

УДК 556.5:551.4.04(075.8)

## МОРФОДИНАМИКА И ГИДРОМОРФОЛОГИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ КАК РАЗДЕЛЫ УЧЕНИЯ О РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССАХ

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

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

\*e-mail: rschalov@mail.ru

\*\*e-mail: arsenii.kamyshev@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.03.2019 г.

После доработки 23.07.2020 г.

Принята к публикации 12.08.2020 г.

В статье обосновывается структура учения о русловых процессах (русловедения) как самостоятельного раздела гидрологии рек, изучающего воздействие речного стока на поверхность суши. Основными составными частями русловедения являются морфодинамика и гидроморфология русел. Эти разделы взаимосвязаны с динамикой русловых потоков и учением о речных наносах, которые, в зависимости от содержания исследований, входят в состав русловедения или представляют собой не связанные с ним отрасли знаний. Основу морфодинамики составляет изучение морфологии, динамики и техногенных изменений речных русел, а также речных пойм, рассматриваемых как производные русловых деформаций, и продольных профилей рек. Гидроморфология изучает гидролого-морфологические, гидроморфометрические, морфометрические и гидролого-морфодинамические соотношения, устанавливает зависимости, связывающие параметры русел между собой, с гидрологическими и гидравлическими характеристиками рек. Показано, что эти зависимости – основа разработки прогнозов русловых деформаций как результата саморазвития русловых форм, естественных и антропогенно обусловленных изменений природной среды и климата. На закономерностях русловых деформаций и прогнозах их развития базируются методология управления русловыми процессами и обеспечение гидроэкологической безопасности при освоении речных ресурсов.

**Ключевые слова:** русловые процессы, гидроморфология, морфодинамика, морфология, русловедение, гидролого-морфологический анализ, гидроморфологические зависимости, гидролого-морфодинамические связи

DOI: 10.31857/S2587556620060047

### ВВЕДЕНИЕ

Учение о русловых процессах – сравнительно молодая отрасль знаний, возникшая в недрах речной гидротехники (или, по мнению М.А. Великанова [12], одновременно с ней) в связи с водно-транспортным освоением рек. О его молодости свидетельствует тот факт, что лишь во второй четверти XX в. появилось само словосочетание “русловые процессы” [23], а в англоязычной литературе для их обозначения и сейчас применяется более общее определение – флювиальные процессы (*fluvial processes*) [50, 52]. Первое определение этого понятия было дано в середине века М.А. Великановым [11]. С этого времени русловые процессы стали рассматриваться как раздел (обычно завершающий) бурно развивающейся новой науки – “динамики русловых потоков” [10, 14, 21]. В то же время морфологические характеристики речных русел с некоторыми элементами их динамики стали входить в гидрографические описания рек [8, 16], лоции речных водных путей

(где они всегда были обязательным элементом [9, 30], и многие термины в русловедении имеют латинское происхождение). Общие сведения о морфологии русел и их деформациях помещались в учебники по общей гидрологии и гидрологии рек [7, 46], а о формах русла (в основном излучинах, перекатах, плесах) – по общей геоморфологии [10, 47].

В 1950–60-е годы прогресс в изучении русловых процессов привел к тому, что они как объект исследования стали отпочковываться от динамики русловых потоков и выделяться в самостоятельный раздел гидрологии рек. Об этом, в частности, свидетельствует появление книг М.А. Великанова “Русловой процесс” [12] и К.В. Гришанина “Теория руслового процесса” [15]. При этом М.А. Великанов обратил внимание на обособленность этой научной дисциплины от динамики русловых потоков, он называл ее “русловой гидрологией” (или “гидрологией русла”) и рассматривал “в качестве самостоятельного раздела ...

гидрологии суши” [12, с. 347]. Тогда же впервые появилась и самостоятельная учебная дисциплина при подготовке специалистов-гидрологов “Русловые процессы” в Московском университете, которую стал читать Н.И. Маккавеев [26]; в гидрометеорологических институтах и других вузах начали преподавать “Динамику протока и русловые процессы” (с таким названием вышел учебник Н.Б. Барышникова и И.В. Попова [3]), впоследствии разделившуюся на два самостоятельных курса [1, 2]. В 1990-е годы было предложено собственное название учения о русловых процессах – русловедение, наука, которая изучает условия и закономерности формирования речных русел и разрабатывает приемы и методы их регулирования (управления русловыми процессами) [41].

Необходимость выделения учения о русловых процессах – русловедения – как самостоятельной отрасли в рамках гидрологии рек подчеркивал М.А. Великанов: “...средства и возможности, которыми располагает современная русловая гидрология и в экспериментальной методике (а также натурных исследованиях [*добавлено авторами*]) и в теоретическом аппарате, несравнимы с теми, которыми пользовались ее основоположники 60–80 лет назад (а тем более, по современным меркам, уже 120–130 лет [*добавлено авторами*]). Отсюда, наука о речном русле, которая, как всякая наука о природе, должна самостоятельно идти вперед” [12, с. 348–349].

В упомянутых книгах М.А. Великанова [12] и К.В. Гришанина [15] динамика русловых потоков, по существу, рассматривается уже как раздел, хотя и самый крупный по объему, учения о русловых процессах. При этом изложение его теории и методологии с некоторыми вариациями в принципе сходное: морфология русел рек и их переформирование, динамика потока, его структура, турбулентность, движение наносов, методы прогноза и расчета русловых деформаций, прикладные задачи и практические применения. Такой же подход принят в монографии [40, 41] и учебниках [27, 39], но в них вопросы динамики потоков занимают подчиненное положение, а в трудах ГГИ [19, 20] и учебнике Н.Б. Барышникова [2] они вообще вынесены за скобки, хотя подразумевается и учитывается ведущая роль потока в русловых процессах.

Как и любая наука, русловедение (учение о русловых процессах) имеет предмет, цели, задачи и методы исследований [38, 40], связи со смежными дисциплинами, характеризуется своей внутренней структурой и обладает собственными законами и терминологией. Однако не все они получили должное освещение в литературе, что иногда приводит к неоднозначному их толкованию. Поэтому настоящая статья посвящена

именно этим вопросам, среди которых главное внимание уделяется методологии морфодинамики и гидроморфологии речных русел, соотношениям между ними и динамикой русловых потоков. При этом морфодинамика речных русел достаточно полно изложена в специальных работах [36, 39, 41], в которых даны соответствующие определения, тогда как гидроморфология, несмотря на широкое употребление этого термина и связанных с ним словосочетаний (например: гидроморфологическая теория руслового процесса [20] – название одной из ведущих научных школ в учении о русловых процессах, гидроморфология судоходных рек [19], гидролого-морфологический анализ и т.д.), не получила своего определения. В ряде случаев она рассматривается как синоним морфодинамики, либо как ее составная часть или наоборот – вопросы морфодинамики русел оказываются включенными в гидроморфологию.

