
УДК 551.435.133:556.51/.54

ТРАНСФОРМАЦИЯ РАЗВЕТВЛЕННЫХ РУСЕЛ РЕК: ФАКТОРЫ, УСЛОВИЯ, ПРИЧИНЫ

© 2020 г. Р. С. Чалов^{1,*}

¹*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
Москва, Россия*

**E-mail: rschalov@mail.ru*

Поступила в редакцию 15.11.2019 г.

После доработки 19.02.2020 г.

Принята к публикации 16.06.2020 г.

Глобальные изменения природной среды и климата, продолжающиеся антропогенные воздействия на природу сказываются на водоносности рек, их водном режиме и стоке наносов — основных активных факторах русловых процессов. В результате происходит трансформация русел, в первую очередь, широкопойменных, разветвленных на рукава, являющихся наиболее уязвимыми к происходящим изменениям факторов. Это проявляется в усложнении разветвлений, замене одних их морфодинамических типов другими, возрастает количество островов в руслах вследствие зарастания осередков и, соответственно, образуется более высокий островной (русловой) уровень разветвленности, растет рассредоточенность стока воды и, как следствие, происходит снижение транспортирующей способности потока. Возникают разветвления на излучинах, активизируется их спрямление, формируются прорванные излучины как вновь появляющийся элемент разветвленности. Вместе с тем трансформация разветвлений происходит вследствие их естественной эволюции и переформирования при неизменности факторов, определяющих формирование самих разветвлений, а также в результате непосредственных техногенных воздействий на русла рек и антропогенных изменений факторов русловых процессов. Обосновываются основные направления преобразований разветвленных русел и формирования новых разветвлений в результате как естественной эволюции их форм, так и изменений природной среды, климата и антропогенных воздействий. Они сопровождаются усилением опасных проявлений русловых процессов, сказываются на использовании речных ресурсов и должны учитываться при разработке водохозяйственных проектов, освоении рек как водных путей сообщения, прокладке коммуникаций и т.д.

Ключевые слова: русловые процессы, разветвления русел, острова, осередки, трансформация, эволюция, деформации, гидроклиматические изменения, антропогенные воздействия

DOI: 10.31857/S0435428120040033

ВВЕДЕНИЕ

Происходящие изменения природной среды и климата, в том числе антропогенно-обусловленные, сопровождаются изменениями основных активных факторов русловых процессов — стока воды и наносов; вместе с непосредственными техногенными воздействиями на реки они создают новые условия формирования русел, приводят к трансформации руслового режима — вплоть до коренной перестройки русел, смены их морфодинамического типа, направленности и темпов горизонтальных деформаций [1].

Особенно существенно это проявляется на реках с широкопойменным, слабо- или неустойчивым разветвленным руслом.

Впервые подобные изменения в морфодинамике русел были отмечены в начале второй половины XX века как следствие крупного гидротехнического строительства, приведшего к регулированию стока воды и сокращению стока наносов ниже крупных гидроузлов, появлению на реках искусственно созданных базисов эрозии — водохранилищ [2, 3]. При этом главное внимание было обращено на изменения направленности и темпов вертикальных деформаций (врезание рек — в первом случае, регрессивную аккумуляцию наносов — во втором) и трансформацию излучин свободно меандрирующих рек в нижних бьефах гидроузлов. Лишь в конце XX и наступившем XXI веке были зафиксированы трансформации русел рек, остающиеся в естественном состоянии, но в разных природных условиях и с различным водным режимом [1, 4, 5].

Выполненные во второй половине XX века на многих больших реках крупные работы по совершенствованию на них водных путей также явились мощным фактором трансформации русел. В массовом порядке производилось возведение коммуникаций через реки, берегоукрепление, разработка карьеров аллювиальных стройматериалов (по принятой терминологии — песчано-гравийной смеси ПГС или нерудных стройматериалов НСМ) и т.д. Столь разноплановые антропогенные воздействия на реки совпали со ставшими проявляться в морфологии и динамике русел естественными изменениями стока рек и их водного режима вследствие глобальных изменений природной среды и климата.

Однако масштабы, темпы и направленность происходящей трансформации русел неодинаковы на разных реках. Они определяются размерами рек, свободными и ограниченными условиями развития русловых деформаций, их устойчивостью и морфодинамическим типом. На реках с меандрирующим руслом они в основном сказываются в изменениях параметров излучин, приходящих в соответствие с новыми показателями стока (поскольку, например, радиусы кривизны r и шаги излучин L зависят от водности реки Q). При регулировании стока гидроузлами они уменьшаются, излучины становятся более крутыми, а их трансформация сопровождается активизацией размыва берегов. При его увеличении и, как следствие, усилении затопляемости поймы происходит их спрямление и образование прорванных излучин. Этим изменениям уделяется большее внимание [2, 4, 6], в том числе в палеогидрологическом аспекте [7].

Разветвленные русла, особенно широкопойменные, по своим гидролого-морфодинамическим характеристикам и режиму деформаций очень разнообразны, развиваются на разных структурных уровнях — осередковом, русловом (островном) пойменно-русловом, пойменном (раздвоенные русла) [8, 9]. Рукава русловых (островных) разветвлений могут характеризоваться вторичными разветвлениями [8], образовывать, огибая острова, излучины, меандрировать или иметь относительно прямолинейное русло. Разветвления возникают при спрямлении излучин (прорванные излучины), создают раздвоенные русла или пойменно-русловые разветвления, в которых каждый рукав характеризуется своим морфодинамическим типом русла. В результате происходит сложное пространственно-временное рассредоточение стока, постоянно изменяющееся в связи с естественной эволюцией разветвлений в процессе русловых деформаций. В свою очередь, это обуславливает столь же большое разнообразие условий и форм трансформации разветвлений русел под влиянием многолетних и вековых (направленных) изменений водности рек и стока наносов, так и антропогенных воздействий на них, вследствие чего они приобретают необратимый характер.

