

УДК 556.5:551.4.04(075.8)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОГРАФО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ В УЧЕНИИ О РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССАХ (ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РУСЛОВЕДЕНИЕ): ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

Р.С. Чалов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет
rschalov@mail.ru

Поступила в редакцию 12.01.2026

После доработки 28.01.2026

Принята к публикации 05.02.2026

Аннотация. Статья посвящена анализу современного состояния географо-гидрологического направления в изучении условий формирования, морфологии и динамики речных русел. Приводится историческая справка и дается оценка роли Н.И. Маккавеева в создании данного направления и соответствующей научной школы, обосновывается значение географо-гидрологического подхода в развитии учения о русловых процессах (русловедения) и решении связанных с ним прикладных задач, показывается соотношение с гидроморфологической теорией руслового процесса ГГИ, гидродинамическим и гидротехническим подходами. Последовательно рассматриваются основные положения направления: механизм и формы проявления русловых процессов на равнинных, полугорных и горных реках; сток рек и их водный режим как ведущие факторы русловых процессов (малые и большие реки); геолого-геоморфологические условия формирования русел (свободное и ограниченное развитие русловых деформаций); сток и состав наносов; вертикальные русловые деформации (врезание и аккумуляция наносов); морфодинамические типы русел, их разнообразие и их эволюция; грядовое движение наносов и формирование руслового рельефа; поймы рек как производные русловых процессов и их фактор; палеорусловой анализ и прогнозирование русловых переформирований при гидроклиматических изменениях и антропогенных воздействиях; русловые процессы как составная часть эрозионно-русловых систем.

Ключевые слова: русловые процессы; горные и равнинные, большие и малые реки; свободные и ограниченные русловые деформации; морфодинамика русел; перекаты и пороги; поймы рек; палеорусловой анализ

DOI: [10.71367/3034-4638-2026-1-1-89-104](https://doi.org/10.71367/3034-4638-2026-1-1-89-104)

ВВЕДЕНИЕ

Учение о русловых процессах — междисциплинарная наука, развивающаяся на стыке гидрологии суши и флювиальной геоморфологии, с одной стороны, гидродинамики и гидротехники, с другой. Как отрасль знаний, она возникла на рубеже XIX и XX вв. при решении практических задач, связанных с освоением речных ресурсов, в первую очередь рек как водных путей сообщения, и защитой инженерных и других объектов от опасного и неблагоприятного воздействия водных потоков (размывов берегов, наводнений и пр.). Первые публикации, заложившие основы теории русловых процессов (хотя сам термин появился намного позднее), принадлежали инженерам-путейцам В.М. Лохтину

(1897) и Н.С. Лебявскому (1898), деятельность которых была посвящена освоению рек как водных путей сообщения. Но уже в их трудах, особенно в работе В.М. Лохтина «О механизме речного русла» (1897), была показана зависимость руслоформирующей деятельности рек от природных условий и взаимодействие водных потоков с грунтами, слагающими русла рек. Тем не менее до 1940-х гг. изучение русловых процессов осуществлялось в рамках технических наук — гидравлики, в которой стала выделяться динамика русловых (или водных) потоков (гидродинамика, или речная гидравлика), и гидротехники (русловая, или речная, гидротехника), непосредственно занимающейся

решением производственных задач. В это же время появились термин «русловой режим рек» (Маккавеев, 1949) и словосочетание «русловые процессы» (без его определения), впервые примененное М.И. Львовичем (1936), связавшие эти процессы с формированием на малых реках при переносе наносов россыпных месторождений золота. Тогда же Н.И. Маккавеев, работая в НИИ речного флота, но будучи профессионалом-географом, в своих научных трудах обосновал природоведческий (географо-гидрологический) подход не только к исследованиям русловых процессов¹, но и к разработке методов управления ими на судоходных реках (Маккавеев, Советов, 1940; Маккавеев, 1949)². Окончательно русловые процессы как раздел географической науки (гидрологии, геоморфологии) стали изучаться после защиты Н.И. Маккавеевым в 1953 г. докторской диссертации, выхода в свет его классической монографии «Русло реки и эрозия в ее бассейне» (1955) и организации им на географическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова сначала соответствующих научных исследований и учебных курсов, а в 1969 г. — научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов, носящей сейчас его имя.

В настоящее время географо-гидрологическое направление в учении о русловых процессах, получившее свое название — русловедение, продолжает и развивает теорию и методологию, разработанную Н.И. Маккавеевым, представляет собой одну из трех основных научных школ в изучении русловых процессов. Его особенностью являются, во-первых, реализация триединства «наука—образование—практика», обеспечивающего совмещение фундаментальных теоретических исследований русловых процессов и руслового режима рек в разных природных условиях, их применения на основе выявленных закономерностей русловых деформаций к обоснованию методов и приемов управления русловыми процессами и подготовки специалистов, в том числе высшей квалификации.

Существенную роль в становлении географо-гидрологического направления в учении о русловых процессах сыграли труды географов, геоморфологов и геологов В.В. Докучаева, А.П. Павлова, В.В. Ламакина, Е.В. Шанцера и других, которые, изучая рельеф, историю развития речных долин и слагающих речные террасы и поймы аллювиальных отложений, обратили внимание на морфологию

русел, их временную изменчивость и зависимость от природных условий. Однако их исследования осуществлялись независимо от работы водных потоков, стока и перемещения наносов. В известной мере исключение представляла монография Е.В. Шанцера (1951), которому, наверное, впервые принадлежала попытка применения законов гидравлики к объяснению морфологии русел и речных отложений.

Объединение геолого-геоморфологического изучения речных русел и гидродинамического подхода к изучению русловых процессов произошло в 1950-е гг. благодаря упомянутым трудам Н.И. Маккавеева, приведшим к созданию географо-гидрологического направления (научной школы) в изучении русловых процессов, и работам Н.Е. Кондратьева и И.В. Попова, впервые обобщенным в монографии «Русловой процесс» (Кондратьев, Ляпин и др., 1959), явившейся основой создания «гидроморфологической теории руслового процесса». Это второе направление в природоведческом изучении русловых процессов, активно развивавшееся в 1960—1980-е гг. (Попов, 1965; Кондратьев и др., 1982), получило официальное признание благодаря включению его результатов в различные нормативные документы по учету русловых процессов при решении практических задач, связанных с использованием водных и других речных ресурсов, гидротехническим строительством на реках и т. д. (кроме водных путей на реках). Оба эти направления различаются, иногда существенно, в методологических подходах к типизации русловых процессов, терминологии и решению некоторых теоретических вопросов. Согласование их и сближение обуславливают прогресс в развитии учения о русловых процессах и его применении в практических целях.

Третье направление, сохраняющееся в рамках инженерно-технического подхода к изучению русловых процессов, — гидродинамическое, продолжающее традиции его основоположников (М.А. Великанова, И.И. Леви, В.Н. Гончарова, К.В. Гришанина, А.В. Караушева и др.), решение теоретических и прикладных проблем русловых процессов на основе законов гидравлики и гидродинамики, определяющих механизмы воздействия потоков на грунты и русла рек. При этом в рамках географо-гидрологического и гидроморфологического направлений использование результатов гидродинамических исследований создает физи-

¹ В науку это понятие было введено и дано его определение М.А. Великановым (1946), который в те годы был сотрудником отдела геоморфологии Института географии АН СССР.

² Кандидатская диссертация Н.И. Маккавеева, защищенная в 1941 г. в ЛГПИ им. А.И. Герцена, называлась «Механизм формирования русел равнинных рек СССР».

ческую основу для понимания механизмов русловых процессов на реках, протекающих в разных природных условиях, что проявляется в издании общих трудов, объединяющих природоведческие и технические (гидравлико-гидротехнические) подходы к их изучению (Барышников, Попов, 1988; Гладков и др., 2016).

Теоретические, методологические и прикладные аспекты географо-гидрологического направления в учении о русловых процессах получили дальнейшее развитие в трудах самого Н.И. Маккавеева и под его руководством (Маккавеев, Хмелева и др., 1961; Проектирование ..., 1964; Маккавеев, 1971; Маккавеев, Чалов, 1986), были обобщены в монографии (Чалов, 2008, 2011, 2019) и в сжатом виде в статье (Чалов, 2012), в работах его учеников и прямых последователей (Сидорчук, 1992; Алексеевский, 1998; Беркович, 2001; Чернов, 2013), а также получили широкое распространение в научных исследованиях в России и за рубежом (Шэнь Юйчан, Гун Гоюань, 1986; Бутаков, Назаров и др., 2000; Babiński, 2002; Назаров, Егоркина, 2004; Рысин, Петухова, 2006; Махинов, Лю Шугуан, 2013; Ободовский, 2017; Середовских, 2022).