## СТРУКТУРА РУСЛОВЕДИЕНИЯ И МОРФОДИНАМИКА РЕЧНЫХ РУСЕЛ

Любая наука имеет свою структуру, разделяется на характеризующиеся собственным содержанием части, которые взаимодействуют между собой, вытекают и дополняют одна другую, определяют познание объекта от частного к общему и, наоборот, от общих законов его развития, эволюции и изменений приходят к частным их проявлениям и закономерностям. Это соответствует одному из основных положений диалектики, которое, согласно Ф. Энгельсу, “выражает переход одной из наук в другую, следовательно, как существующую между ними связь, непрерывность, так и различие, дискретность обеих” [48, с. 218]. Подобно тому, как учение о русловых процессах (русловедение) является частью гидрологии рек, изучая механизмы и формы проявления взаимодействия речных потоков и грунтов, слагающих на ложе, и представляя собой завершающее звено в изучении речного стока, само русловедение состоит из нескольких взаимосвязанных разделов (рис. 1). Среди этих разделов – динамика водных потоков (гидродинамика) и учение о речных наносах (речная седиментология), с одной стороны, являются частями русловедения, а с другой – они в известной мере автономны по отношению к нему, так как имеют свои законы, предметы, цели, задачи и методы исследования. Первая связана с русловедением и является его частью, поскольку движение потока – “двигательная пружина” (по выражению Н.С. Лелявского [22]), активная составляющая руслового процесса, определяющая механизмы отрыва частиц грунта и перемещение наносов, образование и развитие форм русла и форм руслового рельефа. Вторая изучает условия формирования, состав и сток наносов; будучи ав-

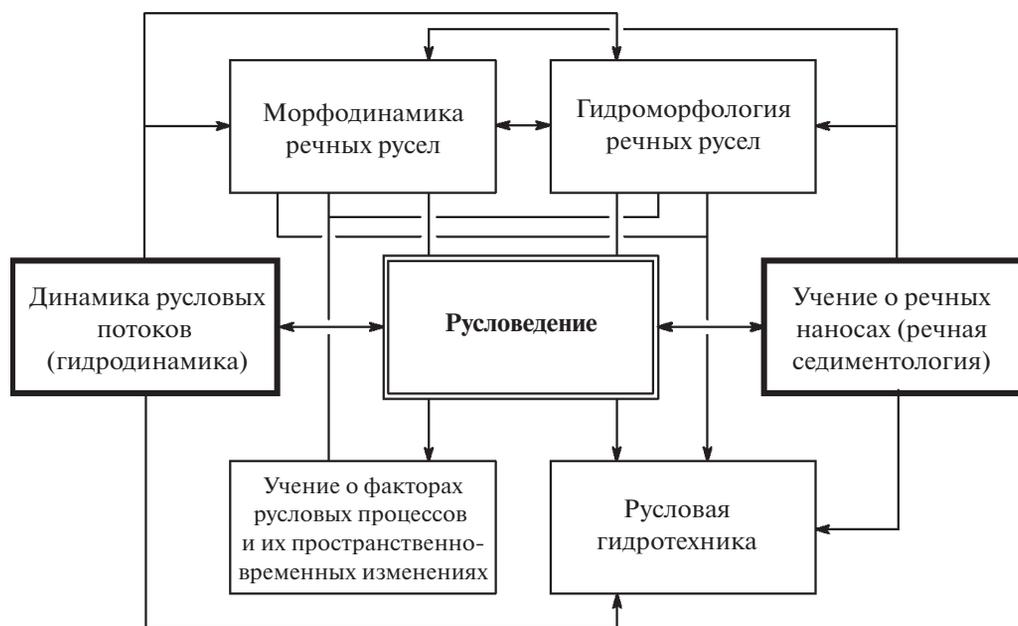


Рис. 1. Структура учения о русловых процессах (русловедение).

тономной по отношению к русловым процессам, она в то же время является его составной частью, поскольку перемещение наносов водными потоками составляет физическую сущность русловых процессов, а многие их закономерности определяются величиной и изменчивостью стока и механизмом транспорта наносов. По Н.Е. Кондратьеву, “транспорт наносов следует рассматривать как содержание руслового процесса, а морфологические преобразования — как его внешнее выражение, форму” [20, с. 11]. Н.И. Маккавеев, подытоживая оценку значения водного потока и стока наносов в формировании речных русел, определил русловые процессы как “отображение поверхностью твердой среды особенностей движения воды и перемещаемых ею наносов” [25, с. 137], одну “из форм перемещения твердого вещества текущей водой” [25, с. 139].

Основными разделами русловедения, в наибольшей мере отражающими предмет исследования, являются морфодинамика (*channel/rivers morphodynamics*) и гидроморфология речных русел (*hydromorphology* [49], или *channel geometry* [54]). Иногда можно встретить мнение, что понятие морфодинамика подменяет термин “русловые процессы” [35]. Это вытекает из определения русловых процессов как “изменения в морфологическом строении речного русла под действием текущей воды” [20, с. 11], которое, по существу, ставит знак равенства с определением “русловых деформаций” как динамической формы их проявления: “изменения размеров и положения в пространстве речного русла и отдельных русловых об-

разований, обусловленные работой потока и связанные с переотложением наносов” [45, с. 162].

Отталкиваясь от исходного понятия “руслового процесса как взаимодействия потока и русла”, данного М.А. Великановым [12, с. 7], полная его формулировка выглядит следующим образом: русловые процессы ... совокупность явлений, связанных с взаимодействием потока и грунтов, слагающих ложе реки, эрозией, транспортом и аккумуляцией наносов, определяющих размывы дна и берегов рек, развитие различных форм русла и форм руслового рельефа, режим их сезонных, многолетних и вековых изменений [27, 38]. В такой трактовке динамика русловых потоков является частью русловедения, составляя единое целое с морфодинамикой, гидроморфологией, учением о речных наносах, изучением факторов русловых процессов и разработкой методов и приемов управления ими. Морфодинамика как часть русловедения изучает морфологическое строение речных русел, их рельеф (морфологию), русловые деформации (динамику речных русел) и те изменения в морфологии и динамике русел, которые происходят как при естественных изменениях природной среды, так и при техногенных (антропогенных) воздействиях на русла и факторы русловых процессов [36]. Таким образом, морфодинамика, будучи составной частью русловедения, сама состоит из нескольких взаимосвязанных разделов (рис. 2), из которых основными являются морфология речных русел (*channel geometry* [56]) и динамика речных русел (или, по М.А. Великанову, динамика русловых процессов). Они находят отражение в выделении морфодинамических типов русел

