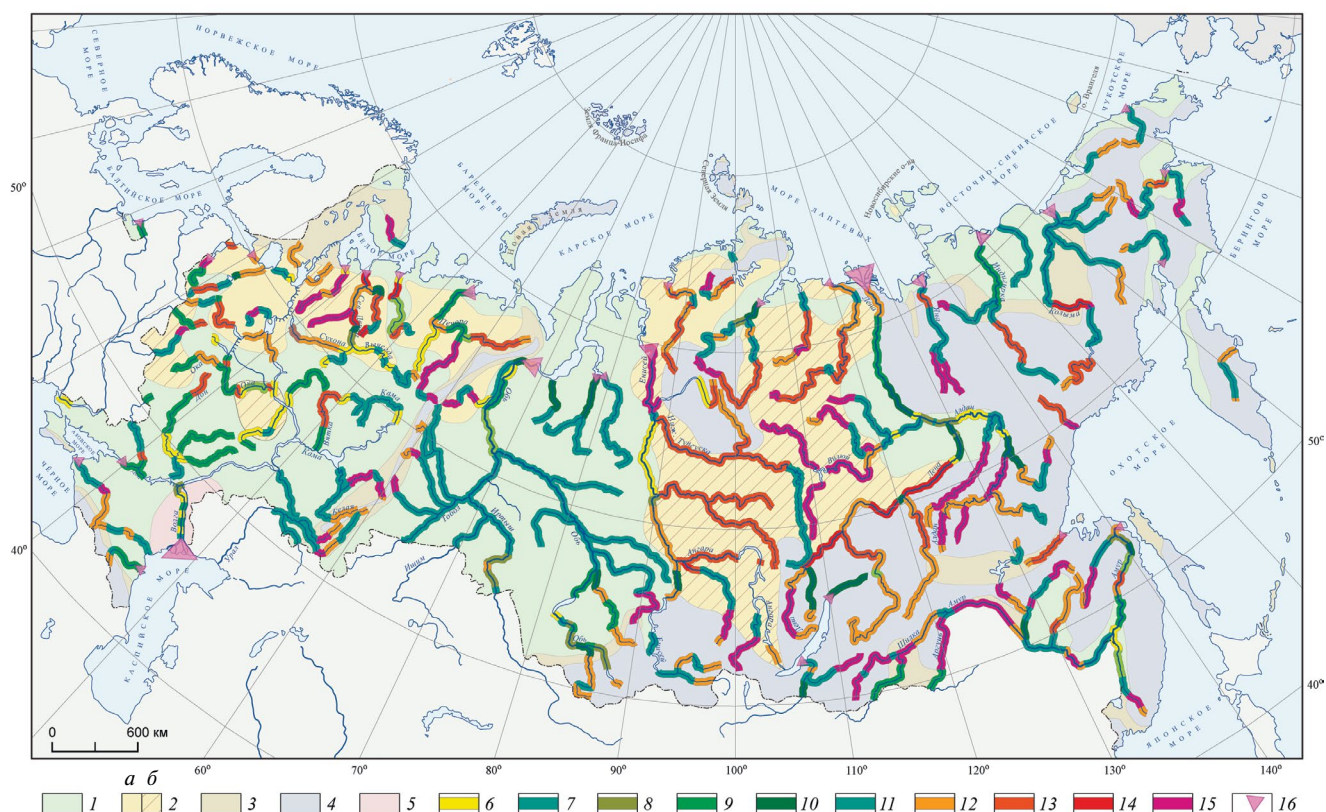
**Рис. 1.** Основные разновидности прямолинейных неразветвленных русел: (а) врезанное русло (р. Ангара, выше слияния с Енисеем); (б) широкопойменное русло вдоль коренного берега (плесовое) (р. Северная Двина, ниже устья р. Вычегды); (в) широкопойменное перекатное русло (р. Хуанхэ), 1, 2 – с изменением положения побочной при смещении перекатов; (г) “вставка” между смежными излучинами (средний Иртыш, ниже устья р. Тары); (д) между островами одиночных разветвлений (нижняя Обь, выше с. Перегрёбное); (е) в рукавах пойменно-русловых разветвлений (нижняя Печора); (ж) рукава руслового (островного) разветвления (р. Иртыш, ниже Омска); (з) на сундучной излучине вдоль коренного берега (средний Иртыш, выше устья Тобола).