Цель настоящей статьи – дать анализ современного (на уровне 2020-х гг.) состояния и основных положений этого направления, основу которого составляет представление о русловых процессах как гидромеханическом явлении («взаимодействие потока и русла определяет самоё основу и динамическую сущность руслового процесса» (Великанов, 1958, с. 14)), развитие и проявление которого в морфологии и динамике речных русел зависит от водоносности и водного режима рек, кинематики, гидродинамической структуры потока и их пространственно-временных изменений, геолого-геоморфологических и других природных условий, в которых протекают реки, формируя свои русла. Эти положения вытекают из определения русловых процессов (Маккавеев, Чалов, 1986, с. 4; Чалов, 2008, 2017, с. 15) как «совокупность явлений, связанных взаимодействием потока и грунтов, слагающих ложе реки, эрозией, транспортом и аккумуляцией наносов, определяющих размывы дна и берегов рек, развитие различных форм русел и форм руслового рельефа, режим их сезонных, многолетних и вековых изменений». Ниже рассматриваются основные итоги выполненных исследований, позволяющие оценить современный уровень географо-гидрологического направления в русловедении и получить представление о его основных теоретических положениях.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РУСЛОВЕДЕНИЯ

1. Взаимодействие водного потока с руслом и особенности транспорта наносов, поступающих в реки в результате воздействия потока на грунты, слагающие их ложе и берега, а также с территории водосбора, определяется кинематикой потока, зависящей от продольного уклона, крупности наносов, являющихся руслообразующими, и размеров самого потока (его водоносностью и мощностью), с одной стороны, и устойчивостью грунтов к размыву, с другой. Поэтому все реки разделяются по типу русловых процессов на равнинные со спокойными потоками и горные с бурными. Промежуточное положение занимают полугорные реки, кинематический режим которых неодинаков в разные фазы водного режима – бурный в половодья и в паводки, спокойный в межень. При этом степень кинетичности у бурных потоков и, как следствие, ее проявление в форме транспорта наносов зависят от водности потока и крупности галечно-валунных наносов, определяя разделение русел рек на порожисто-водопадные, с неразвитыми (безгрязное движение наносов) и развитыми аллювиальными формами (гряздами) (Чалов, 1979, 2008), отличающиеся по уклонам в пределах от первых ‰ до сотен ‰.

Горные реки (по русловым процессам) – прерогатива их распространения в горных странах, где они сменяются полугорными во внутри- и межгорных впадинах и в предгорьях, где обычно происходит резкое уменьшение уклонов. При этом вследствие того, что продольные профили рек, приближаясь по мере своего развития к выработанным, имеют форму, описываемую зависимостями $IQ^m = \text{const}$ (Маккавеев, 1955) или, с учетом крупности наносов, $IQ^m d^n = \text{const}$ (Чалов, 2008), все большие и средние реки в горах являются полугорными и равнинными и только в верховьях горными. Вместе с тем на равнинных территориях малые реки, беря начало на возвышенностях и при поступлении в них галечно-валунного материала, тоже имеют горное русло.

Формирование русел горных рек во многом определяется чередованием по их длине участков с большими или относительно меньшими уклонами, составом горных пород, степенью их выветрелости и селевой деятельностью как на самих реках, обычно в их верховьях, так и на их притоках, поставляющих в русла огромное количество наносов, значительно превышающее их транспортирующую способность. Поэтому наряду с обычными морфодинамическими разновидностями русел (излучинами, разветвления-

ми, прямолинейными участками), но со спецификой, связанной с кинематикой потоков, для горных рек характерны специфические их проявления в виде аллювиальных полей и селевых русел, причем различия для рек, по которым проходят сели, и рек, в которые впадают селевые притоки, заключаются в создании на последних ступенчатости продольных профилей; присущими только горным рекам являются русла с неразвитыми аллювиальными формами руслового рельефа, порожисто-водопадные и скальные крутонаклонные «лотки», характерные для их верховьев, и скальные водопады (Чалов, 2008).

2. Водоносность рек и их водный режим (сезонные многолетние колебания стока воды) — основной активный фактор русловых процессов, в наибольшей степени зависящий от географических условий формирования стока и подчиняющийся географической зональности. Определяя мощность потока и возрастая вниз по течению, он обеспечивает закономерное изменение кинетичности, гидравлических характеристик и структуры потоков, морфометрических (ширина, глубина) и морфологических параметров русел, их форм и форм руслового рельефа (ряд разных размеров), а также, при прочих равных условиях, — интенсивность русловых деформаций, проявляющуюся в размывах берегов рек, смещении перекатов и других гряд, спрямлении излучин, периодичности развития рукавов разветвленных русел и т. д. При неизменном водном стоке, но в зависимости от растекания потока в многоводную фазу водного режима по пойме или его рассредоточения по рукавам и протокам происходят постоянные изменения удельной величины расхода воды: во врезанном беспойменном русле во все фазы режима поток сосредоточен в русле, на реках с широкопойменным руслом в многоводную фазу в нем остается от 90 до 30% расхода воды; на реках с разветвленным руслом доля стока в рукавах и протоках колеблется от первых процентов до 50%, разделяя в последнем случае поток на равные части, причем одновременно при затоплении береговой поймы и островов происходит еще большее снижение удельного расхода воды в русле. Это определяет реальное соотношение $\pi = aQ$, где π — параметры формы русел, Q — расход воды, a — коэффициент, зависящий от рассредоточенности потока по пойме разной ширины и степени разветвленности русла.

С другой стороны, зависимости параметров русла (излучин, разветвлений) неодинаковы на реках, различающихся по водному режиму. Для меандрирующих рек величина коэффициента k в формуле $r = kQ$ (r — радиус кривизны излучин) зависит от внутрigoдовой неравномерности стока

$k = f\left(\frac{Q_{cp}}{Q_{max}}\right)$ (Завадский, 2000). В разветвлениях размеры островов при одном и том же морфодинамическом типе русла оказываются различными при практически одинаковой водности во врезанном и широкопойменном русле. На средней Лене в первом случае параллельно-рукавные разветвления образованы большими островами с соотношением длины и ширины 1.5:1—5:1; во втором — многочисленными элементарными, малыми и средними островами, разделяющими основные рукава, вследствие чего их водность сокращается до 20—30%, тогда как остальная часть стока распределяется по второстепенным маловодным межостровным протокам.

В зависимости от водности равнинные реки, характеризуясь малыми уклонами (доли ‰) и чрезвычайно большим диапазоном водоносности (от ручьев до крупнейших рек), по русловым процессам разделяются на малые, у которых соотношение их ширины b_p и глубины h имеет соизмеримые или близкие величины (от 2:1 до 10—15:1), средние, большие и крупнейшие с соотношением b_p/h сотни и даже тысячи единиц (при $b_p = 10$ км и $h_{max} = 20$ м в межень $b_p/h = 1000$). Это определяет различную гидравлическую структуру потока и, как следствие, различные условия для образования и развития форм русла и руслового рельефа и их переформирования. Во-первых, при прочих равных условиях увеличение водности реки, сопровождающееся ростом b_p/h , обуславливает разделение потока на ветви течения. Согласно критерию квазиоднородности потока (Карасёв, 1975) $\theta = (b_p/h)\sqrt{\lambda}$ ($\lambda = 2g/C^2$ — коэффициент гидравлических сопротивлений, C — коэффициент Шези), при значении $\theta < 4.5$ поток имеет форму компактной струи и четко выраженную динамическую ось (стрежень), при $\theta > 4.5$ возникает широкая стрежневая зона, занимающая до 2/3 ширины русла, и при $\theta > 9.5$ поток разделяется на две и более ветвей, между которыми скорости потока меньше и создаются условия для аккумуляции наносов. При отсутствии их дефицита это приводит к развитию разветвлений, свойственных большим и крупнейшим рекам; на малых реках они проявляются при обмелении рек, сопровождающемся расширением русла и снижением глубины. Во-вторых, при образовании излучин на малых реках при соотношении $b_p/h < 15-20$ возникают винтообразные циркуляционные течения (Потапов, 1936; Львович, 1938; Маккавеев, 1955). На реках с $b_p/h > 15-20$ (средние и большие), а также в узлах разветвления и слияния рукавов «поперечная» циркуляция представляет собой отклонение донных струй потока от поверхностных в сторону

выпуклого берега, к берегу, противоположному оголовку острова, или к его ухвостью. Это обуславливает формирование на малых реках крутых петлеобразных излучин, у которых значения показателя формы r/h_n (r – радиус кривизны, h_n – стрела прогиба излучины) минимальные, увеличиваясь вниз по течению (Чалов и др., 2004).

В-третьих, на малых, средних и больших реках (на последних до $b_p = 1-1.5$ км при максимальной глубине плёсовых лощин 10–15 м от меженного уровня) формируются перекаты как единые гряды, как правило, соизмеримые с параметрами русла, пересекающие его от берега до берега. При больших значениях ширины русла перекаты состоят из двух или нескольких гряд, образующих самостоятельные побочки или осередки.

В-четвертых, в отличие от горных рек, являющихся только галечно-валунными, равнинные в этом отношении по составу наносов очень разнообразны – от песчано-илистых и песчаных до галечно-валунных в зависимости от геолого-геоморфологических условий формирования русел. При этом на галечно-валунных равнинных реках существуют только гряды-перекаты, соизмеримые с размерами русла, и их перемещение происходит только в многоводную фазу режима на расстоянии в пределах первых метров – 10–15 м/год. На реках с песчано-илистым руслом возможно безгрядовое движение наносов, поскольку в этом случае скорость потока $V \gg V_n$, т. е. больше неразмывающей для наносов данной крупности. Это обуславливает массовое взвешивание наносов, повышенную мутность потока и общий большой сток наносов при абсолютном преобладании стока взвешенных. На песчаных реках формируются гряды всех размеров от макро- до ультрамикромформ, причем при сезонной изменчивости водности и гидравлических характеристик потока происходит трансформация форм грядового движения наносов.