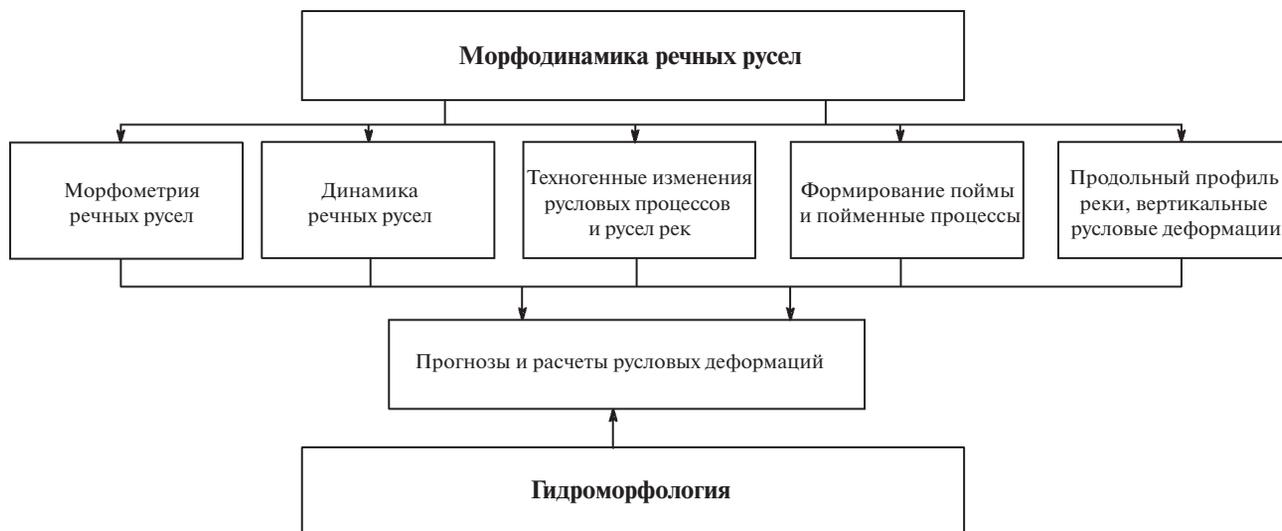


Рис. 2. Структура морфодинамики речных русел.

(извилистые, меандрирующие; разветвленные на рукава; относительно прямолинейные, неразветвленные), их разновидностей, перекаатов, грядовых и других форм руслового рельефа, текущих, сезонных, многолетних и вековых, периодических, направленных и текущих деформаций, многообразия их сочетаний, зависящих от условий, в которых они развиваются (водности рек и стока наносов, устойчивости русел, состава руслообразующих наносов, прохождения руслоформирующих расходов воды и т.д.).

Специфичность и разнообразие техногенных изменений русел, их деформации и факторов русловых процессов дает основание для выделения связанного с ними особого раздела морфодинамики [4].

Производной русловых деформаций является пойма, рельеф которой отражает морфодинамический тип русла на разных этапах ее формирования. С другой стороны, поймы рек являются важным фактором русловых процессов, представляя собой консервацию части перемещаемых потоком наносов в пойменных отложениях, являясь в то же время источником их поступления при размыве пойменных берегов и создавая большую или меньшую рассредоточенность потока при затоплении поймы в многоводные фазы водного режима. Поэтому поймы рек и пойменные процессы также представляют собой объект исследования морфодинамики речных русел.

Особое место в морфодинамике речных русел занимает изучение продольных профилей рек, вертикальных русловых деформаций и их морфологических проявлений. Отражая изменения потерь энергии потока и соотношений между стоком наносов и транспортирующей способностью потока по длине рек [25, 26], форма профиля,

темпы врезания или аккумуляции наносов (вертикальных деформаций) создают общий фон, на котором осуществляются горизонтальные русловые деформации, которые вместе с тем определяют особенности развития форм русла и руслового рельефа, а через нее – специфику управления русловыми процессами. В естественных условиях вертикальные деформации обычно проявляются в исторических и геологических масштабах времени (исключение – интенсивная аккумуляция наносов на Хуанхэ [43], Амударье [29] и нижнем Тереке и врезание р. Алабуги [34]), но при антропогенных воздействиях на русловые процессы и факторы русловых процессов приобретают иногда превалирующее значение – таковы, например, размывы русла ниже водохранилищ [2].

Итогом морфодинамических исследований является обоснование и разработка прогнозных оценок русловых деформаций. Ретроспективный анализ переформирований русла за многолетний период позволяет определить направленность и темпы русловых деформаций, их периодичность и длительность отдельных циклов, выявить связь с определяющими факторами и экстраполировать полученные закономерности на перспективу с учетом саморазвития (эволюции) русловых форм, сезонных и многолетних колебаний и изменений водности и стока наносов как следствие изменений природной среды, климата и антропогенных воздействий [24, 37]. Прогнозные оценки русловых деформаций должны быть дополнены гидролого-морфологическим анализом и математическим (гидродинамическим) моделированием, что существенно повышает их точность. Прогноз русловых деформаций, в свою очередь, позволяет дать оценку вероятности опасных и неблагоприятных проявлений русловых процес-