В последнее время появились по существу первые публикации, в которых на конкретных примерах рассматриваются трансформации разветвлений при естественных или антропогенно-обусловленных изменениях факторов русловых процессов [1, 4, 5], даются, наряду с другими типами русла, оценки возможных их трансформаций [1]. Задача настоящей статьи — дать характеристику преобразований разветвленных русел,

как при периодических (чередование многоводных и маловодных лет), так и направленных гидроклиматических изменениях, при искусственном регулировании стока и техногенном воздействии на реки. В то же время необходимо учитывать закономерную естественную эволюцию форм разветвленных русел.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В основу статьи положены обширные материалы исследований руслового режима рек с разветвленным руслом, проводившихся автором или при его участии, начиная с 1957 г. Использованы разнообразные картографические источники: лоцманские карты и карты судоходных рек разных лет издания с конца XIX—начала XX века, топографические карты, аэро- и космические снимки, литературные и архивные источники, зафиксировавшие состояние русел на различные временные срезы. Вместе с натурными исследованиями, а на ряде рек (верхней и средней Оби, средней и нижней Лене, Сев. Двине, Вычегде и др.) проводившимися с неоднократной повторностью, это позволило выполнить ретроспективный анализ переформирования русел, связать их с происходящими периодическими колебаниями и гидроклиматическими изменениями речного стока, антропогенными воздействиями на реки при их водохозяйственном и воднотранспортном освоении. В результате выявлены деформации, которые происходят вследствие эволюции разветвлений, носят периодический характер или приводят к смене морфодинамического типа, усложнению или упрощению их структуры, а в некоторых случаях — к их исчезновению благодаря размыву островов или их приращению к берегам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наиболее простой формой временной трансформации разветвлений является превращение осередков как составных частей крупных гряд (перекатов) в острова (рис. 1). Соответственно, осередковые разветвления превращаются в русловые (островные), обеспечивающие рассредоточение стока по рукавам во все фазы водного режима, изменение транспортирующей способности потока и деформации русла в целом: если в осередковом разветвлении они определяют режим перекатов как макроформ рельефа речного русла, то в островном, будучи связанными с распределением стока по рукавам и специфической структурой потока в узлах их разделения и слияния, — переформирования всего русла [10, 11]. Превращение осередковых разветвлений в русловые (островные) обеспечивает рассредоточение стока по рукавам во все фазы водного режима, изменение транспортирующей способности потока и деформаций русла в целом. Если осередковые разветвления определяют режим перекатов как макроформ рельефа речного русла, то островные, связанные с распределением стока по рукавам и специфической структурой потока в узлах их разделения и слияния, — переформирования всего русла [10, 11]. Происходит это вследствие зарастания обсыхающих в межень наиболее высоких частей осередков, особенно в маловодные годы. Это естественный процесс эволюции осередковых разветвлений и формирования собственно разветвленного по рукава (многорукавного) русла [12, 13]. Во второй половине XX века на многих реках началось массовое закрепление растительностью прирусловых отмелей, совпав по времени с глобальными климатическими изменениями, а на ряде рек — с регулированием стока гидроузлами. На нижней Оби осередковые разветвления в прямолинейном русле ниже устья р. Иртыша (вплоть до разделения реки на Малую и Горную Обь) превратились в протяженный морфологически однородный участок, представленный одиночными разветвлениями русла [14], для которого характерно чередование разветвлений, образованных вновь сформировавшимися островами, с относительно короткими участками прямолинейного, неразветвленного русла. В тех случаях, когда осередки вытянуты вдоль реки цепочкой, их зарастание приводит к образованию сопряженных

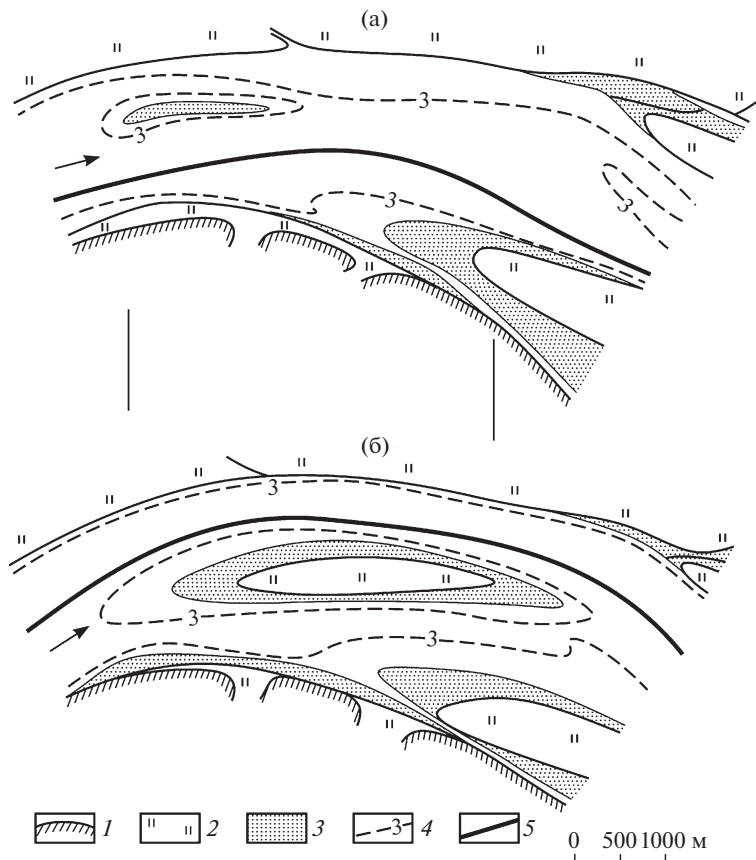


Рис. 1. Превращение осередка в остров и осередкового разветвления в русловое на нижней Оби (Богдашкинское разветвление).