1 – прирусловая отмель, 2 – пойма, 3 – коренной берег.

При подходе реки с широкопойменным меандрирующим руслом к коренному берегу возникают вынужденная излучина с нижним крылом вдоль него и адаптированная с верхним крылом возле коренного берега, между которыми в процессе смещения нижнего крыла последней формируется прямолинейный участок. В совокупности они образуют сундучную (или трапезиевидную) излучину (Маккавеев, 1971), прямолинейная вставка между изгибами рус-

ла которой является ее неотъемлемой частью (рис. 1з). Прямолинейное русло возникает также при образовании прорванной излучины, соответствуя вновь возникшему спрямляющему рукаву.

*Распространение прямолинейных русел на реках России.* Для обобщения имеющихся и полученных в ходе исследований материалов и выявления закономерностей условий формирования и распространения прямолинейных



**Рис. 2.** Карта распространения прямолинейных неразветвленных русел на реках России. Районы распространения на малых и средних реках: 1 – равнинные реки с широкопойменным и адаптированным руслом, в основном меандрирующие, но с участками разной протяженности прямолинейных русел; 2 – равнинные реки с врезанным руслом (врезанные излучины, чередующиеся с участками прямолинейного русла): а – в пластичных грунтах, б – в скальных грунтах; 3 – горные реки с развитыми аллювиальными формами и полугорные с разбросанными и сложноразветвленными руслами в внутри- и межгорных котловинах в предгорных зонах; 4 – горные реки с врезанным руслом (порожисто-водопадные, с неразвитыми аллювиальными формами, селевые); 5 – территории с отсутствием речной сети. Большие и крупнейшие реки. Широкопойменные русла: 6 – прямолинейные неразветвленные русла; 7 – прямолинейные русла между одиночными разветвлениями, образующими морфологически однородные участки; 8 – прямолинейные русла основных рукавов в односторонних и двусторонних разветвлениях; 9 – прямолинейные участки (“вставки”) между излучинами и разветвлениями; 10 – прямолинейные рукава в русловых островных разветвлениях; 11 – единичные, эпизодически встречающиеся фрагменты прямолинейного русла на меандрирующих и разветвленных реках. Врезанные русла: 12 – прямолинейные неразветвленные; 13 – прямолинейные участки между врезанными излучинами и разветвлениями; 14 – прямолинейные рукава в разветвленных руслах; 15 – единичные фрагменты прямолинейного русла среди врезанных излучин и разветвлений; 16 – прямолинейные рукава в дельтовых разветвлениях.

русел была составлена мелкомасштабная карта (рис. 2). На малых и средних реках из-за масштаба и возможностей картографирования типы русел не показываются, как это было и на картах русел рек, разветвленных на рукава, и меандрирующих рек (Чалов, Чалова, 2019, 2023), и для их отражения применен метод районирования с выделением территорий, по которым протекают реки с однородными или близкими условиями формирования прямолинейных неразветвленных русел или проявлениями прямолинейности на меандрирующих и разветвленных реках. Большие и крупнейшие реки, а в регионах с отсутствием таковых – наиболее

крупные в них средние реки, показаны вне масштаба полосами вдоль их топографического изображения, цвет которых соответствует тем или иным разновидностям прямолинейных врезанных или широкопойменных русел, образующих морфологически однородные участки, или особенностям распространения прямолинейности среди других морфодинамических типов либо рукавов разветвленных рек. Раздвоенные русла двух крупнейших рек – Оби и Волги – показаны двумя полосами вдоль основных рукавов – Малой (левого) и Горной – Большой (правого) Оби и собственно Волги (правый рукав) и Ахтубы (левый).