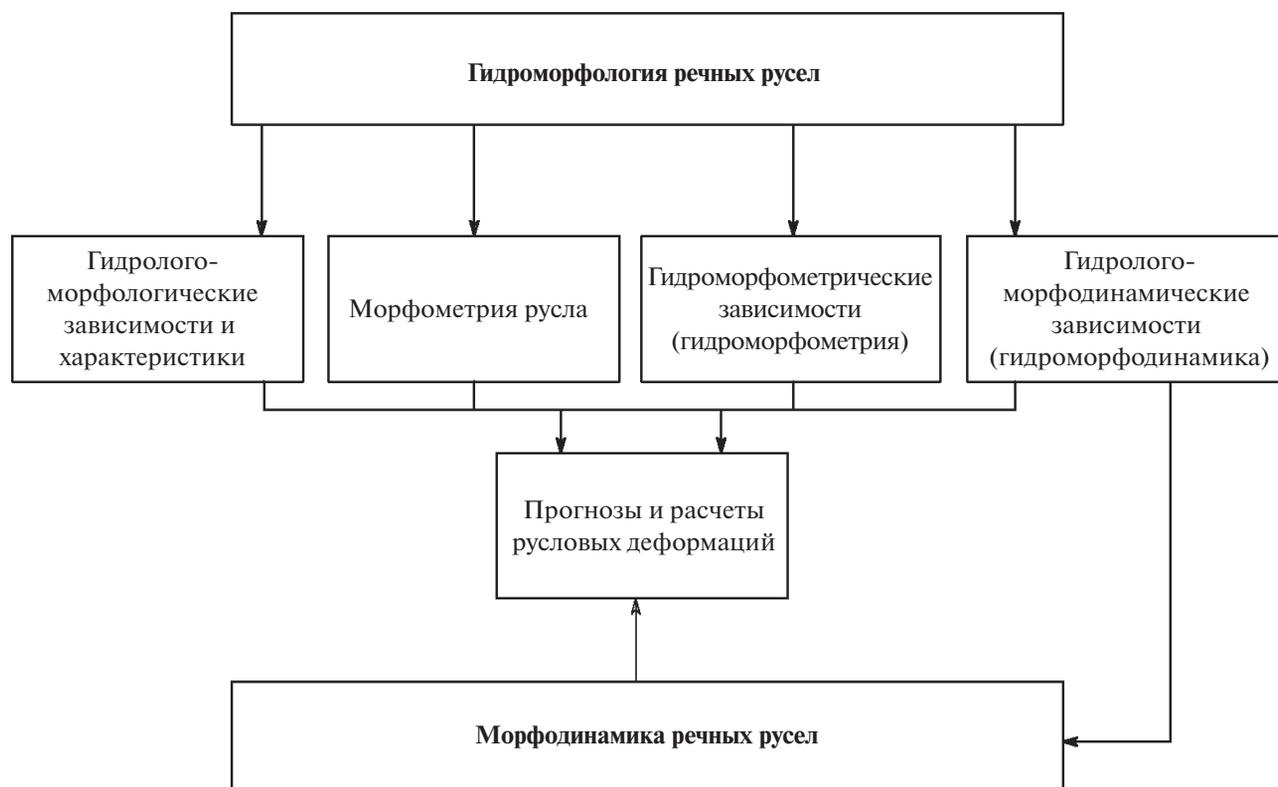


Рис. 3. Структура гидроморфологии речных русел.

сов в будущем, определяет возможности управления русловыми процессами, составляющими завершающий раздел русловедения.

### ГИДРОМОРФОЛОГИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ

Гидроморфология речных русел устанавливает количественные и корреляционные связи между морфологическими, морфометрическими и динамическими параметрами, характеризующими размеры и конфигурацию форм русла и форм руслового рельефа (излучин и разветвлений, перекатов, мезо- и макроформ грядового рельефа), поперечное сечение (ширину, глубину, площадь) и уклоны русла, скорости размыва берегов, смещения излучин, островов, перекатов и побочней, врезания/аккумуляции наносов, темпы развития/обмеления рукавов и т.д.) [39], с одной стороны, и показателями водности, стока и крупности наносов, устойчивости русла и транспортирующей способности потока, руслоформирующими расходами – с другой, а также соотношения между ними (рис. 3) и пространственно-временные изменения этих связей и соотношений. Таким образом, в гидроморфологии намечается четыре основных направления (см. рис. 3): гидролого-морфологическое (собственно гидроморфология русел), гидроморфометрическое (гидроморфометрия русел), морфометрическое (морфометрия

русел) и гидролого-морфодинамическое (гидроморфодинамика русел). Будучи взаимосвязанными, они имеют прямой выход на прогнозы русловых деформаций и вместе с прогнозными оценками, вытекающими из морфодинамического анализа, позволяют предвидеть в определенных временных интервалах в количественном выражении изменения морфологии, динамики и морфометрии русел. В свою очередь, знание возможных изменений в русле, как естественных, происходящих вследствие эволюции русловых форм, изменений стока воды и наносов, так и вызванных антропогенными воздействиями на реки и факторы русловых процессов, определяет подходы к управлению русловыми процессами гидротехническими (инженерными) воздействиями на них при обеспечении гидроэкологической безопасности.

*Гидролого-морфологический анализ* речных русел заключается в выявлении зависимостей между параметрами форм русла  $\pi$  (радиусом кривизны  $r$ ; шагом  $L$ ; степенью развитости излучин  $l/L$ , где  $l$  – их длина; разветвленности русла  $n_0/x$ , где  $n_0$  – количество островов на единицу длины русла  $x$ ; размерами островов – их шириной  $B_0$  и длиной  $L_0$  и т.д.) и показателями водности реки. В англоязычной литературе гидроморфологические зависимости, представляющие собой связи между пара-

метрами форм русла и характеристиками речного потока, описываются термином *adjustmens* [50]: например, с расходами воды – *channel adjustment* [44, 54]. Применяя зависимости  $\pi = f(Q)$  для данной реки (бассейна или рек региона, однородных по природным условиям), можно оценивать возможные изменения параметров при увеличении/уменьшении водности реки, при разработке многолетних и долгосрочных прогнозов русловых деформаций. Такую же операцию можно делать для многолетних и долгосрочных прогнозов в отношении излучин рукавов реки, водность которых меняется в процессе переформирования разветвлений, отдельно для излучин, находящихся на разных стадиях развития и т.д. Использование таких гидролого-морфологических зависимостей позволяет установить тенденции переформирования русел и экстраполировать их на отрезки времени, в пределах которых ожидается изменение водности реки или стока наносов – ведущих активных факторов русловых процессов [37]. Применив подобные связи для палеогидрологических построений и восстановив очертания древних русел по рельефу поймы, можно получить (по соотношению их параметров с параметрами современного русла) изменение средних расходов воды по сравнению с прошлыми эпохами. Это, в свою очередь, открывает путь к разработке перспективных (многовековых) прогнозных оценок трансформации параметров русел при глобальных изменениях природной среды и климата [33].

При построении гидролого-морфологических зависимостей надо учитывать высокую вариативность параметров русловых форм, изменяющихся в ходе их естественной эволюции (само-развития). Она определяет некорректность осреднения параметров форм русел в пределах морфологически однородных бесприточных участков. Поэтому представляется более правильным использование модальных значений параметров, и лишь, например, для излучин, находящихся на одной стадии развития из-за их относительной малочисленности и сравнительно небольшого диапазона соотношения  $l/L$ , соответствующего каждой стадии, возможно использовать средние значения.

Разновидностью гидролого-морфологического анализа является построение  $QI$ -диаграмм ( $Q$  – среднемаксимальный или руслоформирующий расход воды,  $I$  – уклон днища долины), позволяющих определять условия формирования русла того или иного морфодинамического типа и возможность его изменения при увеличении/уменьшении водности реки [42, 52].