3. Геологическое строение территорий, по которым протекают реки, определяет различные условия формирования русел. В горных регионах абсолютно преобладают горные реки, по типу русловых процессов, и лишь большие реки являются равнинными, но во всех случаях галечными или галечно-валунными. На равнинных территориях реки почти исключительно равнинные, и лишь на возвышенностях в верховьях встречаются горные участки. Рыхлые (песчаные или галечно-валунные), пластичные или скальные (осадочные или кристаллические) грунты и их размываемость, горные массивы с чередованием узких ущелий при пересечении хребтов и внутригорных впадин, низменностей или возвышенностей, создающие изменения ширины

днищ долин, их периодические сужения и расширения, высоты и строения берегов, уклонов, крупности руслообразующих наносов – таков далеко не полный перечень геолого-геоморфологических факторов, определяющих проявление русловых процессов как следствие взаимодействия потока и русла. С ними связаны свободные и ограниченные условия развития русловых деформаций и формирование соответствующих им врезанных (ширина поймы $B_n < b_p$ или пойма отсутствует) и широкопойменных русел ($B_n > 6-7b_p$ на малых, $B_n > 2-3b_p$ на средних и больших реках). Ширина врезанных русел при неизменности величины стока колеблется в пределах до 2–3 раз, что соответствует или стеснению потока, увеличению скорости и повышению его транспортирующей способности, или снижению данных параметров, формированию прирусловых отмелей и разветвлений. У широкопойменных русел ширина поймы иногда превышает ширину русла в 20–30 раз, вызывая растекание потока при ее затоплении и снижая удельные значения русловой составляющей расхода воды. Это способствует на малых реках активному меандрированию с образованием очень крутых петлеобразных излучин, на больших – либо идет формирование раздвоенных русел на большом их протяжении (на Оби это почти весь широтный участок среднего течения от г. Нижневартовска до слияния с Иртышом и более чем 300-километровый участок нижней Оби, где ширина поймы достигает 60 км при суммарной ширине обоих рукавов 3–4 км), либо, несмотря на высокую водоносность, при которой обычно реки разветвляются на рукава (р. Лена в пределах Центрально-Якутской низменности, где $B_n = 2-2.5b_p$ при $b_p = 10-26$ км), формируются излучины, лишь осложненные островами в привершинных частях или на их крыльях (нижний Иртыш, средняя Обь между устьем р. Томи и г. Нижневартовском). Промежуточное положение между врезанными и широкопойменными занимают адаптированные русла, у которых $b_p < B_n < 2-3(6-7)b_p$ на больших и малых (показатель в скобках) реках. Они обычно свойственны рекам, протекающим в предгорьях, на склонах возвышенностей, сложенных пластичными грунтами, в сужениях долин.

В зависимости от состава грунтов, слагающих русла рек и их берега, а иногда и их водосборную площадь, находится сток наносов – его дефицит, при котором реки имеют коренное (часто скальное) ложе (таковы многие реки Средней и Восточной Сибири – Ангара, Подкаменная Тунгуска и Нижняя Тунгуска, Витим, верхний Алдан) или величину стока, превышающую транспортирующую способность потока, что обуславливает направленную

аккумуляцию наносов (Хуанхэ, Янцзы, Амударья, Терек в нижнем течении), или близкую к ней, вследствие сего в русле развиты обширные прирусловые отмели (побочни, осередки), которые при обсыхании в межень составляют до $2/3$ – $3/4$ ширины русла в пойменных бровках (р. Лена в среднем и нижнем течении — выше и ниже устья р. Алдан, реки севера Западной Сибири — Таз, Пур, Надым и их притоки, левые притоки нижнего Енисея). В первом случае формирование стока наносов происходит в пределах территорий, сложенных лёссами или лёссовидными суглинками, обеспечивающими абсолютное преобладание стока взвешенных наносов; во втором — реки протекают по низменностям, сложенным песчаными отложениями разного генезиса (морские, речные, флювиогляциальные), благодаря которым сток влекомых наносов составляет до 40–60% общего стока наносов.

При расположении рек в горных регионах или при пересечении структурных или моренных возвышенностей руслообразующими являются галечно-валунные наносы, обеспечивая высокую устойчивость врезанных русел и, соответственно, очень низкие деформации, которые проявляются на протяжении исторических или геологических отрезков времени. Наоборот, реки с песчаными или песчано-илистыми наносами имеют слабоустойчивые или неустойчивые русла с очень интенсивными деформациями, и их переформирования сказываются в изменении форм русел и их параметров практически ежегодно.

4. Сток наносов — один из активных ведущих факторов русловых процессов — имеет двойственный генезис в зависимости от его бассейновой и русловой составляющих. Первая определяется работой водных потоков на территории водосборной площади (эрозионные процессы) и другими денудационными процессами на склонах, поставляющих продукты их деятельности в реки. На равнинных реках это в основном взвешенные наносы, которые лишь при относительно высокой крупности являются руслообразующими, но находятся в потоке во взвеси, создавая условия для снижения размывающих скоростей и повышения эрозионной способности потока. На горных реках со склонов в русло поступает в основном материал осыпей и обвалов, создающий галечно-валунные, исключительно руслообразующие наносы, которые, перемещаясь потоком по скальному ложу, играют существенную корродирующую роль в эрозионном воздействии на него.

Русловая составляющая стока наносов формируется благодаря размыву берегов и дна рек, т. е. русловым деформациям, и представлена русло-

образующими наносами. При размыве берегов, сложенных лёссами или лёссовидными отложениями, а также пойменными фациями аллювия или мелкопесчаными илистыми грунтами, поток насыщается взвешенными наносами, мутность воды возрастает. При этом доля стока влекомых наносов сокращается, хотя абсолютные его значения не уменьшаются, а иногда даже увеличиваются.

Большое значение имеет соотношение влекомых и взвешенных наносов в их общем стоке. Преобладание последних, которые в этом случае являются руслообразующими, обычно определяет очень слабую устойчивость или неустойчивость русел, их интенсивные деформации и, в основном, направленную аккумуляцию наносов. Значительная доля влекомых наносов — причина формирования обширных прирусловых отмелей, обсыхающих в межень и способствующих активизации меандрирования благодаря формированию побочной у выпуклых берегов излучин, разветвлений из-за образования осередков или побочного, относительно прямолинейного русла, характеризующегося смещением вдоль русла перекаатов, создавая при этом в поперечном сечении периодические сужения (у побочной) или расширения (на седловинах перекаатов) русла (Россинский, Кузьмин, 1947; Петровский, Сахарова, 1954).

Дефицит наносов, особенно свойственный врезанным руслам, формирующимся в скальных кристаллических грунтах, обуславливает их развитие, в наибольшей мере контролируемое литологией или геолого-тектоническим строением территорий. Русла малых равнинных рек первых порядков, которые еще не приобрели достаточный сток наносов с бассейна или вследствие размыва берегов, также являются пассивно приспособленными к литогенной основе или относительно прямолинейными, врезанными, либо имеющими унаследованную пойму. Вниз по течению по мере увеличения стока наносов они становятся широкопойменными, меандрирующими, если не сохраняется их врезанный характер, но уже по другим причинам.

Во врезанном русле дефициту наносов способствуют большие уклоны, стеснение русла коренными породами, почти 100%-ное сосредоточение потока в русле при отсутствии поймы (имеются только бичевники у подножья склонов) и т. д. При выходе реки в предгорья или на равнину, в меж- и внутригорные впадины при неизменности ее водности происходит расширение самого русла, оно становится широкопойменным, уменьшаются, иногда очень резко, уклоны, в результате чего снижается транспортирующая способность потока, и при той же величине стока наносов он оказывается

соответствующим ей или превышающим её. Это приводит к изменению условий транспорта наносов, которые во врезанном русле переносились транзитом или во взвешенном состоянии, формируя только прибрежные дефицитные гряды (Дебольский, Котков, 1977), в новых условиях наносы создают аккумулятивный грядовой русловой рельеф, формируют морфологически сложные разветвления или на полугорных реках аллювиальные поля.

Галечно-валунные русла, как на горных, так и на равнинных реках, образуют гряды только одного порядка — макроформы (на горных реках — антидюнной формы) в соответствии с очень узким диапазоном скоростей, обеспечивающим перемещение гальки и валунов во время паводков и половодий, и при их снижении формирование аллювиальной отмости. На песчаных равнинных реках перемещение наносов происходит во все фазы водного режима и в условиях турбулентной структуры потока обеспечивает их движение в виде гряд. Н.И. Алексеевский (1998) выделил 5 категорий гряд по их размерам, присвоив им буквенные индексы — А, Б, В, Г, Д, из них в межень формируются и перемещаются только относящиеся к микроформам — Г и Д.