Планы русла: (а) – 1976 г., (б) – 2014 г. 1 – коренной берег; 2 – пойма; 3 – прирусловые отмели (побочни, осередки); 4 – изобаты; 5 – положение главного течения реки (стрельень потока).

разветвлений. На верхней Оби ниже слияния рек Бии и Катунь, ряде участков Сев. Двины [1], Мезени [15], Печоре – больших реках с широким, неустойчивым руслом – зарастание осередков, вытянутых цепочкой вдоль реки и побочней, расположенных в шахматном порядке, но отделенных от берегов побочневыми протоками, привело к формированию параллельно-рукавных разветвлений. Такой процесс наблюдается сейчас и на одном из участков нижней Оби (Низямские разветвления). Здесь (рис. 2) в 1970-е годы существовал только нижний остров (Низямский), к началу XXI века возник верхний (без названия); между этими островами находится пока подводный осередок, но его размеры и высота со временем увеличиваются. Оба острова и осередок разделяют поток на две субпараллельные ветви течения и составляют параллельно-рукавное разветвление.

Таким образом, закрепление растительностью осередков и превращение их в острова приводит к трансформации осередковых разветвлений в русловые (островные), т.е. переходу разветвленности на более высокий структурный уровень [9]. При этом в зависимости от устойчивости русла, размеров реки (ее водности и мощности потока) и

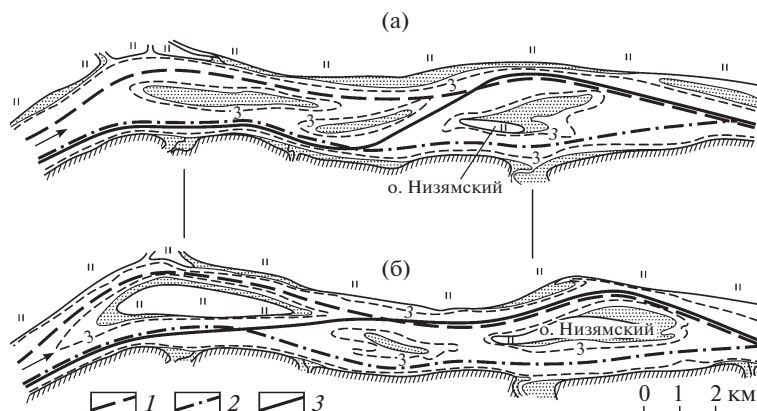


Рис. 2. Формирование параллельно-рукавных разветвлений при зарастании осередков на нижней Оби (Низямские разветвления).

Планы русла: (а) — 1976 г.; (б) — 2014 г. 1, 2 — положения основных направлений течения реки (стрелочной потока); 3 — судовой ход.

величины стока руслообразующих наносов возникают одиночные, сопряженные или параллельно-рукавные разветвления. Для неустойчивого широкого разветвленного русла характерны также чередующиеся односторонние разветвления, если исходные для их формирования осередки располагались в шахматном порядке (последовательно у противоположных берегов реки), представляя собой повышенные части нескольких крупных гряд руслового рельефа.

В любом случае образование островов связано с зарастанием осередков — повышенных, обсыхающих в межень частей крупных форм руслового рельефа — гряд [10, 13, 16], в форме которых осуществляется перемещение влекомых наносов (так называемое, грядовое движение наносов [17, 18]), и их консервацией при закреплении растительностью. Активизация во второй половине XX века этого процесса привела на многих больших реках к трансформации осередковой разветвленности в островную (русловую). Вновь возникшие острова покрыты густыми зарослями ивняка, причем возраст его древовидных форм (по дендрохронологическим определениям на р. Мезени в 2008 г. [10] и по сопоставлению космических снимков 1970-х годов с современными на Оби, Лене, Сев. Двине, Печоре) не превышает 30–50 лет.

Характерно, что на верхней Оби в последние десятилетия произошло на прирусловой правобережной пойме и на островах также массовое естественное закрепление дюн, формировавшихся вследствие развевания (дефляции) обсыхающих в межень отмелей [19]. Закрепление прирусловых отмелей растительностью привело к исчезновению источника эолового материала, и дюны стали зарастать. В глубине поймы вдоль бровок более высоких ее ступеней находится еще две–три полосы древних дюн. Очевидно, за время формирования поймы происходили неоднократная активизация развития на Оби прирусловых отмелей и формирование дюн вдоль их бровок (при последовательном направленном смещении русла в сторону левого коренного берега).

По-видимому, активное массовое современное зарастание осередков и трансформация осередковых разветвлений в островные связаны с происходящими гидроклиматическими изменениями, накладывающимися иногда на медленное врезание рек (ниже гидроузлов это процесс достаточно интенсивный). Этот процесс сопровождается повышением отметок отмелей, аккумуляцией на их поверхности (при меньшей глу-

бине затопления) все более тонких взвешенных наносов и увеличением длительности вегетационного периода [13].

В ряде случаев формирование осередков, последующее зарастание и превращение в острова вызваны появлением мощных источников поступления наносов. На Сев. Двине и Зее таковыми стали сложенные песками соответственно Толоконная и Белая горы [12, 20]. Происходящее при этом нарушение баланса между транспортирующей способностью потоков и количеством поступающих в них наносов А.Б. Клавен [20] предложил называть неравновесными процессами. На Сев. Двине Толоконная гора (песчаная терраса высотой около 50 м) стала размываться в конце XVIII века, когда была смыта отделяющая ее от реки узкая пойма. По мере развития излучины русла интенсивность размыва возрастала, составляя (при длине фронта размыва 4–5 км и глубине плесовой лощины в межень 8–12 м) 7 м/год до 1940 г. и 15–20 м/год в настоящее время. Это привело к поступлению в реку огромного количества (до 5 500 000 м³/год) песка, его аккумуляции и формированию сложно разветвленного (параллельно-рукавного) русла (рис. 3); еще в 1780 г. перед сужением днища долины в 40 км ниже по течению существовало одиночное разветвление [12]. Процесс трансформации и морфологического усложнения существовавших здесь разветвлений в конечном счете распространился вплоть до устья р. Ваги [1]. На р. Зее [20, с. 22] “поступление больших объемов песка в русло реки привело к перегрузке потока наносами, формированию по этой причине большего скопления наносов и, как следствие, к изменению типа руслового процесса от свободного меандрирования к русловой многорукавности”. При этом аккумуляция наносов, также как на Северной Двине, распространяется вниз по течению до устья р. Зеи и даже на р. Амур ниже узла слияния [20, 21].