*Гидроморфометрические зависимости (hydraulic geometry* [50, 54]) связывают между собой параметры (ширина, глубина, площадь поперечного

сечения) русел и гидравлические элементы потока. Они отражают устойчивые соотношения между ними, сформировавшиеся в процессе русловых деформаций и дающие представление о предельной форме сечения русла, к которой стремится система “поток–русло”. Они могут устанавливаться для отдельных створов (*at-a site hydraulic geometry*), так и осредненно для морфологически однородных участков рек и по формам русла (*downstream hydraulic geometry*). Поэтому сравнение расчетных значений параметров русла (или его рукавов) с фактическими при данных характеристиках водности и стока наносов используется для прогнозной оценки направленности вертикальных деформаций. Таковы показатель поперечного сечения подвижного русла К.В. Гри-

шанина [15]  $M = \frac{h(gb_p)^{1/2}}{Q^{0.5}}$  ( $Q$  – среднесуточный расход воды,  $m^3/c$ ;  $h$  – глубина,  $b_p$  – ширина русла), значение которого в пределах  $0.75 < M < 1.05$  свидетельствует об относительно устойчивом его состоянии,  $M < 0.75$  – о размыве русла,  $M > 1.05$  – об аккумуляции наносов, а также гидроморфометрические зависимости В.Н. Михайлова [28], в которых несоответствие расчетных значений фактическим отражает развитие или отмирание рукавов.

*Морфометрические зависимости* связывают между собой параметры сечения русла (ширину и глубину). Один из первых таких показателей  $\frac{\sqrt{b_p}}{h} = \Gamma$  был предложен В.Г. Глушковым, который установил его зависимость от противоэрозийной устойчивости грунта. Важное значение имеют зависимости  $h$ ,  $b_p$  и  $b_p/h$  от водности реки и стока наносов, поскольку они позволяют прогнозировать их изменение при увеличении/снижении характеристик речного стока. С.И. Рыбкин [32], а позднее В.Е. Сергутин и А.Л. Радюк [32] установили, что ширина  $h$  и глубина  $b_p$  по-разному возрастают при увеличении расходов воды от межени к половодью (паводку), так как их соотношение зависит от формы поперечного сечения русла.

*Гидролого-морфодинамические связи* устанавливаются между параметрами, характеризующими интенсивность русловых деформаций и гидравлическими элементами потока (шириной, глубиной, уклоном, расходом воды, скоростями течения, шероховатостью русла и т.д.), и морфологическими показателями, описывающими формы русла (излучин, разветвлений и пр.). Скорости размыва берегов увеличиваются по мере роста кривизны излучин, поскольку он сопровождается трансформацией скоростного поля потока и местным увеличением его мощности; одновременно происходит изменение протяженности фронта размыва вогнутого берега, который в на-

чальной стадии находится в нижнем крыле излучины, но по мере ее развития распространяется на всю вогнутость. Соответственно увеличивается область аккумуляции наносов у выпуклого берега, растет высота прирусловой отмели возле него.

К этой же категории гидроморфологии относятся *расчеты по электрическим формулам*. Одни из них опираются на изменчивость глубин русла возле вогнутых размываемых берегов излучин и степень развитости излучин (таковы формулы Н.Е. Кондратьева [18]), другие [2, 6, 27] – на водность потока, высоту подмываемого берега и/или крупность наносов и соотношения скоростей потока при руслоформирующем расходе и критической скорости потока, при которой начинается размыв отложений, слагающих берег. Е.В. Камаловой [17] под руководством К.М. Берковича разработаны номограммы, связывающие скорости размыва берегов  $C_6$  с уклоном для рек разной водности, и их аналитические выражения вида  $C_6 = kI^n$ , где  $k$  – коэффициент, возрастающий от 2.4 у рек с  $Q_{cp} < 50 \text{ м}^3/\text{с}$  до 22.5 у рек с  $Q_{cp} = 500\text{--}1000 \text{ м}^3/\text{с}$ .

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РУСЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Морфодинамические и гидроморфологические исследования русловых процессов имеют своей конечной целью, во-первых, выявление закономерностей формирования и развития речных русел, их пространственно-временных изменений, режима сезонных, многолетних и вековых русловых деформаций, связей с динамикой потока, стоком и движением наносов в различных природных и природно-антропогенных условиях; во-вторых, прогнозирование русловых деформаций на различные временные интервалы, начиная от текущих, происходящих на глазах и вызывающих постоянное изменение русла и русловых образований, до многолетних и долгосрочных, рассчитанных на годы и десятки лет. Перспективные прогнозы составляются при глобальных изменениях водности рек и стока наносов и реализации крупных водохозяйственных проектов. При различных подходах к прогнозированию методами морфодинамики и гидроморфологии русла “не следует отдавать предпочтение какому-нибудь одному методу, а нужно их комбинировать в соответствии с участком реки и целями прогноза” [15, с. 187].

Прогнозирование русловых деформаций, основывающееся на пространственно-временных и гидролого-географических закономерностях развития и формах проявления русловых процессов как в естественном состоянии рек, так и при различных по масштабу антропогенных нарушениях, является главным принципом управления

русловыми процессами. Оно заключается в искусственном воздействии на русла рек, при котором обеспечивается максимально возможная их (как природных объектов) гидроэкологическая безопасность; их формы закрепляются в оптимальном положении, позволяющем свести к минимуму опасные и неблагоприятные проявления русловых процессов и в то же время обеспечить достижение поставленной цели (углубление русла при транспортном использовании реки, разработку русловых карьеров строительных материалов, защиту берегов от размыва, противопаводковое обвалование и т.д.). Поэтому проекты использования рек и их ресурсов (водных, земельных, минеральных) будут обоснованы, если учтены направленность и темпы русловых деформаций, возможные изменения русел и специфика проявления процессов в различных условиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основными взаимосвязанными разделами учения о русловых процессах (русловедения) являются морфодинамика и гидроморфология речных русел; динамика русловых потоков и учение о речных наносах входят в русловедение теми своими частями, которые определяют процессы руслоформирования и без которых невозможно их изучение.

2. Объектом морфодинамики является морфологическое строение речных русел, их форма и рельеф (морфология), русловые деформации (динамика речных русел) и те изменения в морфологии и динамике, которые происходят при естественных изменениях водности и стока наносов (следствие изменений природной среды и климата), а также антропогенных воздействий на русла и факторы русловых процессов.

3. Морфодинамика речных русел, в свою очередь, состоит из двух основных структурных подразделов – морфологии и динамики русел, которые дополняются изучением их техногенных (антропогенных) изменений, формирования пойм и пойменных процессов, рассматриваемых как производные русловых процессов, и продольного профиля реки как мегаформы морфологических проявлений, связанных с общими направленными вертикальными деформациями.