Районирование России по условиям развития прямолинейных русел или рукавов разветвлений выполнено цветовым фоном. Всего выделено четыре типа районов — по два для равнинных и горных территорий. На равнинах одна группа районов включает в себя реки в основном с широкопойменными и отчасти с адаптированными (в сужениях долин) руслами, на которых достаточно часто встречаются участки прямолинейных русел различной протяженности. На малых реках это — их верховья (1–3 порядков), где прямолинейность обусловлена малым стоком наносов (Чалов, 2008) и многочисленные участки, где русла проходят вдоль коренных берегов рек. Таковы большая часть Восточно-Европейской равнины (за исключением Среднерусской, Приволжской и других возвышенностей), вся Западная Сибирь, а также Центрально-Якутская, приморские и другие низменности на северо-востоке и Дальнем Востоке. Именно эти регионы (вместе с большими реками) дают в основном 7.4% распространения на реках России широкопойменных прямолинейных русел.

Вторая группа равнинных районов охватывает малые и средние реки с врезанным руслом, на которых лишь иногда встречаются прямолинейные участки. Здесь они характерны для верховьев малых рек или эпизодически образуют короткие “вставки” между врезанными излучинами. В меньшей мере прямолинейные русла встречаются на реках северо-запада и севера Европейской территории России (ЕТР) (кроме Карелии и Кольского полуострова) и чаще на реках Средне-Сибирского плоскогорья, Карелии и Кольского полуострова, восточных областей, где реки врезаны в основном в скальные грунты (на ЕТР — в пластичные и полускальные).

В горных областях выделяются две группы районов: первый охватывает горные реки с развитыми аллювиальными формами и полугорные, русла которых формируются во внутри- и межгорных котловинах (впадинах) или при выходе рек из гор в предгорные зоны, где резко расширяются днища долин (русла становятся широкопойменными или адаптированными) и снижаются уклоны; во вторую входят все горные реки с врезанным руслом, порожиисто-водопадным или с неразвитыми аллювиальными формами. Среди последних преобладают прямолинейные русла, либо, на реках с селевой деятельностью или подверженных воздействию селевых выносов из притоков, — с осередковой разветвленностью на селевых отложениях. Таковы горные районы Северного Кавказа, Урала, Алтая, Саян, Восточной Сибири и Дальнего Востока.

На реках внутригорных котловин и предгорий прямолинейные русла встречаются очень редко, либо характерны для рукавов, разбросанных и других разветвлений, составляющих

морфологический облик этих рек. На карте из-за мелкого масштаба отражены только районы с полугорными реками предгорных зон; внутригорные котловины с эпизодически встречающимися небольшими участками или прямолинейными рукавами имеются во всех горных областях, но в них этот тип русла не является определяющим русловой режим рек.

На больших реках, которые на карте показаны немасштабными полосами, морфологически однородные участки, образованные прямолинейным неразветвленным руслом в свободных условиях развития русловых деформаций (реки с широкопойменным руслом), наиболее часто встречаются на Восточно-Европейской равнине, где они формируются в большинстве своем при расположении реки вдоль коренных берегов, имея, в зависимости от местных особенностей, плесовый или перекаточный характер. Таковы средний Дон и приустьевые участки Хопра и Медведицы, Волга ниже Городецкого гидроузла и на отдельных участках нижнего течения (от г. Волгограда до дельты), нижнее течение Ветлуги, Вычегды в низовьях, выше устья р. Выми и ниже Сыктывкара, Сухона в районе Великого Устюга, Юг в верхнем течении, Вятка в районе Кирова и Кама выше Камского водохранилища. Северная Двина от слияния Юга и Сухоны до с. Ягрыша, где у нее начинается врезанное русло, река, проходя вдоль выравненных в плане то правого (между слиянием рек и устьем Вычегды), то левого (от устья Вычегды до п. Красноборска) берегов имеет плесовое прямолинейное русло. Отходя от коренных берегов, русло разветвляется на рукава (на Малой Северной Двине образует большие излучины), и прямолинейные “вставки” между разветвлениями и излучинами приобретают перекаточный характер. Аналогичные условия формирования прямолинейных русел характерны для большей части Свияги (приток Волги), Цильмы (приток Печоры). Во всех случаях распространение прямолинейных русел (наверное, правильнее говорить об их встречаемости) носит фрагментарный характер на реках ЕТР. Значительно более закономерно образование прямолинейных русел в виде относительно коротких участков (“вставок”) между излучинами (или их сериями) и разветвлениями. Они характерны для многих, в основном меандрирующих, рек ЕТР, особенно ее южной части, встречаясь на всех реках региона и совпадая в этом отношении с распространением здесь этого типа русла на малых и средних реках. Таковы Дон и его основные притоки — Северский Донец, Хопер и Медведица, Ока в верхнем и среднем течении, верхний Днепр, Ветлуга, нижняя Вятка, на которых создается чередование излучин и прямолинейных участков или, реже, разветвлений и прямолинейного рус-