При оценке причин трансформации разветвлений (как, впрочем, и русел любого другого типа) следует различать изменения вследствие увеличения/уменьшения водности реки и стока наносов — ведущих активных факторов руслового процесса и изменения, происходящие в результате эволюции форм русла (разветвлений) и русловых деформаций, сопровождающихся размывами/намывами берегов, развитием одних и отмиранием других рукавов, спрямлением излучин (при этом происходит постепенное преобразование гидродинамической структуры потока) и, в конечном счете, миграцией (перемещением) русла по днищу речной долины, а при размыве коренных или террасовых берегов — к ее расширению. Из рассмотренных выше к первому относятся массовое зарастание осередков (и вообще прирусловых отмелей) из-за гидроклиматических изменений и избыточное поступление в поток наносов при активизации размывов берегов, ко второму — превращение осередков в острова при неизменности гидроклиматических условий. Но это только одно из многочисленных проявлений трансформации разветвлений вследствие их эволюции и переформирования. Среди других причин наиболее часто встречающихся естественных изменений морфодинамического типа является расположение русла в ходе его миграции возле коренного берега. В этом случае рукава, проходящие вдоль пойменных берегов (за островами), оказываются при затоплении поймы (особенно, если в это время проходит руслоформирующий расход воды [10, 11, 22]) в зоне аккумуляции наносов, тогда как располагающиеся вдоль коренного берега — в условиях дефицита наносов. Это приводит к преобразованию одиночных, а иногда и сопряженных разветвлений в односторонние, в которых острова вытянуты вдоль поймы, отделяясь от них сравнительно мало- (до 15–20%) и мелководными рукавами. Таковы бывшие одиночные Тундийские разветвления на р. Вычегде и сопряженные Киреевско-Астраханцевские разветвления на р. Оби (рис. 4). Если такое происходит в верхнем звене сопряженных разветвлений, оно либо превращается в одностороннее разветвление, как это произошло на Оби в районе с. Уртама, либо, при полном отмирании рукава и причленении острова к пойме, в участок прямолинейного неразветвленного русла возле коренного берега и с односторонней поймой. Иногда такому преобразованию способствует выполнение дноуглубительных работ

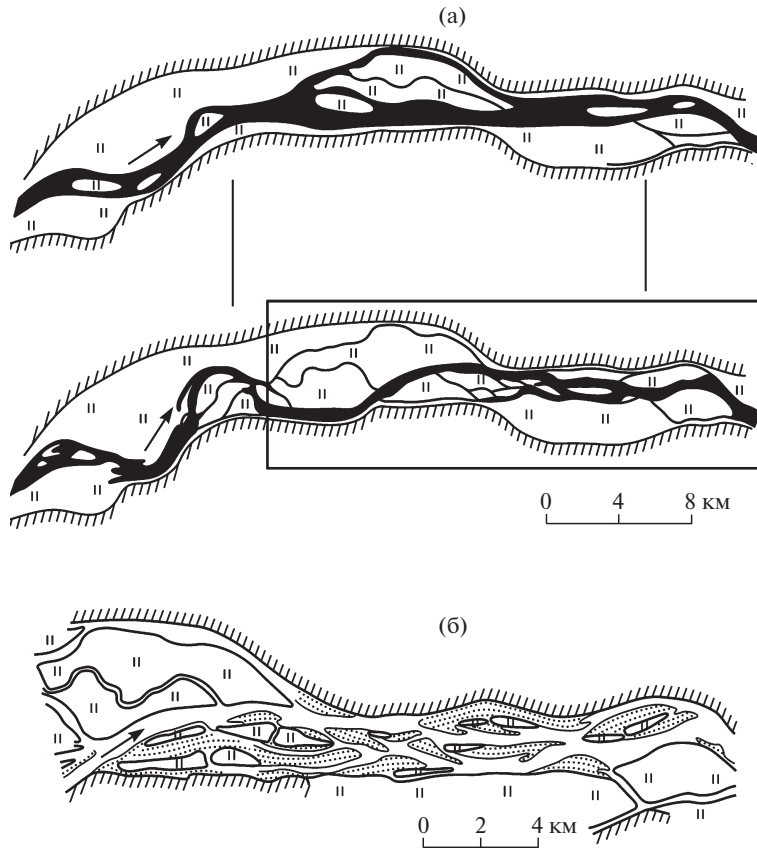


Рис. 3. Формирование параллельно-рукавного разветвления на Сев. Двине ниже Толоконной горы.
Планы русла: (а) – сопоставленные 1780–2000 гг., (б) – 2008 г. в нижней части участка – Паячно-Ягрышское разветвление.

(разработка прорезей) на судоходных реках (применение так называемого правила “ведущего берега”), учитывающих при их планировании общую тенденцию переформирования русла. В результате обеспечивается его стабилизация, снижается вероятность опасных проявлений, связанных с русловыми деформациями.