4. Гидроморфология как раздел русловедения разрабатывает гидролого-морфологические, гидроморфометрические, морфометрические и гидролого-морфодинамические зависимости, связывающие параметры форм русла, руслового рельефа и поперечного сечения русел, интенсивности русловых деформаций между собой и с показателями, характеризующими водность рек, сток наносов, устойчивость русел, гидравлическими элементами потока, его транспортирующей способностью и т.д.

5. Эти зависимости и соотношения являются основой для прогнозирования русловых деформаций, на которые, в свою очередь, опираются принципы и методы управления русловыми процессами при хозяйственном использовании рек и речных ресурсов.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена по планам НИР (Госзадания) кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова, а также при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-17-00086 – гидроморфология разветвленных русел) и РФФИ (проект № 18-05-00487 – гидролого-морфологические оценки экстремальных проявлений русловых процессов и проект № 19-35-90101/19 – морфодинамика и гидроморфология излучин на больших реках).

#### FUNDING

The work was completed within the research plans (state-ordered research theme) of the Department of Land Hydrology and the N.I. Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes of the Lomonosov Moscow State University, and with the financial support of the Russian Science Foundation (project no. 18-17-00086 – hydromorphology of branched channels) and the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-05-00487 – hydrologic-morphological assessment of extreme manifestations of channel processes).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышников Н.Б. Динамика русловых потоков. СПб.: РГГМУ, 2007. 314 с.
2. Барышников Н.Б. Русловые процессы. СПб.: РГГМУ, 2008. 439 с.
3. Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 456 с.
4. Беркович К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001. 164 с.
5. Беркович К.М. Русловые процессы в сфере влияния водохранилищ. М.: Изд-во Моск. ун-та, географ. ф-т, 2012. 163 с.
6. Беркович К.М., Власов Б.Н. Особенности русловых процессов на реках Нечерноземной зоны РСФСР // Вест. Моск. ун-та Сер. 5: География. 1982. № 3. С. 28–34.
7. Близняк Е.В., Никольский В.М. Гидрология и водные исследования. М.: Речиздат, 1946. 213 с.
8. Близняк Е.В., Овчинников К.М., Быков В.Д. Гидрография рек СССР. М.: Гидрометеоздат, 1945. 616 с.
9. Богданов Д.Л. Общая лотия рек. М.–Л.: Гидрометеоздат, 1936. 81 с.
10. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. В 2-х т. Т. 1. Структура потока. М.: Гостехиздат, 1954. 324 с. Т. 2. Наносы и русло. М.: Гостехиздат, 1955. 324 с.
11. Великанов М.А. К постановке проблемы русловых процессов // Метеорология и гидрология. 1946. № 3. С. 36–46.
12. Великанов М.А. Русловой процесс. М.: Госфизматиздат, 1958. 395 с.
13. Гладков Г.Л., Чалов Р.С., Беркович К.М. Гидроморфология русел судоходных рек. СПб.: Изд-во ГУ-МРФ им. адм. С.О. Макарова, 2016. 432 с.
14. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеоздат, 1962. 373 с.
15. Гришанин К.В. Теория руслового процесса. М.: Транспорт, 1972. 216 с.
16. Давыдов Л.К. Гидрография СССР. Т. II. Гидрография районов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1955. 600 с.
17. Камалова Е.В. Географические закономерности процессов разрушения берегов на малых и средних реках бассейнов Волги и среднего Дона: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1988. 22 с.
18. Кондратьев Н.Е. Русловые деформации в меандрирующих руслах // Тр. ГГИ. Вып. 44 (98). 1954. С. 5–13.
19. Кондратьев Н.Е., Ляпин А.Н., Попов И.В., Пиньковский С.И., Федоров Н.Н., Якунин И.А. Русловой процесс. Л.: Гидрометеоздат, 1959. 372 с.
20. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снищенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 272 с.
21. Леви И.И. Динамика русловых потоков. М.–Л.: Гидрометеоздат, 1957. 250 с.
22. Лелявский 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. 18–136.
23. Львович М.И. Русловые процессы и золотоносность участка р. Сугор // Тр. Треста “Золоторазведка” и ин-та НИГРИ Золото. 1934. № 8.
24. Маккавеев Н.И. Некоторые вопросы прогнозных исследований в области флювиальных процессов // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 6. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. С. 5–18.
25. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
26. Маккавеев Н.И. Сток и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. 116 с.
27. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 264 с.
28. Михайлов В.Н. Динамика потока и русла в неприливых устьях рек // Тр. ГОИН. Вып. 102. 1971. 260 с.
29. Нелюбин В.Я. Амударья. М.: Морской транспорт, 1993. 136 с.
30. Попков И.Ф. Общая лотия внутренних водных путей. М.: Речной транспорт, 1962. 279 с.
31. Рыбкин С.И. Морфометрическая классификация рек // Метеорология и гидрология. 1947. № 4. С. 46–52.
32. Сергутин В.Е., Радюк А.Л. О морфометрии русел и сечении каналов. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1984. 152 с.
33. Сидорчук А.Ю. Основные результаты палеогидрологического исследования палеорусел перигляциальной зоны последнего оледенения Русской рав-

- нины // Маккавевские чтения – 2003. М.: Изд-во Моск. ун-та, географ. ф-т, 2004. С. 62–70.
34. Сидорчук А.Ю., Чалов Р.С. Врезание горных рек: скорости и причины // Природа. 1996. № 12. С. 36–45.
  35. Сущенко Б.Ф. Развитие теории руслового процесса в XX в. // Тр. ГГИ. Вып. 361. 2002. С. 5–26.
  36. Чалов Р.С. Географическое русловедение и морфодинамика речных русел // Геоморфология. 2009. № 2. С. 12–19.
  37. Чалов Р.С. О прогнозах русловых деформаций // Геоморфология. 2015. № 4. С. 20–30.
  38. Чалов Р.С. Общее географическое и инженерное русловедение, предмет исследований и положение в системе наук // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 1992. № 6. С. 10–16.
  39. Чалов Р.С. Параметризация русловых процессов для прогнозных оценок и диагностики опасных проявлений // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 5. С. 551–562.
  40. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: формирование речных русел. М.: Изд-во ЛКО, 2008. 608 с.
  41. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
  42. Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В., Лодина Р.В., Панин А.В. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998. 288 с.
  43. Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 212 с.
  44. Чалова (Ермакова) А.С. Структура и содержание первого многоязыкового словаря по русловым процессам // Двадцать пятое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Астрахань, 2010. С. 222–224.
  45. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 223 с.
  46. Чеботарев А.И. Общая гидрология. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 223 с.
  47. Щукин И.С. Общая геоморфология. Т. 1. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960. 616 с.
  48. Энгельс Ф. Динамика природы. М. Госполитиздат, 1969. 260 с.
  49. Brils J. Sediment monitoring and the European Water Framework Directive // Ann. Ist Supper Sanita. 2008. P. 218–223.
  50. Knighton D. Fluvial Forms and Processes. 2014. 400 p.
  51. Knighton D. Fluvial Forms and Processes: A New Perspective // UK Google Sch. 1988. 218 p.
  52. Leopold L.B., Maddock Jnr. T. The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications. 1953. 57 p.
  53. Leopold L.B., Wolman M.G. River channel patterns – braided, meandering and straight // USGS Prof. Pap. 282. B. 1957. P. 1–83.
  54. Merritt M., Wohl E.E. Downstream hydraulic geometry and channel adjustment during a flood along an ephemeral, arid-region drainage // Geomorphology. 2003. P. 165–180.
  55. Schumm S.A. The fluvial system. 1977. 338 p.
  56. Wohl E., Merritt D.M. Reach-scale channel geometry of mountain streams // Geomorphology. 2008. P. 969–981.