Величина стока наносов, соотношение в нем влекомой и взвешенной составляющих определяют форму поперечного сечения русла и его морфометрические параметры: относительная ширина русла $\sqrt{b_p}/h = \Gamma$ (морфометрический параметр В.Г. Глушкова) находится в прямой зависимости от удельной концентрации влекомых наносов в потоке $s_{вл}$ ($\text{кг}/\text{м}^3$) (аналог его мутности в отношении взвешенных наносов) (Резников, 2007). Рост параметра Γ связан с относительным обмелением русла при увеличении стока наносов и их грядовым смещением, вызывающим увеличение ширины русла при одинаковой водности. Напротив, уменьшение $s_{вл}$ приводит к относительному углублению и сужению русла. Аналогично изменяется гидролого-морфологический параметр К.И. Гришанина (1972) $M = h(gb_p)^{0.25}/Q^{0.5}$, который при $M < 0.75$ свидетельствует о преобладании размыва русла ($W_{тр} > W$, дефицит влекомых наносов), при $M > 1.5$ — об аккумуляции наносов ($W_{тр} < W$).

5. Вертикальные русловые деформации, проявляющиеся в понижении/повышении отметок дна рек, с одной стороны, представляют собой направленный (общий, фоновый) процесс развития продольного профиля реки, сказывающийся в морфологии русел на протяжении исторических и геологических масштабов времени и, с этой точки зрения, рассматриваются как фактор русловых процессов; с другой стороны, они являются следствием либо горизонтальных переформирований русел, сопровождающихся

местным их врезанием или аккумуляцией наносов при спрямлении или развитии излучин, углублении и обмелении рукавов при перераспределении стока между ними и т. д., либо текущих, сезонных и многолетних деформаций перекатов, приводящих к постоянному изменению морфологического строения, смещению побочней, углублению или обмелению седловины перекатов, развитию побочневых и межосерёдковых проток и т. д.

Темпы направленных вертикальных деформаций на порядки величин меньше связанных с переформированиями русла или режимом перекатов, характеризуясь в естественных условиях скоростями в миллиметры — первые сантиметры в год (максимальная величина врезания — 35 см/год была зафиксирована на р. Алабуге на Тянь-Шане (Панин и др., 1990), направленная аккумуляция наносов +10 см/год на р. Хуанхэ (Чалов и др., 2000)). Проявлением этих деформаций являются баланс наносов $W_1 - W_2 = \pm \Delta W$ и соотношение стока наносов и транспортирующей способности потока $W_{тр} > W$ или $W_{тр} < W$, изменения положения кривой зависимости уровней H от расходов воды $Q = f(H)$ и кривых соответственных уровней $H_1 \sim H_2$ за многолетний период, превышающий продолжительность врезания или аккумуляции, вызванных местными деформациями русла. Проявляясь, в первую очередь, в развитии продольного профиля реки и формировании речных террас (Маккавеев, 1955; Маккавеев и др., 1968; Чалов, 2002; Сидорчук, 2025) в исторических и геологических масштабах времени, они имеют определенные признаки в морфологии и рельефе поймы (Маккавеев, Чалов, 1963, 1964; Чалов, 2009). Выраженность последних зависит от величины стока наносов, устойчивости русла, сложности и направленности русловых деформаций, особенно на реках с широкопойменным руслом. Врезанию рек обычно соответствует формирование врезанных русел — врезанные излучины, скульптурные и скульптурно-аккумулятивные (с коренным цоколем) острова разветвленных русел, пороги, шивера и другие скальные выступы в русле. Однако в отдельных случаях врезанное русло как морфологический тип может находиться в условиях направленной аккумуляции наносов. Таково русло нижнего Амура, где река пересекает северные отроги хребта Сихотэ-Алинь, в пределах которого все притоки Амура характеризуются приустьевыми разливами, образовавшимися вследствие их подпруживания прибрежными накоплениями наносов в главной реке (Чалов, Махинов и др., 2025). Второй пример — устьевая область Северной Двины (ниже слияния с р. Пинегой), где островные массивы (междукавья) раздвоенного русла Холмогорского

участка реки представлены высокими террасами с коренным скальным цоколем (Чалов, Голубцов и др., 2025).

На реках с широкопойменным руслом врезание и аккумуляция проявляются в трансгрессивном или регрессивном смещении островов, формирующихся в активной зоне русла (Маккавеев, 1948; Чалов, Голубцов, 2025), ступенчатости поймы, ее одноярусности или обвалованности с подтоплением грунтовыми водами пониженных участков и образованием соров (приустьевых разливов) на притоках, слабом развитии маловодных пойменных проток (например, на врезающейся средней и нижней Лене) и очень сильной расчлененности поймы пойменной многорукавностью (нижняя Обь). При этом в самих руслах морфологические признаки вертикальных направленных деформаций в значительной мере затушевываются при большом стоке наносов, высокой доле их влекомой составляющей, в определенных условиях (например, при переходе от врезанного русла к широкопойменному) с изменением формы транспорта наносов — от транзитного сплошного безгрядового к грядовому, с местными, в основном временными проявлениями врезания или аккумуляции наносов.

6. Морфодинамические типы русел (горизонтальные русловые деформации) — одна из основных форм проявления русловых процессов, которая иногда представляется как определение самого понятия «русловые процессы» (Кондратьев и др., 1982). Каждый тип русла характеризуется свойственной ему гидравлической структурой потока (скоростным полем, циркуляционными течениями) и определенными механизмами развития. В полной мере это проявляется в свободных условиях развития русловых деформаций (широкопойменные русла), в которых «поток управляет руслом» (Великанов, 1958), и обратное соотношение («русло управляет потоком») возникает, когда в процессе взаимодействия создается та или иная форма русла (излучины, разветвления и т. д.) с соответствующей ей структурой потока. В ограниченных условиях в областях распространения скальных пород врезанные русла, в которых изначально «русло управляет потоком», их форма (излучины или прямолинейное) определяются геологической структурой территории (разломы, зоны трещиноватости и пр.), острова имеют коренной цоколь, являясь скульптурными или скульптурно-аккумулятивными; в пластичных и полускальных грунтах врезанные русла наследуют при врезании рек в течение геологических отрезков времени формы широкопойменного русла, созданные рекой в начальный период ее существования, но их параметры соответствуют эпохам

максимального стока. В обоих случаях врезанные излучины и прямолинейные русла отличаются повышенной или абсолютной устойчивостью, и только в разветвлениях врезанного русла происходят рассредоточение стока по рукавам и его изменения, сопровождающиеся деформациями русел, особенно при их формировании в пластичных или полускальных грунтах, и вследствие грядового перемещения наносов (периодического надвигания побочней на заходы в рукава).

Основные типы русла — излучины (соответствующий им процесс — меандрирование), разветвления и относительно прямолинейные, неразветвленные. Гидродинамическим условием их формирования являются: 1) неустойчивость прямолинейного движения потока; 2) увеличение критерия И.Ф. Карасёва (1975) $\theta = (b_p/h) \times \sqrt{\lambda}$, обуславливающего в конечном счете разделение потока на ветви течения; 3) гидравлическая выгодность извилистой формы русла из-за возникновения зон ускорения и замедления течения на его изгибах (в разветвленном русле острова обуславливают образование изгиба при обтекании их потоком); 4) наличие внешних условий и факторов, обуславливающих закрепление прямолинейности русла (ведущий коренной берег, малый сток наносов, интенсивное смещение прирусловых отмелей — побочней, осередков) (Чалов, 1979, 2011). Каждый тип русла, в свою очередь, имеет большое количество разновидностей (подтипов), различающихся параметрами (радиусы кривизны излучин и рукавов, степень развитости излучин, шаги излучин и разветвлений и т. д.), морфологией и характером деформаций, развитием на разных структурных уровнях (до 5–6) (Чалов, С. Чалов, 2020, 2022, 2025) и под воздействием местных условий их формирования (таковы вынужденные излучины при подходе потока к коренным берегам, прибрежные разветвления в периферических зонах русла). Чем выше структурный уровень меандрирования или разветвлений, тем сложнее морфология русел и их деформации: большие излучины, вершины которых находятся у противоположных бортов днища долины, осложнены прямолинейными «вставками», разветвлениями на их крыльях или имеют петлеобразную форму; рукава пойменно-русловых разветвлений и раздвоенное русло характеризуются своими морфодинамическими типами в зависимости от их размеров. Осложнения русла формами 2-го и 3-го порядка возможны практически на любом структурном уровне, создавая условия меандрирования рукавов или вторичных разветвлений на излучинах.

Зависимость меандрирования, разветвлений или развития прямолинейных русел от природных условий, водоносности и водного режима рек, стока наносов, геологического строения рельефа территории определяет географические закономерности распространения русел разного типа и создает условия для их картографирования по русловым процессам на реках в целом (Русловые процессы..., 1990, 1996; Морфология и динамика..., 1999; Голубцов, 2025; Чалов, Чалова, 2024), отдельно меандрирующих, разветвленных и прямолинейных русел с учетом многообразия их проявления (Чалов, Чалова, 2019, 2023; Чалов и др., 2024).