ла. Такие же особенности распространения прямолинейного русла характерны для нижней Печоры. Значительно реже на ЕТР прямолинейные русла лишь эпизодически прерывают их меандрирование, которое по всей длине рек определяет морфодинамический облик их русел. Такая эпизодичность в развитии прямолинейных русел характерна для рек восточных районов ЕТР (верхняя Кама, Белая, Уфа, Урал и другие, а также верховья Вычегды и Печоры).

Подобные условия характерны для большинства рек Западной Сибири за исключением ее юга, где на Иртыше, Оби выше устья Томи, Тазе, Томи и Бии наблюдается чередование разветвлений русла и прямолинейных его участков. Морфологически однородные участки с этим типом русла среди больших рек отмечены только в нижнем течении Северной Сосьвы и на Оби непосредственно выше Новосибирского водохранилища: в обоих местах река проходит вдоль соответственно левого и правого коренных берегов. В нижнем течении Надыма и на Пуре прямолинейное русло создает регулярное чередование с извилистым (меандрирующим) руслом, а на нижней Оби от слияния с Иртышом до начала развоенного русла (п. Перегрёбное) является неотъемлемой частью протяженного участка одиночных разветвлений (их здесь 15, разделенных 10–20-километровыми прямолинейными участками вдоль правого коренного берега; общая протяженность участка 325 км). Такие же протяженные участки чередования одиночных разветвлений и прямолинейного русла характерны для большей части Мезени, имеются на нижнем Амуре и на Уссури, в нижнем течении р. Усы (приток Печоры). Во всех случаях русла располагаются вдоль коренных берегов, имея одностороннюю пойму, и прямолинейный неразветвленный участок прерывается разветвлениями ниже его выступов и мысов в местных расширениях русла. Прямолинейное русло, образующее протяженный морфологически однородный участок имеется только на Енисее между устьями Подкаменной и Нижней Тунгуски; здесь река течет вдоль уступов Средне-Сибирского плоскогорья и имеет галечное плесовое русло.

На других больших реках с широкопойменным руслом (в пределах Центрально-Якутской, приморских на северо-востоке и приамурских низменностей) также наиболее характерным является эпизодическая встречаемость прямолинейных русел среди меандрирующих и разветвленных (Виллюй, Марха, Тюнг, Колыма, Буря и другие) и, реже, с периодическим их чередованием с разветвленным руслом (нижняя Лена, Индигирка, Амур). Но в этих районах на реках с разветвленным руслом прямолинейность характерна для основных рукавов.

Во врезанном русле прямолинейное неразветвленное русло встречается чаще, особенно там, где прямолинейность формируется в скальных (осадочных или кристаллических) грунтах. Оно характерно для многих рек северо-запада ЕТР и особенно для больших равнинных рек Средней и Восточной Сибири, Дальнего Востока, где они образуют протяженные участки на Лене (между устьями Витима и Олекмы), Енисее (по границы Западно-Сибирской равнины), в низовьях Олекмы, на Зее и Бурее, в нижнем течении Шилки, на Анадыре и ряде других рек. Прямолинейность характерна также для верховьев больших рек, берущих начало в горах и имеющих врезанные горные, вплоть до порожи-сто-водопадных, русла.