## Concepts of Hydromorphology and River Morphodynamics in Channel Processes Science

R. S. Chalov<sup>1</sup>, \* and A. A. Kamyshev<sup>1</sup>, \*\*

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

\*e-mail: rschalov@mail.ru

\*\*e-mail: arsenii.kamyshev@yandex.ru

The article considers the structure of the study of channel processes (channel studies) as an independent section of river hydrology, which explores the effect of river runoff on the land surface. The main components of channel studies are the morphodynamics and hydromorphology of the channels. These sections are interacting with the dynamics of the channel flows and the theory of river drifts which depending on the content of the research are part of the channel science or the branches of knowledge unrelated to it. The basis of morphodynamics is the study of the morphology and dynamics of river channels, their technogenic changes, as well as river floodplains as derivatives of channel deformations, and the development of longitudinal river profiles. Hydromorphology develops hydrologic-morphological, hydromorphometric, morphometric and hydrologic-morphodynamic relations, establishes dependencies connecting the parameters of the channels among themselves, and with the hydrological and hydraulic characteristics of the rivers. It is shown that these dependencies are the basis for the development of forecasts of channel deformations as a result of the self-development of channel forms, natural and anthropogenically caused changes in the natural environment and climate. The methodology of managing channel processes and ensuring hydro-ecological safety during the development of river resources are based on regularities of channel deformations and forecasts of their development.

**Keywords:** channel processes, hydromorphology, morphodynamics, morphology, channeling, hydrologic-morphological analysis, hydromorphological dependencies, hydrologic-morphodynamic relations

## REFERENCES

1. Baryshnikov N.B. *Dinamika ruslovykh potokov* [Channel Flows' Dynamics]. St. Petersburg: RGGMU, 2007. 314 p.
2. Baryshnikov N.B. *Ruslovyye protsessy* [Channel Processes]. St. Petersburg: RGGMU, 2008. 439 p.
3. Baryshnikov N.B., Popov I.V. *Dinamika ruslovykh potokov i ruslovyye protsessy* [Channel Flows' Dynamics and Channel Processes]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1988. 456 p.
4. Berkovich K.M. Geograficheskii analiz antropogennykh izmenenii ruslovykh protsessov [Geographical Analysis of Anthropogenic Changes in Channel Processes]. Moscow: GEOS Publ., 2001. 164 p.
5. Berkovich K.M. *Ruslovyye protsessy na rekakh v sfere vliyaniya vodokhranilishch* [Channel Processes in Rivers Influenced by Reservoirs]. Moscow: Geogr. Fakul'tet Mosk. Gos. Univ., 2012. 163 p.
6. Berkovich K.M. Features of channel processes on the rivers of the Non-chernozem zone of the RSFSR. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 1982, no. 3, pp. 28–34. (In Russ.).
7. Bliznyak E.V., Nikol'skii V.M. *Gidrologiya i vodnye issledovaniya* [Hydrology and Water Research]. Moscow: Rechizdat Publ., 1946. 213 p.
8. Bliznyak E.V., Ovchinnikov K.M., Bykov V.D. *Gidrografiya Rek SSSR* [Hydrography of the Rivers of the USSR]. Moscow: Gidrometeoizdat Publ., 1945. 616 p.
9. Bogdanov D.L. *Obshchaya lotsiya rek* [General River Sailing Directions]. Moscow, Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1936. 81 p.
10. Velikanov M.A. *Dinamika ruslovykh potokov* [Channel Flows' Dynamics]. Vol. 1: *Struktura potoka* [Flow Structure]. Moscow: Gostekhizdat Publ., 1954. 324 p.
11. Velikanov M.A. To the formulation of the problem of channel processes. *Meteorol. Gidrol.*, 1946, no. 3, pp. 36–46. (In Russ.).
12. Velikanov M.A. *Ruslovoi protsess* [Channel Process]. Moscow: Gosfizmatizdat Publ., 1958. 395 p.
13. Gladkov G.L., Chalov R.S., Berkovich K.M. *Gidromorfologiya rusel sudokhodnykh rek* [Hydromorphology of Navigable River Channels]. St. Petersburg: GUMRF im. S.O. Makarova, 2016. 432 p.
14. Goncharov V.N. *Dinamika ruslovykh potokov* [Channel Flows' Dynamics]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1962. 372 p.
15. Grishanin K.V. *Teoriya ruslovogo protsessa* [Theory of the Channel Process]. Moscow: Transport Publ., 1972. 216 p.
16. Davydov L.K. *Gidrografiya SSSR* [Hydrography of the USSR]. Vol. 2: *Gidrografiya raionov* [Hydrography of Areas]. Leningrad: Leningrad. Gos. Univ., 1955. 600 p.
17. Kamalova E.V. Geographical regularities of coastal destruction processes on small and medium-sized rivers in the Volga and Middle Don basins. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Moscow State Univ., 1988. 22 p.
18. Kondrat'ev N.E. Channel deformations in meandering channels. *Tr. GGI*, 1954, vol. 44 (98), pp. 5–13. (In Russ.).
19. Kondrat'ev N.E., Lyapin A.N., Popov I.V., Pin'kovskii S.I., Fedorov N.N., Yakunin I.A. *Ruslovoi protsess* [Channel Process]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1959. 372 p.
20. Kondrat'ev N.E., Popov I.V., Snishchenko B.F. *Osnovy gidromorfologicheskoi teorii ruslovogo protsessa* [Fundamentals of the Hydromorphological Theory of the Channel Process]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1982. 272 p.
21. Levi I.I. *Dinamika ruslovykh potokov* [Channel Flows' Dynamics]. Moscow-Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1957. 250 p.
22. Lelyavskii N.S. On the river flows and the formation of the river channel. In *Tr. 2-go s'ezda inzhenerov-gidrotexnikov v 1893 g. S.-Peterb.* [Proc. 2nd Congress of Hydrotechnical Engineers in 1893. St. Petersburg]. Moscow: Rechizdat Publ., 1948, pp. 18–136. (In Russ.).
23. L'vovich M.I. Channel processes and gold content of the Sugor River. *Tr. Tresta "Zolotorazvedka" i Inst. NIGRI Zoloto*, 1934, no. 8. (In Russ.).
24. Makkaveev N.I. Some questions of predictive research in the field of fluvial processes. In *Eroziya pochv i ruslovyye protsessy* [Soil Erosion and Channel Processes]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1978, vol. 6, pp. 5–18. (In Russ.).
25. Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine* [River Channel and Erosion in its Basin]. Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1955. 347 p.
26. Makkaveev N.I. *Stok i ruslovyye protsessy* [Runoff and Channel Processes]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1971. 116 p.
27. Makkaveev N.I., Chalov R.S. *Ruslovyye protsessy* [Channel Processes]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1986. 264 p.
28. Mikhailov V.N. *Dinamika potoka i rusla v neprilivnykh ust'yakh rek* [Dynamics of Flow and Channel in non-Tidal Estuaries]. Tr. GOIN, vol. 102. Moscow: Gos. Okean. Inst., 1971. 260 p.
29. Nelyubin V.Ya. *Amudar'ya* [The Amu Darya]. Moscow: Morskoi Transport Publ., 1993. 136 p.
30. Popkov I.F. *Obshchaya lotsiya vnutrennikh vodnykh putei* [General Sailing Directions of Inland Waterways]. Moscow: Rezhnoi Transport Publ., 1962. 279 p.
31. Rybkin S.I. Morphometric classification of rivers. *Meteorol. Gidrol.*, 1947, no. 4, pp. 46–52. (In Russ.).
32. Sergutin V.E., Radyuk A.L. *O morfometrii rusel i sechenii kanalov* [About Channel Morphometry and Section of Canals]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk. Univ., 1984. 152 p.
33. Sidorchuk A.Yu. Main results of a paleohydrological study of the paleo-channel of the periglacial zone of the last glaciation of the Russian Plain. In *Makkaveevskie chteniya* [The Makkaveev Readings]. Moscow: Geogr. Fakul'tet Mosk. Gos. Univ., 2004. pp. 62–70. (In Russ.).
34. Sidorchuk A.Yu., Chalov R.S. Piercing mountain rivers: speeds and causes. *Priroda*, no. 12, pp. 36–45. (In Russ.).
35. Snishchenko B.F. The development of the theory of the channel process in the twentieth century. *Tr. GGI*, 2002, vol. 361, pp. 5–26. (In Russ.).