Разветвленно-извилистое русло, в котором шпоры излучин представлены формирующимися у их выпуклых берегов группами островов, и излучины, осложненные вторичными разветвлениями, трансформируются в одиночные или сопряженные разветвления по мере искривления излучин. Обычно это наблюдается, когда соотношение l/L (l – длина излучины русла, L – ее шаг) достигает критической величины ($l/L > 1.4$), при которой утрачивается гидравлическая выгодность извилистой формы русла [10, 23] и происходит ее спрямление на стадии развитой излучины по протокам между островами у выпуклого берега. Если такие излучины с островами образуют серии смежных в своем развитии форм, то спрямление их в многоводные годы приводит к формированию сопряженных разветвлений. Развитие в них того или иного рукава (последовательно, левого – правого – левого ... или правого – левого – правого ... в каждом звене) во многом зависит от водности лет: в многоводные годы формируются преимущественно более прямые рукава, в маловодные – более искривленные, соот-

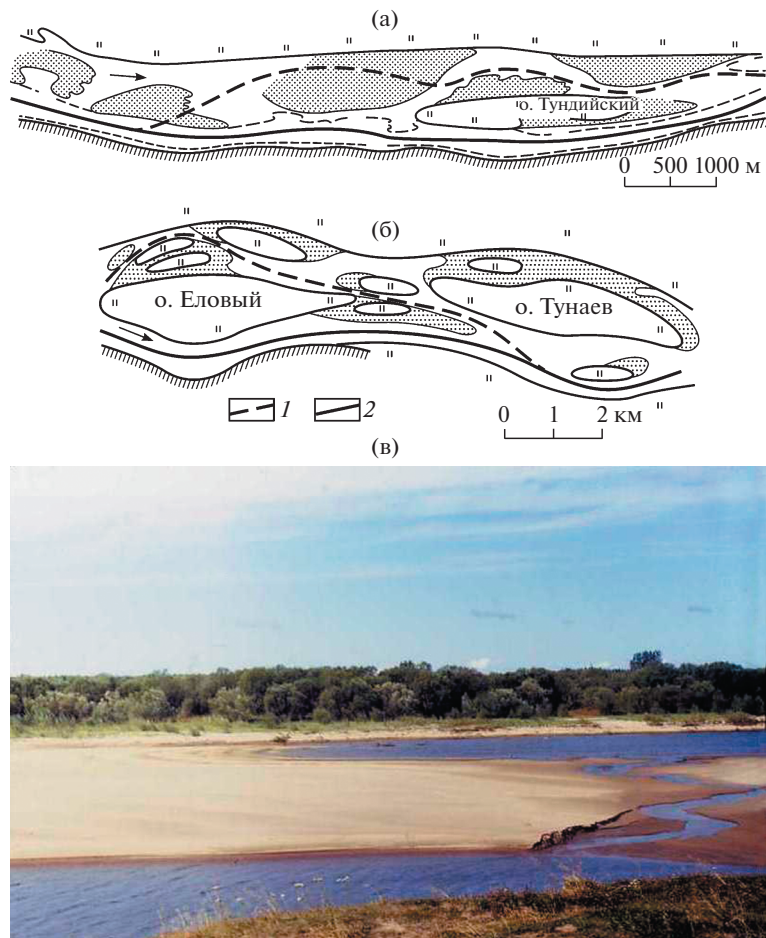


Рис. 4. Трансформация одиночных ((а) – Тундрийские на р. Выгегде) и сопряженных ((б) – р. Обь, Киреевско-Астраханцевские) разветвлений, а также заполненный наносами левый рукав в пойменных берегах бывшего одиночного, теперь одностороннего разветвления р. Выгегды (в).

1 – прежнее разветвление (до трансформации, 1950–1960 гг.), 2 – современное положение главного течения реки.

ветствующие бывшим излучинам. Это определяется зависимостью $r = f(Q)$ – радиусов кривизны потока r от его водности Q .

Такие же преобразования, но более пологих излучин ($l/L < 1.4$), осложненных островами в их шпорах, происходят при увеличении водности рек или в многоводные периоды лет. В последнем случае они носят временный характер, и при наступлении маловодного периода спрямляющие рукава мелеют, зарастают, а острова прилегают к вогнутым берегам. Рост водности, особенно при усилении затопляемости поймы – фактор, способствующий образованию прорванных излучин, образование которых, по существу, представляет собой возникновение разветвлений, в которых продолжают существовать и старое русло, образующее развитую или крутую сегментную излучину, и новое спрямленное русло. Их развитие во второй половине XX века было ха-

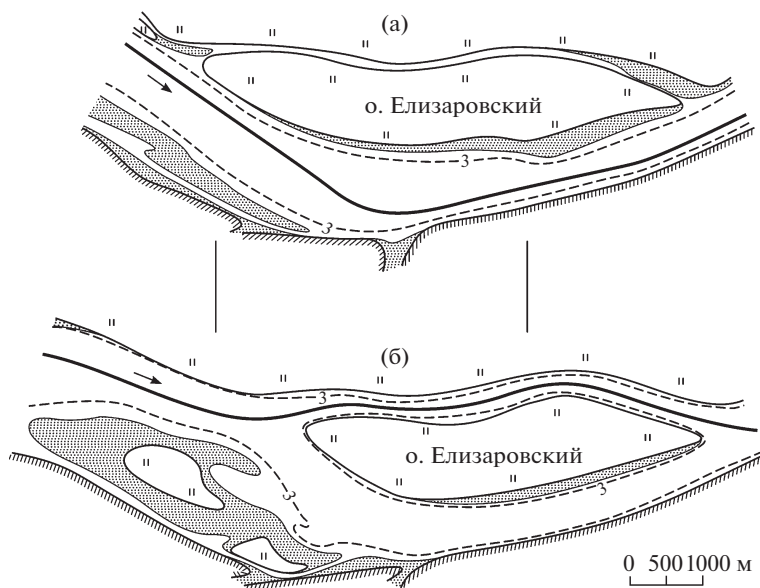


Рис. 5. Трансформация одностороннего разветвления ((а) – 1976 г.) в одиночное ((б) – 2014 г.) на нижней Оби (Елизаровское разветвление). Усл. обозначения см. рис. 1.