На реках этих же регионов характерно чередование прямолинейного русла с врезанными излучинами (Подкаменная и Нижняя Тунгуски, Анабар, Оленек, Ангара, Олекма, Индигирка, Яна и др.). На многих реках с врезанными разветвленными руслами прямолинейность характерна для их рукавов, чему способствует относительная суженность долины. В восточных районах страны в этом отношении наиболее показательным является русло средней Лены, особенно ниже слияния с Олекмой, где на протяжении более 100 км на реке сформировались параллельно-рукавные разветвления, в которых между двумя рукавами с прямолинейными руслами вытянута цепочка длинных островов (рис. 3). Такие же прямолинейные рукава характерны для Лены выше по течению, вплоть до устья р. Киренги, но здесь разветвления представлены одиночными или сопряженными типами. На многих больших реках с врезанным руслом прямолинейность проявляется лишь эпизодически, прерывая изредка врезанные излучины и разветвления: верхняя Лена (выше г. Усть-Кута), Зея выше устья Селемджи, верхний Амур и Аргунь, верхний Алдан и Тимптон, верхний и средний Виллюй, верхнее течение Анадыря и др.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прямолинейные неразветвленные русла — один из трех основных морфодинамических типов речных русел — сравнительно редко встречаются в виде протяженных морфологически однородных участков. Это следствие неустойчивости прямолинейного движения потока, и для образования таких участков необходимо воздействие внешних по отношению к потоку факторов. Таковыми являются:

— на реках с широкопойменным руслом (свободные условия развития русловых деформаций) — расположение реки вдоль коренного ведущего берега, выровненного в плане, при



**Рис. 3.** Параллельно-рукавное врезанное русло средней Лены с прямолинейными рукавами (космический снимок).

наличии которого в условиях затепленной поймы возникают направленные циркуляционные течения, обуславливающие размыв русла возле него и аккумуляцию наносов в припойменной части русла;

— на горных реках — большие уклоны, вследствие чего в движении потока доминирует тангенциальная составляющая силы тяжести;

— на реках с врезанным руслом (ограниченные условия развития русловых деформаций) — формирование русел в трудно- или неразмываемых грунтах; относительно малый сток руслообразующих наносов, в результате чего в русле отсутствуют побочники и осередки;

— слабая устойчивость/неустойчивость русел, обуславливающая повышенную интенсивность русловых деформаций, не позволяющую закрепиться растительностью формам руслового рельефа и трансформировать прямолинейное русло в извилистое или разветвленное.

Более распространены короткие прямолинейные отрезки русла (“вставки”) между излучинами и разветвлениями, образующими морфологически однородные участки. На излучинах это — следствие остаточной поперечной циркуляции в потоке в нижнем крыле верхней из двух смежных излучин; спрямление развитых или крутых излучин; развитие сундучных (трапециевидных) излучин, возникающих в процессе эволюции вынужденной и адаптированной возле ведущего берега. В разветвленных руслах “вставки” разной протяженности возникают между островами одиночных разветвлений и звеньями со-

пряженных. Прямолинейные русла характерны для рукавов разветвлений разных типов и структурных уровней (островных, пойменно-русловых и раздвоенных русел). Во врезанных руслах прямолинейность рукавов разветвлений является их наиболее отличительной чертой, особенно на реках, формирующих русло в скальных грунтах. Например, на средней Лене прямолинейными являются рукава параллельно-рукавных разветвлений, образующих морфологически однородный участок длиной более 100 км.