7. Грядовое движение наносов, возникающее как следствие турбулентной структуры речных потоков, является главным условием стока руслообразующих наносов, определяющих рельеф речных русел и его постоянные (текущие), сезонные или многолетние изменения. Будучи представленными грядами разных размеров — от ультрамикродо макроформ, соизмеримых с параметрами русла, — перекатов, их формирование и деформации зависят от стока и крупности наносов (песчаных или галечно-валунных), уклонов водной поверхности, изменяющихся в разные фазы водного режима, морфодинамического типа русла и его устойчивости, которая зависит от соотношения крупности наносов d_{cp} и уклонов $I\%$ (число Лохтина $L = d_{cp}/I$). Основной фон рельефа русел создают перекаты, которые пересекают русло как единая гряда от одного берега до другого или представляют собой две или несколько надвинувшихся друг на друга больших гряд-макроформ. В зависимости от условий формирования образуются перекатные участки, в которых деформация перекатов происходит сопряженно. При большом стоке наносов обсыхающие в межень части перекатов — побочники и осередки — по размерам превышают ширину межженного русла, создавая подобие аллювиальных полей, характерных для горных рек при их выходе из гор в предгорья. В меандрирующих руслах и в разветвлениях перекаты занимают постоянное положение, находясь на перегибах между смежными излучинами, в узлах разделения потока на рукава или при слиянии рукавов, подвергаясь при этом постоянным деформациям из-за смещения по ним гряд меньших размеров, их трансформации при смене фаз водного режима. Смещение перекатов, побочней, осередков и их продвижение на излучины и на узлы разветвления способствует активизации развития первых, перераспределению стока между рукавами и изменению условий транспорта наносов при увеличении/снижении гидравлических характеристик потока. Сезонный режим перекатов

заключается в их обмелении из-за аккумуляции наносов в одну фазу режима, размыва корыта переката в другую и изменении положения последнего в пределах седловины переката. На реках с галечно-валунными наносами при снижении уровня воды на спаде половодья перекаты образуют «водосливы с широким порогом», и глубины на них уменьшаются в большей степени, чем в целом по реке.

Плёсовые участки и транзитный перенос наносов без образования перекатов характерны для врезанных русел (прямолинейных и врезанных излучин), в которых формируются лишь прибрежные дефицитные гряды. На равнинных песчаных широкопойменных реках они возникают при расположении русла вдоль ведущих коренных берегов.

8. Поймы рек являются, с одной стороны, производной русловых процессов, формируясь в ходе горизонтальных русловых деформаций и представляя собой результат многолетних и вековых переформирований русла; во-вторых — важнейшим фактором русловых процессов благодаря регулированию стока при затоплении, аккумуляции стока взвешенных наносов на поверхности реки, возникновению кривой спада уровней в местах выхода воды на пойму и подпора при слиянии пойменного потока с русловым, сливу с поймы в русло осветленных вод и размывам пойменных берегов, поставляющих в русло наносы, превращению прирусловых отмелей (побочней, осередков) в участок поймы. Это дало основание для выделения пойменно-русловых комплексов как совокупности процессов формирования поймы и русла и их взаимодействия (Чернов, 2009).

Рельеф поймы (сегментно-гривистый, ложбинно-островной, параллельно-гривистый и др. (Попов, 1978; Чалов, 1979, 2008; Чернов, 2009)), сформировавшийся в течение длительных отрезков времени (в основном верхний плейстоцен — голоцен вплоть до настоящего времени), когда происходили неоднократные гидроклиматические изменения и, соответственно, трансформации форм русла, отражает состояние русла и его морфодинамику в период формирования пойм. Поскольку параметры русла зависят от характеристик водности рек, это позволяет выполнять палеогидрологический и палеорусловой анализ, определяя как происходящие за время формирования поймы изменения стока воды, так и особенности преобразования русла при его увеличении/уменьшении (Сидорчук и др., 2000; Сидорчук, Панин и др., 2000). Вместе с тем вертикальные русловые деформации (врезание или направленная аккумуляция наносов и их чередование во времени в связи с периодическими гидроклиматическими изменениями) приводят к ступенчатости или обвалованности пойм, в послед-

нем случае — к образованию наложенных пойм. Аккумуляция наносов на поверхности поймы при ее затоплении и образование пойменного наилка, состав и мощность которого зависят от удаленности поймы от русла, — процессы, которые в той или иной мере нивелируют первичный пойменный рельеф, а в прирусловой части поймы полностью его иногда перекрывают. На реках с разветвленным руслом и при наличии пойменной многорукавности это, а также вертикальные деформации и спрямление излучин, сопровождающиеся смещением русла во времени в пределах всего днища долины, создает сложные пространственные изменения высоты поймы, чередование повышенных и пониженных участков и, как следствие, сложный гидрологический режим поймы при ее затоплении.

9. Палеоруловой анализ на основе восстановления по рельефу поймы бывших за время ее формирования положений и морфологии русла позволяет придти к прогнозированию возможных трансформаций русла на отдаленные перспективы (многие десятилетия и столетия) при глобальных изменениях климата и водности рек. Имея гидролого-морфологические зависимости, связывающие параметры русла с показателями стока рек, можно давать прогнозные оценки при современных (текущих) гидроклиматических изменениях. Однако при этом следует учитывать степень интенсивности влияния антропогенных изменений на русла и факторы русловых процессов, которые нередко превышают по своим объемам русловые деформации, полностью их затушевывая. При этом и гидроклиматические изменения, и характер трансформации русла и руслового режима зависят от особенностей природных условий (водоносности рек, водного режима, стока наносов, геологического строения территории, рельефа и т. д.), в которых протекают реки и формируются их русла.

10. Русловые процессы как составная часть эрозионно-русловых систем (ЭРС) — одно из основных направлений географического русловедения, начало которому было положено Н.И. Маккавеевым (1955) в его классической монографии «Русло реки и эрозия в ее бассейне», а его современное состояние (на 2010-е гг.) получило отражение в коллективной монографии «Эрозионно-русловые системы» (2017). Русловые процессы — завершающее звено гидрологических процессов и явлений, связанное с воздействием водных потоков, от временных нерусловых до постоянных речных, на поверхность суши. Продукты эрозии почв и овражной эрозии на склонах в речных бассейнах поступают в реки, являясь важнейшим фактором формирования стока наносов. Взаимная

связь и взаимообусловленность проявления всех видов эрозионно-аккумулятивных процессов, сопряженность их развития во всех звеньях сети водных потоков обуславливают существование общих законов функционирования как временных нерусловых (хотя и развивающихся при рассредоточении склонового стока на микроручейковую сеть) и русловых (в овражно-балочной сети), так и постоянных речных потоков (Маккавеев, 1976; Эрозионно-русловые..., 2017). При этом процессы на водосборных бассейнах, ручьи, малые и средние реки в наибольшей степени подчинены географической зональности и местным, в основном связанным с геологическим строением и рельефом, природным условиям; в отличие от них, русловые процессы на больших и тем более крупнейших реках, пересекающих различные природные зоны и геоморфологические районы, по своему русловому и гидрологическому режиму являются транзитными. Кроме того, именно верхние звенья водных потоков, в том числе малые реки, подвержены антропогенному воздействию, связанному с вырубкой лесов, сельскохозяйственным, горнопромышленным и урбанизированным освоением территории, сказывающимся в состоянии русел малых рек, вызывающими их заиливание и деградацию.

В горных странах эрозионные процессы на склонах являются источником поступления в речную сеть в основном галечно-валунного материала. На равнинных территориях они в основном поставляют в реки взвешенные наносы, насыщенные биогенными элементами, которые аккумулируются на поймах при их затоплении в половодье и паводки, а при спаде уровней и на поверхности отмелей, благоприятствуя появлению на них растительности и превращению в элементы молодой поймы; в низовьях рек, где уклоны снижаются до минимальных размеров, взвешенные наносы становятся руслообразующими. Вместе с тем повышенный сток взвешенных наносов (мутность воды) является фактором повышения транспортирующей способности потоков, увеличения плотности воды и снижения величины размывающей скорости (Маккавеев и др., 1970; Россинский, Дебольский, 1980), что приводит к повышению стока влекомых наносов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представляя собой гидромеханическое явление, русловые процессы образуют различные морфодинамические типы русел, осуществляют их постоянные переформирования (русловые деформации), различные в зависимости от природных условий, в которых протекают реки (горные страны и равнин-

ные территории; тундра, тайга, степи; наличие или отсутствие мерзлоты и т. д.). Это определяет географическое направление в их изучении (географическое русловедение), которое в то же время опирается на законы гидродинамики, определяющие механизм самих русловых процессов. Основными его положениями являются разделения русел по условиям формирования и их морфодинамике: по кинетичности потока, уклону и форме транспорта наносов — на горные, полугорные и равнинные; по водоносности и водному режиму — на малые, средние, большие и крупнейшие, с одной стороны, и зональные, местные и транзитные, с другой; по соотношению стока наносов (его избытку или дефициту) и транспортирующей (эрозионной) способности потоков — на врезающиеся или аккумулирующие наносы; по свободным или ограниченным геолого-геоморфологическим условиям развития русловых деформаций — на врезанные, адаптированные и широкопойменные; по направленности вертикальных русловых деформаций — на врезающиеся или характеризующиеся направленной аккумуляцией наносов; по форме русел и характеру горизонтальных русловых деформаций — на меандрирующие, разветвленные на рукава и относительно прямолинейные и их различные сочетания; по особенностям грядового движения наносов — на перекатные и плёсовые, а при их дефиците в том числе на скальные и порожистые; в зависимости от эрозионных процессов на водосборной площади и бассейновой составляющей стока наносов, в том числе приводящей к заилению и деградации рек либо к дефициту в них наносов; по условиям формирования, морфологии и режиму пойм как производных русловых деформаций и фактором русловых процессов из-за их затопления и размывов берегов; по антропогенным (техногенным) трансформациям, происходящим при хозяйственном освоении речных ресурсов.