рактерно для средней и нижней Оби (на последней для Малой Оби и малой Горной Оби – рукавов раздвоенного русла), а также Вычегды.

Преобразование односторонних разветвлений в одиночные может происходить, если под влиянием переформирований на смежном выше по течению участке происходит искривление основного рукава (рис. 5). К таким же последствиям может привести сход крупного оползня на высоком коренном берегу. Под его воздействием поток отклоняется от ведущего берега, и большая часть расхода воды перемещается в бывший второстепенный рукав в пойменных берегах. Возникающие при этом одиночные разветвления в относительно устойчивом русле и на реке со сравнительно небольшим стоком наносов сохраняются надолго (многие десятилетия и даже столетия), но в слабоустойчивом или неустойчивом русле существуют лишь до тех пор, пока не будет размывто тело оползня, перегородившего часть русла. Подобные явления периодически происходят на верхней Оби (выше и ниже г. Барнаула), где временная трансформация односторонних разветвлений из-за оползней охватывает периоды от 10 до 30 лет.

Превращение пойменных протоков или второстепенных рукавов в основных рукавах нередко имеет место на реках с ледовыми заторами. Обходя их, поток устремляется в эти протоки или второстепенные рукава, углубляет, увеличивает их пропускную способность, в результате чего усложняется структура разветвленного русла. Таково образование в 1959 г. Хайтылаахского рукава на р. Лене (ниже г. Якутска), превратившего двухрукавное разветвление русла в трехрукавное с приблизительно равномерным распределением расхода воды между рукавами (25–40%) [24]. Лишь по прошествии более 50 лет этот рукав, благодаря побочно, перекрывшему заход в него, существенно сократил свою водность и вновь стал “возвращаться” в категорию второстепенных прибрежных разветвлений.

Определенное своеобразие в трансформацию разветвлений вносит присутствие многолетнемерзлых грунтов в руслах больших рек с руслообразующими наносами

песчаного состава. Таково, например, русло средней и нижней Лены в пределах Центрально-Якутской низменности [25, 26]. Прирусловые отмели и отмельные части русла, промерзающие зимой до дна (при толщине льда 1.5–2 м), оказываются сцементированными мерзлотой, т.к. в летний период глубина протаивания не превышает 0.6–1 м. Во время половодья поток непосредственно контактирует с мерзлым грунтом; соответственно промерзшие отмели (побочни, осередки) оказываются относительно стабильными, и поток размывает только те протоки между ними, глубина которых больше толщины льда и в которых сохраняется талик. На р. Лене в Якутском водном узле еще к середине XX века произошло перемещение главного течения реки из левого рукава — Городской протоки в правый Бестяхский рукав, отличающийся очень широким неустойчивым руслом, с обилием побочной и осередков. При этом левый рукав превратился в пойменную маловодную протоку (ее относительная водность — не более 8%). В правом Бестяхском рукаве на протяжении более столетия русло сохранялось прямолинейным неразветвленным (если не считать двух небольших островов 2–3-го порядков), которое по режиму деформаций можно было классифицировать как блуждающее (рис. 6, а) [27, 28]. Лишь к началу XXI века в нем окончательно оформилась достаточно четко выраженная двухстречневая система течения, составившая вместе с нижерасположенным о. Пономаревым параллельно-рукавное разветвление (рис. 6, б). В Бестяхском рукаве между обеими ветвями течения находятся большие, частично зарастающие и превращающиеся в острова осередки и два упомянутых выше острова. Столь длительный этап формирования русла этого типа связан именно с широким распространением в русле мерзлых грунтов, обуславливающих при сезонных и многолетних колебаниях водности постоянное изменение положений стречневой зоны потока [29, 30]. Лишь в конце XX—начале XXI века гидроклиматические изменения, сказавшиеся одновременно в увеличении стока воды в реке на 11.3% [31], теплового стока [32], повышении средней температуры вечной мерзлоты и мощности деятельного слоя, активизации термоэрозионного воздействия потока на пойменные берега, острова и отмели [33–35], привели к оттаиванию мерзлоты в русле, отторжению побочной от берегов и образованию двухстречневой системы в едином русле; мерзлота при этом сохранилась в ядрах осередков и островов между обеими ветвями течения.

Подобная трансформация сопряженных разветвлений русла в параллельно-рукавные произошла на большей части широкопойменного слабоустойчивого или неустойчивого русла средней Лены (от г. Покровска до устья р. Алдана). Лишь на коротких участках относительно устойчивого русла сохранились чередующиеся односторонние разветвления или происходит периодическое преобразование одного типа русла в другой: сопряженные разветвления в годы с повышенной водностью превращаются в параллельно-рукавные, в годы с пониженной водностью восстанавливались сопряженные разветвления [36].

Таким образом, столь масштабная трансформация разветвленного русла крупнейшей реки могла произойти только при достаточно мощных гидроклиматических изменениях. Но уже на нижней Лене (ниже устья Вилюя, где водность реки возросла почти вдвое) эти же изменения практически не сказались на состоянии русла: параллельно-рукавное русло характеризуется здесь наиболее сложной разветвленностью, выделяясь среди всех рек Мира количеством островов, рукавов и протоков.