Выявленные условия формирования прямолинейных русел определяют особенности их географического распространения. На территории России при свободном развитии русловых деформаций (на реках с широкопойменным руслом) морфологически однородные участки, образованные этим типом русла, характерны для южной половины европейской части, Западной Сибири и низменностей Восточной Сибири, северо-востока и Дальнего Востока. В этих же регионах на реках с меандрирующим и разветвленным руслом встречаются прямолинейные “вставки” между излучинами и островами; прямолинейностью отличаются рукава разветвлений, особенно при расположении их возле коренных берегов. Более распространена прямолинейность русел, образующих морфологически однородные участки, и свойственная рукавам разветвлений на реках с врезанным руслом, особенно в скальных грунтах. Таковы реки Средне-Сибирского плоскогорья, Карелии, горных районов. В горных областях прямолиней-

ные русла наиболее характерны для рек с горными типами русла — порожиисто-водопадными и с неразвитыми аллювиальными формами.

Выделение прямолинейных участков речных русел и особенно их трансформируемость (преобразование в извилистое или разветвленное русло) или относительная стабильность (нетрансформируемость) — важные условия при освоении рек и приречных территорий, использовании водных и других речных ресурсов, в частности, при выборе мест мостовых и подводных переходов, водозаборов и водовыпусков и т.д.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Выполнено по планам НИР кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова (исходные фондовые материалы и их обобщение) при финансовой поддержке РНФ — проект № 23-17-00065 (натурные исследования 2023 г., гидролого-морфологический анализ).

## FUNDING

The paper is prepared according to the plans of the research work of the Department of Land Hydrology and the N.I. Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes, Moscow State University (initial stock materials and their generalization) with financial support of the Russian Science Foundation (project no. 23-17-00065; field research 2023, hydrological and morphological analysis).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гришанин К.В. Теория руслового процесса. М.: Транспорт, 1972. 216 с.
- Гришанин К.В., Замышляев В.И. Возникновение меандрирования рек как проблема гидродинамической неустойчивости // Тр. ГГИ. 1985. Вып. 301. С. 5–12.
- Иванов В.В. Условия формирования, гидролого-морфометрические зависимости и деформации относительно прямолинейных, неразветвленных русел. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1989. 23 с.
- Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 288 с.
- Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снитченко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 272 с.
- Маккавеев Н.И. Сток и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1971. 116 с.
- Розовский И.Л. Движение воды на повороте открытого русла. Киев: Изд-во АН УССР, 1957. 188 с.
- Россинский К.И., Кузьмин И.А. Некоторые вопросы прикладной теории формирования речных русел // Проблемы регулирования речного стока. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1947. С. 88–129.
- Россинский К.И., Кузьмин И.А. Закономерности формирования речных русел // Русловые процессы. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 5–14.
- Русловые процессы на реках СССР, М-б 1 : 4000000. М.: ГУГК СССР, 1990. 4 л.
- Русловой режим рек Северной Евразии. М.: Изд-во МГУ, 1994. 336 с.
- Цянь Нин, Чжань Жэнь, Чжоу Цзыдэ. Русловые процессы. Пекин: Наука, 1987. 584 с. (на китайском языке).
- Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
- Чалов Р.С. Русловые процессы на реках СССР и методика их мелкомасштабного картографирования // Тр. V Всесоюз. Гидрол. Съезда. Т. 10. Русловые процессы и наносы. Л., 1988. С. 259–266.
- Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
- Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: Изд-во КРАСАНД, 2011. 960 с.
- Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В., Лодина Р.В., Панин А.В. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: Геос, 1998. 288 с.
- Чалов Р.С., Беркович К.М., Кирик О.М., Сваткова Т.Г. Применение картографического метода при изучении русловых процессов // География и природные ресурсы. 1986. № 3. С. 10–16.
- Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: Изд-во МГУ, 2000. 216 с.
- Чалов Р.С., Чалов С.Р. Дискретные свойства русловых процессов и их отражение в морфодинамике речных русел // Водные ресурсы. 2023. Т. 87. № 2. С. 234–249.
- Чалов Р.С., Чалова Е.Р. География русел рек, разветвленных на рукава, на территории России // Изв. РГО, 2019. Т. 151. Вып. 6. С. 28–34.
- Чалов Р.С., Чалова Е.Р. География меандрирования русел рек России // География и природные ресурсы. 2023. № 4. (В печати).
- Чэнкуань Л. Классификация речных русел // Вест. Нанкин. ун-та. 1963. № 1. (на китайском языке).
- Шэн Юйчан, Гун Гоюань. Речная геоморфология. Пекин: Наука, 1986. (на китайском языке).
- Rosgen D.L. A classification of natural rivers // Catena. 1994. № 22. P. 168–199.
- Schumm S.A. The fluvial system. 1977. 338 p.
- Shen H.W., Schumm S.A., Doehring D.O. Stability of stream channel patterns // Transp. Res. Rec. 1979. № 736. P. 22–38.