Результатом географического направления в исследованиях русловых процессов является составление карт русловых процессов на территорию России или ее отдельных регионов и речных бассейнов, специальных карт, отражающих опасность русловых процессов или гидро- и геоэкологические последствия русловых деформаций и антропогенного воздействия на реки. Знание и понимание природных (естественных) закономерностей руслоформирующей деятельности рек с учетом гидродинамики потоков обеспечивает прогнозирование русловых деформаций вследствие саморазвития русел, изменения гидроклиматических условий и антропогенного воздействия на факторы русловых процессов и непосредственно на русла рек.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выполнено по планам НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева и кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова и по проекту РФ «Русловые процессы на реках России: ретроспективный анализ, морфодинамика русел и прогнозные оценки при гидроклиматических изменениях и антропогенных воздействиях» (№ 23-17-00065).

ЛИТЕРАТУРА

Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1998. 203 с.

Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. Л., Гидрометеоздат. 1988. 456 с.

Беркович К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС. 2001. 164 с.

Бутаков Г.П., Назаров Н.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Условия формирования русел и русловые деформации на реках бассейна р. Камы // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 3. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2000. С. 138–148.

Великанов М.А. К постановке проблемы русловых процессов // Метеорология и гидрология. 1946. № 1. С. 36–46.

Великанов М.А. Русловой процесс. М.: Госфизматиздат. 1958. 395 с.

Гладков Г.Л., Чалов Р.С., Беркович К.М. Гидроморфология русел судоходных рек. СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова. 2016. 432 с.

Голубцов Г.Б., Чалова Е.Р. Морфология и динамика русел рек Гыданского полуострова и их картографирование // Вест. Удмурт. ун-та. Биология. Науки о Земле. 2025. Т. 35. № 2.

Гришанин К.В. Теория руслового процесса. М.: Транспорт. 1972. 216 с.

Дебольский В.К., Котков В.М. Особенности динамики дефицитных форм в поступательных потоках // Метеорология и гидрология. 1977. № 10. С. 67–71.

Завадский А.С. Гидролого-морфологический анализ свободного меандрирования русел равнинных рек. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ. 2001. 27 с.

Карасёв И.Ф. Русловые процессы при переброе стока. Л.: Гидрометеоздат. 1975. 288 с.

Кондратьев Н.Е., Ляпин А.Н., Попов И.В., Пинковский С.И., Фёдоров Н.Н., Якунин И.А. Русловой процесс. Л.: Гидрометеоздат. 1959. 372 с.

- Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снисенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат. 1982. 272 с.
- Куракова А.А., Чалов Р.С., Чалова Е.Р. Новые данные о руслоформирующих расходах воды на реках России // Метеорология и гидрология. 2025. № 4. С. 76–86.
- Лежневский Н.С. О речных течениях и формировании речного русла // Тр. 2-го съезда инженеров-гидротехников в 1893 г. СПб.: 1893 (Вопросы гидротехники свободных рек. М.: Речиздат. 1948. С. 18–36).
- Лохтин В.М. О механизме речного русла. СПб.: 1897 (Вопросы гидротехники свободных рек. М.: Речиздат. 1948. С. 23–59).
- Львович М.И. Русловые процессы и золотонность участка р. Сугор // Тр. Треста «Золоторазведка» и ин-та НИГРИЗолото. 1938. № 8. С. 169–185.
- Маккавеев Н.И. Регрессивные переформирования речных островов // Метеорология и гидрология. 1948. № 4. С. 44–50.
- Маккавеев Н.И. Русловой режим рек и трассирование прорезей. М.: Речиздат. 1949. 202 с.
- Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР. 1955. 347 с.
- Маккавеев Н.И. Сток и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. 116 с.
- Маккавеев Н.И. Общие закономерности эрозионно-русловых процессов // Тр. IV Всесоюз. гидрол. съезда. Т. 10. Русловые процессы. Л.: Гидрометеиздат. 1976. С. 8–12.
- Маккавеев Н.И., Литвин Л.Ф., Хмелева Н.В. Использование транспортирующей способности речного потока в практических целях // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1970. № 2. С. 82–89.
- Маккавеев Н.И., Мандыч А.Ф., Чалов Р.С. Влияние восходящего развития рельефа на глубинную эрозию и твердый сток рек Западной Грузии // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1968. № 4. С. 52–58.
- Маккавеев Н.И., Советов В.С. Трассирование землечерпательных прорезей на перекатах равнинных рек Европейской части СССР // Тр. ЦНИИРФ. Вып. 3. Вопросы пути. 1940. 60 с.
- Маккавеев Н.И., Хмелева Н.В., Зайтов И.Р., Лебедева Н.В. Экспериментальная геоморфология. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1961. 196 с.
- Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. О морфологических признаках современной аккумуляции в речных долинах // Изв. АН СССР. Сер. географ. 1963. № 3. С. 84–89.
- Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. О развитии рельефа поверхности речных террас и признаки глубинной эрозии на примере верхней Оби // Изв. АН СССР. Сер. географ. 1964. № 4. С. 120–125.
- Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1986. 264 с.
- Махинов А.Н., Лю Шугуан. Формирование рельефа русел и берегов рек. Хабаровск: ДВО РАН. 2013. 173 с.
- Морфология и динамика русел рек Европейской части России и сопредельных государств. Масштаб 1: 2000000. Фед. служба геодезии и картографии РФ. 1999. 4 л.
- Назаров Н.Н., Егоркина С.С. Реки Пермского края. Горизонтальные русловые деформации. Пермь: Звезда. 2004. 156 с.
- Ободовский О.Г. Руслові процеси. Київ: ВПЦ «Київський ун-т». 2017. 511 с.
- Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чалов Р.С. Катастрофические скорости формирования флювиального рельефа // Геоморфология. 1990. № 2. С. 3–11.
- Петровский В.В., Сахарова Е.И. О переформированиях Красноборского переката (Северная Двина) // Русловые исследования для улучшения условий судоходства. М.: Речной транспорт. 1958. С. 19–23.
- Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат. 1965. 328 с.
- Потапов М.В. Винтовое движение жидкости в прямом открытом канале прямоугольного сечения // Поперечная циркуляция в открытом потоке и её гидротехническое применение. М.: Сельхозиздат. 1936. С. 102–154.
- Проектирование судовых ходов на свободных реках / Тр. ЦНИИЭВТ. Вып. 36. М.: Транспорт. 1964. 262 с.
- Резников П.Н. Сток наносов и его проявления в морфодинамике речных русел. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ. 2007. 23 с.
- Россинский К.И., Дебольский В.К. Речные наносы. М.: Наука. 1980. 216 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.
- Русловые процессы на реках Алтайского края. Масштаб 1:1000000. М.: ГУГК СССР. 1991. 1 л.
- Русловые процессы на реках СССР. Масштаб 1:4000000. М.: ГУГК СССР. 1990. 4 л.
- Рысин И.И., Петухова Л.И. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Научная книга. 2006. 176 с.
- Середовских Б.А. Гидроморфология реки Конды. Ретроспективный анализ динамики изменений русла. Нижневартовск: НВГУ. 2022. 155 с.