36. Chalov R.S. Geographical channeling and channel morphodynamic. *Geomorfologiya*, 2009, no. 2, pp. 12–19. (In Russ.).
37. Chalov R.S. About forecasts of channel deformations. *Geomorfologiya*, 2015, no. 4, pp. 20–30. (In Russ.).
38. Chalov R.S. General geographical and engineering channeling, the subject of research and the position in the system of sciences. *Vestn. Mos. Univ., Ser. 5: Geogr.* 1992, no. 6, pp. 10–16. (In Russ.).
39. Chalov R.S. Parameterization of channel processes for predictive assessments and diagnosis of dangerous manifestations. *Water Resour.*, 2017, vol. 44, pp. 738–748.
40. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika* [Channeling Science: Theory, Geography, Practice]. Vol. 1: *Ruslovye protsessy: formirovanie rechnykh rusel* [Channel Processes: River Channel Formation]. Moscow: LKO Publ., 2008. 608 p.
41. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika* [River Bed Science: Theory, Geography, Practice]. Vol. 2: *Morfodinamika rechnykh rusel* [Morphodynamics of River Channels]. Moscow: KRASAND Publ., 2011. 960 p.
42. Chalov R.S., Alabyan A.M., Ivanov V.V., Lodina R.V., Panin A.V. *Morfodinamika rusel ravninnykh rek* [Morphodynamics of Lowland River Channels]. Moscow: GEOS Publ., 1998. 288 p.
43. Chalov R.S., Lju Shuguan, Alekseevskii N.I. *Stok nanosov i ruslovye protsessy na bol'shikh rekakh Rossii i Kitaya* [Bed Flow and Channel Processes on the Major Rivers of Russia and China]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 2000. 212 p.
44. Chalova A.S. Structure and content of the first multilingual dictionary on channel processes. In *Dvadsat' pyatoe plenarnoe mezhvuzovskoe koordinatsionnoe soveshchanie po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov* [Twenty-Fifth Plenary Interuniversity Coordination Meeting on the Problem of Erosion, Channel and Estuarine Processes]. Astrahan', 2010, pp. 222–224. (In Russ.).
45. Chebotarev A.I. *Gidrologicheskii slovar'* [Hydrological Dictionary]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1964. 223 p.
46. Chebotarev A.I. *Obshchaya gidrologiya* [General Hydrology]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1960. 223 p.
47. Shchukin I.S. *Obshchaya geomorfologiya* [General Geomorphology]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1960, vol. 1. 616 p.
48. Engels F. *Dinamika prirosta* [Growth Dynamics]. Moscow: Gospolitizdat Publ., 1969. 260 p.
49. Brils J. Sediment monitoring and the European Water Framework Directive. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita*, 2008, pp. 218–223.
50. Knighton D. *Fluvial Forms and Processes*. Routledge, 2014. 400 p.
51. Knighton D. *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. London: Arnold, 1988. 218 p.
52. Leopold L.B., Maddock Jnr. T. *The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications*. U.S. Government Printing Office, 1953. 57 p.
53. Leopold L.B., Wolman M.G. *River channel patterns – braided, meandering and straight*. U.S. Government Printing Office, 1957. 83 p.
54. Merritt M., Wohl E.E. Downstream hydraulic geometry and channel adjustment during a flood along an ephemeral, arid-region drainage. *Geomorphology*, 2003, pp. 165–180.
55. Schumm S.A. *The fluvial system*. Wiley, 1977. 338 p.
56. Wohl E., Merritt D.M. Reach-scale channel geometry of mountain streams. *Geomorphology*, 2008, vol. 93, nos. 3–4, pp. 168–185.