## Geography of Unbranched Channels and Conditions for Their Formation

R. S. Chalov<sup>a, \*</sup>, E. R. Chalova<sup>a, \*\*</sup>, and G. B. Golubtsov<sup>a, \*\*\*</sup>

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

<sup>\*</sup>*e-mail: rschalov@mail.ru*

<sup>\*\*</sup>*e-mail: ekar28@yandex.ru*

<sup>\*\*\*</sup>*e-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru*

A geographical analysis is given of the conditions for the development and distribution of rectilinear unbranched channels, forming morphologically homogeneous areas, “inserts” between bends and islands in meandering and braided rivers, as well as channel branches (island branches), floodplain channel branches, and bifurcated channels. It is shown that morphologically homogeneous areas with this type of channel are relatively rare on rivers, which is associated with the instability of rectilinear flow movement. The conditions under which the formation of straight channels is possible are identified: the location of wide floodplain channels along the bedrock banks, on rivers with an incised channel, etc. The developed small-scale map shows the zoning of the territory of Russia according to the distribution of straight, unbranched channels and their occurrence on small and medium-sized rivers with other types of channels. On large and large rivers, sections of straight channels are identified, as well as manifestations of straightness in the form of “inserts” between adjacent bends and branches of different types, in branches of branches of different morphodynamic types and structural levels. The reasons and conditions of transformation of straight channels into sinuous and branched (transforming) channels or their non-transformability in different regions of the country are considered.

**Keywords:** channel processes, straight unbranched channels, typification, morphodynamics of channels, branches, meanders, flow movement, transformation of channels, stability of channels