- Сидорчук А.Ю. Структура рельефа речного русла. СПб.: Гидрометеиздат. 1992. 128 с.
- Сидорчук А.Ю. Процессы формирования продольного профиля реки // Геоморфология и палеогеография. 2025. Т. 56. № 2. С. 185–196.
- Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В. Поздневалдайские палеоруслу рек Русской равнины // Изв. РАН. Сер. географ. 2000. № 6. С. 73–78.
- 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 палеоруслowego анализа) // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 12. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2000. С. 196–231.
- Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1979. 232 с.
- Чалов Р.С. Горные реки и реки в горах: продольный профиль, морфология и динамика русел // Геоморфология. 2002. № 3. С. 26–40.
- Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования русел. М.: Изд-во ЛКИ. 2008. 608 с.
- Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД. 2011. 960 с.
- Чалов Р.С. Географическое направление в изучении русловых процессов (основы географического русловедения) // Вопросы географии. Сб. 133. Географо-гидрологические исследования. М.: Кодекс. 2012. С. 72–94.
- Чалов Р.С. Русловые процессы (русловедение). М.: ИНФРА-М. 2017. 569 с.
- Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 3. Антропогенные воздействия, опасные проявления и управление русловыми процессами. М.: КРАСАНД. 2019. 640 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., Голубцов Г.Б., Куракова А.А., Семаков В.А., Панченко Е.Д. Морфодинамика русла р. Северной Двины, его естественные и техногенные трансформации в XX – начале XXI века // Изв. РГО. 2025. Т. 157. № 3. С. 317–339.
- Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излучины. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2004. 371 с.
- Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: МГУ. 2000. 212 с.
- Чалов Р.С., Махинов А.Н., Чернов А.В., Иванов В.В. Вертикальные деформации на среднем и нижнем Амуре и их отражение в морфологии русла и поймы // Эрозия почв и русловые процессы. 2025. № 2. С. 18–32.
- Чалов Р.С., Чалов С.Р. Структурные уровни и морфодинамическая классификация русловых разветвлений // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 3. С. 269–271.
- Чалов Р.С., Чалов С.Р. Дискретные свойства русловых процессов и их отражение в морфодинамике речных русел // Изв. РАН. Сер. географ. 2023. Т. 87. № 2. С. 234–249.
- Чалов Р.С., Чалов С.Р. Структурные уровни меандрирования речных русел и морфодинамическая классификация излучин // Изв. РАН. Сер. географ. 2025. Т. 88. № 4. С. 539–555.
- Чалов Р.С., Чалова Е.Р. География русел рек, разветвленных на рукава, на территории России // Изв. РАН. Сер. географ. 2019. Т. 151. № 6. С. 20–34.
- Чалов Р.С., Чалова Е.Р. Географические закономерности меандрирования русел рек России // География и природные ресурсы. 2023. № 3. С. 13–24.
- Чалов Р.С., Чалова Е.Р. Русловые процессы на реках полуострова Ямал и их картографирование // Вест. Удмурт. ун-та. Биология. Науки о Земле. 2024. Т. 34. Вып. 3. С. 308–314.
- Чалов Р.С., Чалова Е.Р., Голубцов Г.Б. География прямолинейных неразветвленных русел и условия их формирования // Изв. РАН. Сер. географ. 2024. Т. 88. № 4. С. 496–507.
- Чернов А.В. География и экологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии. М.: Крона. 2009. 654 с.
- 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. геологич. № 55. 1951. 275 с.
- Шэй Юйчан, Гун Гоюань. Речная геоморфология. Пекин: Наука. 1986 (на китайском языке).
- Эрозионно-русловые системы. М.: ИНФРА-М. 2017. 702 с.
- Babiński Z. Wpływ zapór na procesy korytowe rzek aluwialnych. Bydgoszcz. 2002. 186 s.

ОБ АВТОРЕ

Чалов Роман Сергеевич, профессор, доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии суши, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, rschalov@mail.ru

THE CURRENT STATE OF THE GEOGRAPHIC-HYDROLOGICAL APPROACH IN THE STUDY OF CHANNEL PROCESSES (GEOGRAPHICAL CHANNEL STUDY): THEORY AND METHODOLOGY

R.S. Chalov

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

rschalov@mail.ru

Abstract. The paper represents the analysis of the geographic-hydrological approach in the study of river channel formation conditions, their morphology and dynamics. It provides a historical overview and assesses the role of N.I. Makkaveev in the creation of the study and associated scientific school. It substantiates the importance of the geographic-hydrological approach in the development of the theory of channel processes (channel studies) and the solution of related applied problems. Its relationship with the hydromorphological theory of channel processes (GGI), hydrodynamic and hydraulic engineering approaches is demonstrated. The following base contributions of the channel processes study are considered in detail: mechanisms and forms of manifestation of channel processes on lowland, semi-mountain and mountain rivers; river runoff and water regime as leading factors of channel processes (small and large rivers); geological and geomorphological conditions of channel formation (free and limited development of channel changes); sediment flow and composition; vertical channel deformations (incision and accumulation of sediments); morphodynamic types of channels, their diversity and their evolution; ridge movement of sediments and formation of channel bottom relief; river floodplains both as product and factor of channel processes; paleochannel analysis and forecasting of channel changes under hydroclimatic changes and anthropogenic impacts; channel processes as a component of erosion-fluvial systems.

Keywords: channel processes; mountain and lowland, large and small rivers; free and limited conditions of channel changes; channel morphodynamics; riffles and rapids; river floodplains; paleochannel analysis

ACKNOWLEDGEMENTS

Carried out according to the plans of the Research (GR) of the Research Laboratory of Soil Erosion and River Channel Processes named after N.I. Makkaveev and the Department of Land Hydrology of Lomonosov Moscow State University and the project of the RNF “Channel processes on the rivers of Russia: retrospective analysis, morphodynamics of channels and forecast estimates under hydroclimatic changes and anthropogenic impacts” (No. 23-17-00065).

ABOUT THE AUTHOR

Chalov Roman Sergeevich, Professor, Doctor of Geography, Professor of the Department of Terrestrial Hydrology, Principal Scientist of the Research Laboratory of Soil Erosion and River Channel Processes named after N.I. Makkaveev of the Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University, rschalov@mail.ru

REFERENCES

Alekseevsky N.I. River sediments formation and movement. Moscow, the MSU Publishers. 1998. 203 p.

Babinski Z. The influence of dams on channel processes of alluvial river. Bydgoszcz. 2002. 186 p.

Baryshnikov N.B., Popov I.V. Dynamics of channel flows and channel processes. Leningrad, Gidrometeoizdat. 1988. 456 p.

Berkovich K.M. Geographical analysis of anthropogenic changes in channel processes. Moscow, GEOS. 2001. 164 p.

Butakov G.P., Nazarov N.N., Chalov R.S., Chernov A.V. Conditions of river channel formation and channel changes in the Kama River basin // Ehrozionnye i ruslovye processy. Issue 3. Moscow, the MSU Publishers. 2000. P. 138–148.

Chalov R.S. Channel processes (Riverbed Science). Moscow, INFRA-M. 2017. 569 p.

Chalov R.S. Geographical direction in the study of channel processes (fundamentals of geographical channel studies) // Voprosy geografii. Collection 133. Geographical-hydrological studies. Moscow, KOD-EKS. 2012. P. 72–94.

Chalov R.S. Geographical studies of channel processes. Moscow, the MSU Publishers. 1979. 232 p.

Chalov R.S. Mountain rivers and rivers in the mountains: longitudinal profile, morphology and channel dynamics // Geomorfologiya. 2002. No. 3. P. 26–40.

Chalov R.S. Riverbed Science: theory, geography, practice. Vol. 1. Channel processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and river channel formation conditions. Moscow, the LKI Publishers. 2008. 608 p.