Формирование параллельно-рукавных разветвлений и последовательное распространение этого типа русла вниз по течению отмечены на верхней Оби ниже слияния Бии и Катунь. Процесс их образования начался в 40-е годы XX века непосредственно ниже узла слияния, где к этому времени завершилось формирование современной многорукавной “дельты” Катунь, выдвинутой в акваторию вдвое большего по ширине русла Оби. К 1980-м годам он охватил участок реки длиной более 50 км, а к 2010-м годам — почти 80 км, заменив собой существовавшие здесь сопряженные и од-

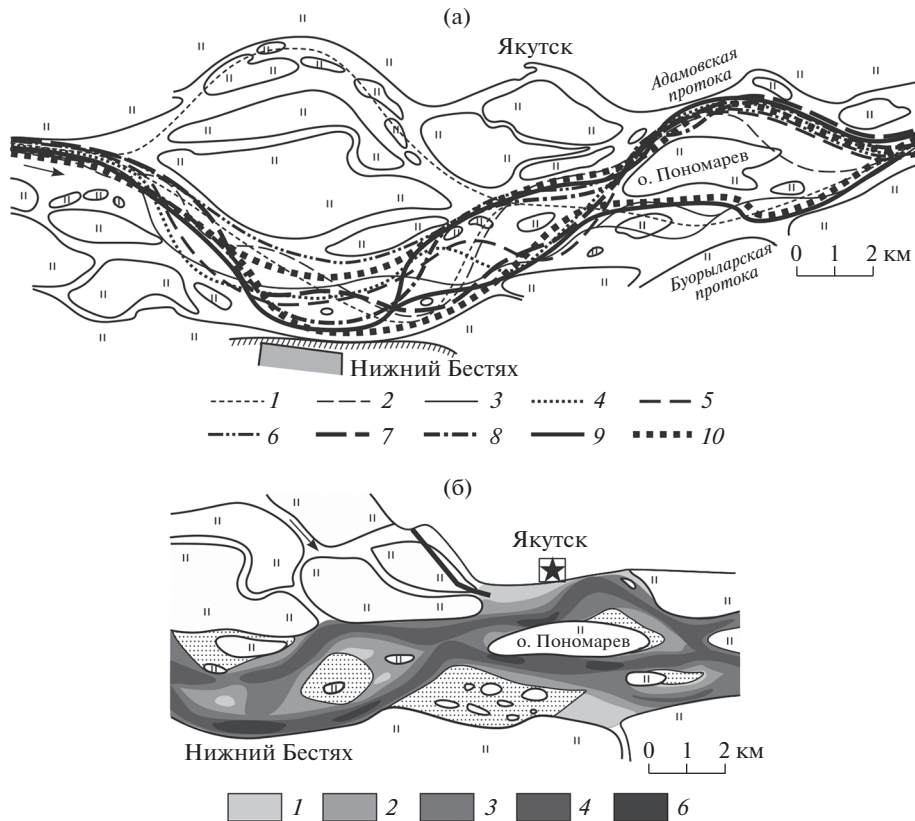


Рис. 6. Формирование параллельно-рукавного разветвления на р. Лене в районе г. Якутска.

(а) – основные характерные положения стречневой зоны потока (по ее оси) в XX – начале XXI века (1 – 1920 г., 2 – 1947 г., 3 – 1958 г., 4 – 1963 г., 5 – 1972 г., 6 – 1982 г., 7 – 1989 г., 8 – 2002 г., 9 – 2010 г., 10 – 2015 г.).

(б) – скоростное поле потока в Бестяхском рукаве и в разветвлении о-ва Пономарев.

Скорости течения: 1 – 0.1–0.4; 2 – 0.4–0.7; 3 – 0.7–1.0; 4 – 1.0–1.3; 5 – 1.3–1.6 м/с (по Р.С. Чалову, А.С. Завадскому и др. [30]).

носторонние чередующиеся разветвления [37, 38]. Очевидно, наносы Катунь, которые раньше шли на образование “дельтового” разветвления в узле слияния рек, теперь выносятся в Обь, обуславливая трансформацию на ней русловых разветвлений. Выше слияния с р. Чарыш р. Обь меандрировала; в начале XX века излучины были спрямлены и в новом русле сначала возникли сопряженные разветвления, образованные крупными островами, сменившиеся затем односторонними разветвлениями. Эти изменения в морфологии разветвленного русла связаны уже с наблюдающимся в течение всего столетия увеличением водного стока реки, проявляющемся отчетливо при анализе разностно-интегральной кривой (графика нарастания суммы отклонений ежегодных значений стока от среднего) [39].

Трансформация одиночных, односторонних и сопряженных разветвлений в более морфологически сложные, в том числе параллельно-рукавные, и увеличение степени разветвленности русла установлены также на реках Печоре [40], Сев. Двине [1] и других.

Своеобразное усложнение русловых разветвлений происходит при размыве участков поймы между основным руслом реки и пойменными протоками, а иногда и ее

притоками, протекающими по пойме параллельно главной реке. Таково происхождение протоки Симан на верхней Оби, которая (до регулирования стока Новосибирским гидроузлом) забирала до 30% расхода воды, имея протяженность 42.5 км и представляя собой аналог раздвоенного русла. Еще в первой половине XIX века в тыловой части поймы р. Оби протекала небольшая речка Уень, берущая начало на Приобском плато. Размыв пойменного перешейка между Обью и Уенью привел к прорыву обских вод в Уень, углублению и расширению ее русла, которое превратилось в протоку Симан [39]. Аналогично образовалось Нарымское пойменно-русловое разветвление в нижнем течении р. Кети: при ее впадении в Обь правый рукав этого разветвления еще в XIX веке представлял собой русло притока, устье которого находилось соответственно ниже по течению.

На нижней Оби в раздвоенном русле подобные переформирования произошли на трех участках левого рукава — Малой Оби, характеризующегося крутыми излучинами, осложненными разветвлениями в их шпорах. Интенсивные размывы вогнутых берегов привели к размыву пойменных перешейков между Малой Обью и пойменными протоками, в нижние части которых переместился значительный объем (до 30–40%) расхода воды. В результате сформировались Нарыкарское и Лапорское пойменно-русловые разветвления (рис. 7).