### REFERENCES

- Chalov R.S. *Geograficheskie issledovaniya ruslovykh protsessov* [Geographic Studies of Channel Processes]. Moscow: Izd-vo Mosk. Gos. Univ., 1979. 232 p.
- Chalov R.S. Channel processes of the USSR rivers and their small-scale mapping. In *Trudy 5 Vsesoyuz. Gidrol. S'yezda. T. 10. Ruslovye protsessy i nanosy* [Proc. of the 5th All-Union. Hydrol. Congress. Vol. 10. Channel Processes and Sedimentation]. Leningrad, 1988, pp. 259–266. (In Russ.).
- Chalov R.S. *Ruslovedenie: Teoriya, geografiya, praktika. T. 1. Ruslovye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* [Theory, Geography, Practice. Vol. 1. Channel Processes: Factors, Mechanisms, Forms and Conditions of Channel Formation]. Moscow: LKI Publ., 2008. 608 p.
- Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 2. Morfodinamika rechnykh rusel* [Riverbed Science: Theory, Geography, Practice. Vol. 2: Morphodynamics of River Channels]. Moscow: KRASAND Publ., 2011. 960 p.
- Chalov R.S., Alabyan A.M., Ivanov V.V., Lodina R.V., Panin A.V. *Morfodinamika rusel ravninnykh rek* [Riverbed Morphodynamics of Plain Rivers]. Moscow: GEOS Publ., 1998. 288 p.
- Chalov R.S., Berkovich K.M., Kirik O.M., Svatkova T.G. Application of the cartographic method in the study of channel processes. *Geogr. Prir. Resur.*, 1986, no. 3, pp. 10–16. (In Russ.).
- Chalov R.S., Chalov S.R. Discrete properties of channel processes and their reflection in the morphodynamics of river channels. *Vodn. Resur.*, 2023, vol. 87, no. 2, pp. 234–249. (In Russ.).
- Chalov R.S., Chalova E.R. Geography of branched rivers on the territory of Russia. *Izv. RGO*, 2019, vol. 151, no. 6, pp. 28–34. (In Russ.).
- Chalov R.S., Chalova E.R. Geographical patterns of river channel meandering in Russia. *Geogr. Nat. Resour.*, 2023, vol. 44, pp. 198–207.  
<https://doi.org/10.1134/S1875372823030034>
- Chalov R.S., Shuguan L., Alekseevskii N.I. *Stok nanosov i ruslovye protsessy na bol'shikh rekakh Rossii i Kitaya* [Sediment Runoff and Channel Processes in Large Rivers in Russia and China]. Moscow: Izd-vo Mosk. Gos. Univ., 2000. 216 p.
- Chenkuan L. *Riverbed classification*. Nankin Univ. Publ., 1963, no. 1, pp. i–i. (In Chinese).
- Grishanin K.V. *Teoriya ruslovogo protsessa* [Channel Process Theory]. Moscow: Transport Publ., 1972. 216 p.
- Grishanin K.V., Zamyshlyayev V.I. The emergence of river meandering as a problem of hydrodynamic instability. *Tr. GGI*, 1985, vol. 301, pp. 5–12. (In Russ.).
- Ivanov V.V. Formation conditions, hydrological-morphometric dependencies and deformations of relatively straight, unbranched channels. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Moscow State Univ., 1989. 23 p.

- Karasev I.F. *Ruslovyie protsessy pri perebroske stoka* [Channel Processes During Runoff Diversion]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1975. 288 p.
- Kondrat'ev N.E., Popov I.V., Snishchenko B.F. *Osnovy gidromorfologicheskoi teorii ruslovogo protsessa* [The Basics of Hydromorphological Theory of Channel Processes]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1982. 272 p.
- Makkaveev N.I. *Stok i ruslovyie protsessy* [Runoff and Channel Processes]. Moscow: Izd-vo Mosk. Gos. Univ., 1971. 116 p.
- Rosgen D.L. A classification of natural rivers. *Catena*, 1994, vol. 22, pp. 169–199.
- Rossinskii K.I., Kuz'min I.A. Some issues of the applied theory of river channel formation. In *Problemy regulirovaniya rechnogo stoka* [Problems of River Flow Regulation]. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1947, pp. 88–129. (In Russ.).
- Rossinskii K.I., Kuz'min I.A. Patterns of formation of river channels. In *Ruslovyie protsessy* [Channel Processes]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1958, pp. 5–14. (In Russ.).
- Rozovskii I.L. *Dvizhenie vody na povorote otkrytogo rusla* [Movement of Water at a Bend in an Open Channel]. Kiev: Izd-vo AN SSSR, 1957. 188 p.
- Ruslovoi rezhim rek severnoi Evrazii* [Channel Regime of North Eurasia Rivers]. Moscow: Izd-vo Mosk. Gos. Univ., 1994. 336 p.
- Ruslovyie protsessy na rekakh SSSR, 1 : 4000000* [Channel Processes on the USSR Rivers, 1 : 4000000]. Moscow: GUGK SSSR, 1990. 4 p.
- Shen H.W., Schumm S.A., Doehring D.O. Stability of stream channel patterns. *Transp. Res. Rec.*, 1979, no. 736, pp. 22–38.
- Shen Yuichan, Gun Goyuan. *River Geomorphology*. Pekin: Nauka Publ. 1986.
- The fluvial system*. Schumm S.A., Ed. New York: Wiley, 1977. 338 p.
- Tsyan Nin, Chzhan Zhen, Chzhou Tszyde. *Channel Processes*. Pekin: Nauka Publ., 1987. 584 p.