- Chalov R.S. Riverbed Science: theory, geography, practice. Vol. 2. Morphology and development of river channels. Moscow, KRASAND. 2011. 960 p.
- Chalov R.S. Riverbed Science: theory, geography, practice. Vol. 3. Human impacts, hazardous manifestations and management of channel processes. Moscow, KRASAND. 2019. 640 p.
- Chalov R.S., Alabyan A.M., Ivanov V.V., Lodina R.V., Panin A.V. Morphodynamics of lowland river channels. Moscow, GEOS. 1998. 288 p.
- Chalov R.S., Chalov S.R. Discrete properties of channel processes and their reflection in river channel morphodynamics // *Izvestiya RAS. Series geographical*. 2023. Vol. 87. No. 2. P. 234–249.
- Chalov R.S., Chalov S.R. Structural levels and morphodynamic classification of braided channels // *Water resources*. 2020. Vol. 47. No. 3. P. 269–271.
- Chalov R.S., Chalov S.R. Structural levels of meandering river channels and morphodynamic classification of river bends // *Izvestiya RAS. Series geographical*. 2025. Vol. 88. No. 4. P. 539–555.
- Chalov R.S., Chalova E.R. Channel processes on the Yamal Peninsula rivers and their mapping // *Vestnik of the Udmurt University. Biology. Earth Sciences*. 2024. Vol. 34. Issue 3. P. 308–314.
- Chalov R.S., Chalova E.R. Geographical patterns of meandering river channels of Russia // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2023. No. 3. P. 13–24.
- Chalov R.S., Chalova E.R. Geography of braided channels on the territory of Russia // *Izvestiya RAS. Series geographical*. 2019. Vol. 151. No. 6. P. 20–34.
- Chalov R.S., Chalova E.R., Golubtsov G.B. Geography of straight unbraided channels and conditions of their formation // *Izvestiya RAS. Series geographical*. 2024. Vol. 88. No. 4. P. 496–507.
- Chalov R.S., Golubtsov G.B., Kurakova A.A., Semakov V.A., Panchenko E.D. Morphodynamics of the Severnaya Dvina River channel, its natural and antropogenic transformations in the 20th – early 21st centuries // *Izvestiya of the Russian Geographical Society*. 2025. Vol. 157. Issue 3. P. 317–339.
- Chalov R.S., Liu Shuguang, Alekseevsky N.I. Sediment runoff and channel processes on large rivers of Russia and China. Moscow, the MSU Publishers. 2000. 212 p.
- Chalov R.S., Makhinov A.N., Chernov A.V., Ivanov V.V. Vertical channel deformations on the middle and lower Amur River and their reflection in channel and floodplain morphology // *Ehroziya pochv i ruslovyje processy*. 2025. No. 2. P. 18–32.
- Chalov R.S., Zavatskiy A.S., Panin A.V. River meanders. Moscow, the MSU Publishers. 2004. 371 p.
- Channel processes of the Altai Region rivers. Scale 1:1000000. Moscow, State Administration of Geodesy and Cartography of the USSR. 1991. 1sh.
- Channel processes of the USSR rivers. Scale 1:4000000. Moscow, State Administration of Geodesy and Cartography of the USSR. 1990. 4 sh.
- Chernov A.V. Geography and ecological state of river channels and floodplains of the Northern Eurasia. Moscow, Krona. 2009. 654 p.
- Debolsky V.K., Kotkov V.M. Features of the dynamics of deficient forms in progressive flows // *Meteorologiya i gidrologiya*. 1977. No. 10. P. 67–71.
- Design of navigation passes on free rivers / Proceedings of the Central Research Institute of Economics and Transport Technologies. Issue 36. Moscow, Transport. 1964. 262 p.
- Fluvial-channel systems. Moscow, INFRA-M. 2017. 702 p.
- Gladkov G.L., Chalov R.S., Berkovich K.M. Channel hydromorphology of the navigable rivers. St. Petersburg, the Publishers of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping. 2016. 432 p.
- Golubtsov G.B., Chalova E.R. Morphology and dynamics of river channels of the Gydan Peninsula and their mapping // *Vestnik of the Udmurt University. Biology. Earth Sciences*. 2025. Vol. 35. No. 2.
- Grishanin K.V. Theory of the channel process. Moscow, Transport. 1972. 216 p.
- Karasev I.F. Channel processes under river flow transfer. Leningrad, Gidrometeoizdat. 1975. 288 p.
- Kondratiev N.E., Lyapin A.N., Popov I.V., Pinkovskiy S.I., Fedorov N.N., Yakunin I.A. The channel process. Leningrad, Gidrometeoizdat. 1959. 372 p.
- Kondratiev N.E., Popov I.V., Snishchenko B.F. Fundamentals of hydromorphological theory of the channel process. Leningrad, Gidrometeoizdat. 1982. 272 p.
- Kurakova A.A., Chalov R.S., Chalova E.R. New data on channel-forming water discharge on Russian rivers // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2025. No. 4. P. 76–86.
- Lelyavsky N.S. River currents and formation of river channels // Proceedings of the 2nd Congress of Hydraulic Engineers, 1893. St. Petersburg. 1893 (Issues of hydraulic engineering on free rivers. Moscow, Rechizdat. 1948. P. 18–36).
- Lohtin W.M. The mechanism of river channel. St. Petersburg. 1897 (Issues of hydraulic engineering on free rivers. Moscow, Rechizdat. 1948. P. 23–59).
- Lvovich M.I. Channel processes and gold content of the river Sugor reach // Proceedings of the Trust “Zolotorazvedka” and Institute NIGRIZoloto. 1938. No. 8. P. 169–185.
- Makhinov A.N., Liu Shuguang. Formation of river channel relief and banks. Khabarovsk: Far Eastern Branch of the RAS. 2013. 173 p.
- Makkaveev N.I. General patterns of erosion-channel processes // Proceedings of the IV All-Union Hydro-

- logical Congress. Vol. 10. Channel processes. Leningrad, Gidrometeoizdat. 1976. P. 8–12.
- Makkaveev N.I. Regressive transformations of river islands // *Meteorologiya i gidrologiya*. 1948. No. 4. P. 44–50.
- Makkaveev N.I. River channel and erosion in its basin. Moscow, The Publishers of the USSR Academy of Sciences. 1955. 347 p.
- Makkaveev N.I. River channel regime and tracing of dredged channels. Moscow, Rechizdat. 1949. 202 p.
- Makkaveev N.I. Water flow and channel processes. Moscow, the MSU Publishers. 1971. 116 p.
- Makkaveev N.I., Chalov R.S. Channel processes. Moscow, the MSU Publishers. 1986. 264 p.
- Makkaveev N.I., Chalov R.S. Development of the surface relief of river terraces and signs of deep channel erosion, case study of the upper Ob' River // *Izvestiya of the USSR Academy of Sciences. Series geographical*. 1964. No. 4. P. 120–125.
- Makkaveev N.I., Chalov R.S. Morphological features of modern accumulation in river valleys // *Izvestiya of the USSR Academy of Sciences. Series geographical*. 1963. No. 3. P. 84–89.
- Makkaveev N.I., Khmeleva N.V., Zaitov I.R., Lebedeva N.V. Experimental geomorphology. Moscow, the MSU Publishers. 1961. 196 p.
- Makkaveev N.I., Litvin L.F., Khmeleva N.V. Using the transport capacity of river flow for practical purposes // *Vestnik of the Moscow University. Series 5. Geography*. 1970. No. 2. P. 82–89.
- Makkaveev N.I., Mandych A.F., Chalov R.S. The influence of ascending relief development on deep channel erosion and sediment runoff of rivers in Western Georgia // *Vestnik of the Moscow University. Series 5. Geography*. 1968. No. 4. P. 52–58.
- Makkaveev N.I., Sovetov V.S. Tracing dredging cuts on the riffles of lowland rivers in the European part of the USSR // *Proceedings of the Central Research Institute of Russian Federation. Issue 3. Navigation questions*. 1940. 60 p.
- Morphology and dynamics of river channels in the European part of Russia and neighboring countries. Scale 1: 2000000. Federal Service of Geodesy and Cartography of Russia. 1999. 4 sheets.
- Nazarov N.N., Egorkina S.S. Rivers of the Perm region. Horizontal channel deformations. Perm', the Publ. Zvezda 2004. 156 p.
- Obodovsky O.G. Channel processes. Kiev, VPC "Kiev University". 2017. 511 p.
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Chalov R.S. Catastrophic rates of fluvial relief formation // *Geomorfologiya*. 1990. No. 2. P. 3–11.
- Petrovsky V.V., Sakharova E.I. Reformations of the Krasnoborsky riffle (the Severnaya Dvina river) // *River channel studies to improve navigation conditions*. Moscow, River transport. 1958. P. 19–23.
- Popov I.V. River channels changes and hydraulic engineering. Leningrad, Gidrometeoizdat. 1965. 328 p.
- Potapov M.V. Screw flow of liquid in a straight open channel of rectangular cross-section // *Transverse circulation in open flow and its hydraulic engineering application*. Moscow, Selkhozizdat. 1936. P. 102–154.
- Reznikov P.N. Sediment runoff and its manifestations in river channel morphodynamics. PhD work abstract. Moscow, the MSU Publishers. 2007. 23 p.
- Rossinsky K.I., Debolsky V.K. River sediments. Moscow, Nauka. 1980. 216 p.
- Rossinsky K.I., Kuzmin I.A. Some issues of the applied theory of river channel formation // *Problems of river flow regulation*. Moscow – Leningrad, *Izvestiya of the USSR Academy of Sciences*. 1947. P. 88–129.
- Rysin I.I., Petukhova L.I. Channel processes on the rivers of Udmurtia. Izhevsk, Nauchnaya kniga. 2006. 176 p.
- Seredovskikh B.A. Hydromorphology of the Konda River. Retrospective analysis of channel changes dynamics. Nizhnevartovsk, Nizhnevartovsk State University. 2022. 155 p.
- Shantzer E.V. Alluvium of lowland rivers of the temperate zone and its role for understanding the patterns of alluvial suites structure and formation // *Proceedings of the Geological Institute of the USSR Academy of Sciences. Issue 55*. 1951. 275 p.
- Shei Yuchang, Gong Guoyuan. Fluvial Geomorphology. Beijing, Science. 1986 (In Chinese).
- Sidorchuk A.Yu. Processes of longitudinal river profile formation // *Geomorfologiya i paleogeografiya*. 2025. Vol. 56. No. 2. P. 185–196.
- Sidorchuk A.Yu. The structure of the river channel relief. St. Petersburg, Gidrometeoizdat. 1992. 128 p.
- Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K., Panin A.V. Late Valdai paleochannels of the Russian Plain rivers // *Izvestiya RAS. Series geographical*. 2000. No. 6. P. 73–78.
- Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Chernov A.V., Borisova O.K., Kovalyukh N.N. Water flow and morphology of river channels of the Russian Plain in the late Valdai time and in the Holocene (based on paleochannel analysis) // *Ehroziya pochv i ruslovye processy*. Issue 12. Moscow, the MSU Publishers. 2000. P. 196–231.
- Velikanov M.A. The channel process. Moscow, Gosfizmatizdat. 1958. 395 p.
- Velikanov M.A. The formulation of the problem of channel processes // *Meteorologiya i gidrologiya*. 1946. No. 1. P. 36–46.
- Zavadskiy A.S. Hydrological and morphological analysis of free meandering channels of lowland river. PhD work abstract. Moscow, the MSU Publishers. 2001. 27 p.