Наиболее существенные по масштабам и скоростям трансформации разветвленных русел происходят при антропогенных воздействиях на них или на факторы русловых процессов. При их многочисленности и разнообразии основными служат регулирование стока гидроузлами, дноуглубительные и выправительные работы на судоходных реках и разработка русловых карьеров стройматериалов (ПГС). Следствием врезания рек в нижних бьефах гидроузлов являются отмирание рукавов и превращение русла в относительно прямолинейное неразветвленное или в полого извилистое. Острова в этих случаях причлениаются к берегам или образуют шпоры вновь формирующихся излучин. В то же время продукты размыва ниже по течению создают “волну” аккумуляции наносов, в которой разветвленность русла возрастает, но параметры новых разветвлений оказываются меньше, чем в естественных условиях (следствие регулирования стока и снижения величины руслоформирующего расхода).

Мероприятия, связанные с созданием современных водных путей на реках (дноуглубление — разработка капитальных прорезей и строительство выправительных сооружений), сопровождаются увеличением устойчивости русла и укреплением судоходной трассы в оптимальных, с точки зрения поддержания глубин и минимизации ее возможных изменений, рукавах. В результате при сохранении разветвлений, в которых происходили периодическое углубление или обмеление рукавов, повышенная водность и пропускная способность постоянно обеспечиваются в одном из рукавов каждого одиночного разветвления или звеньях сопряженных разветвлений, что при наличии ведущего коренного берега приводит к трансформации разветвлений. Так, на р. Вычегде одиночные разветвления после разработки капитальных прорезей в рукавах вдоль ведущего берега превратились в односторонние; на Сев. Двине Телеговские сопряженные разветвления благодаря выправительным работам трансформировались сначала в сменяющие по длине друг друга односторонние и одиночное, а затем на всем протяжении участка — в односторонние.

На верхней Оби параллельно-рукавное разветвление после разработки серии прорезей и возведения продольных направляющих дамб на участке длиной около 30 км расчленилось на несколько частей со своим типом русла: одиночное — одностороннее — параллельно-рукавное (но с шириной пояса разветвления более чем в 2 раза меньшей) — одностороннее. Этот участок до выполнения работ был самым затруднительным для судоходства. Его выправление привело к тому, что он был выведен из числа лимитирующих. Однако наносы, проходящие через него транзитом, аккумуляровались ниже по течению и привели к активизации деформаций сложно разветвленного

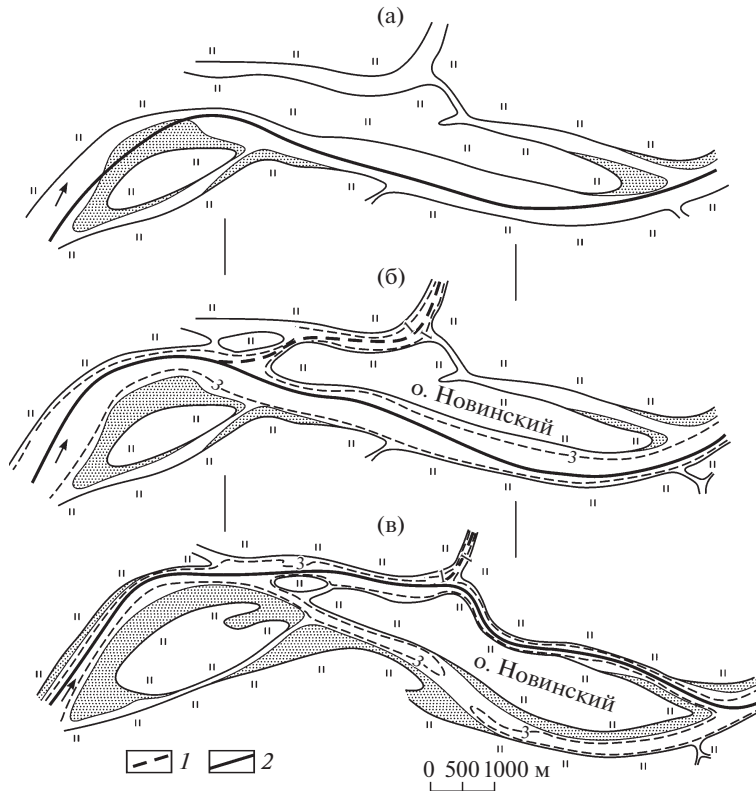


Рис. 7. Формирование Лапурского пойменно-руслового разветвления на Малой Оби.
(а) — реконструкция русла по рельефу поймы; (б) — русло в 1976 г.; (в) — русло в 2015 г.
1 — направление течения в развивающемся рукаве; 2 — положение главного течения реки.

русла, в том числе вследствие образования новых островов (разветвлений 2–3-го порядков).

Подобные антропогенно-обусловленные трансформации многочисленны, имеются практически на всех больших многорукавных судоходных реках. Они достаточно хорошо освещены в литературе, составляя целое направление в изучении русловых процессов [41, 42]. Поэтому здесь можно ограничиться лишь приведением перечисленных.

Карьеры ПГС в разветвленных руслах обычно размещаются в несудоходных, как правило, характеризующихся меньшей водностью, рукавах. Их разработка приводит к искусственному углублению рукавов, обеспечивает сохранение или увеличение их водности даже при врезании реки в нижнем бьефе гидроузла или выполнении капитальных выправительных работ. Так, на р. Оби в черте г. Новосибирска сохранились сопряженные разветвления, образованные островами Отдых и Кораблик, хотя все остальные уже давно перестали существовать. В Почтовском разветвлении в 100 км ниже г. Новосибирска разработка карьеров в правом рукаве может привести к ликвидации результатов успешного выправления русла в 1970-е годы, приведшее здесь к существенному улучшению условий судоходства [37–39].

Среди других видов антропогенных воздействий на реки, приводящих к трансформации разветвлений, выделяется возведение мостовых переходов через них. Оказывая

подпорное воздействие на поток, мост вызывает образование острова выше по течению, а продукты местного размыва возле него, аккумулируясь ниже по течению, также способствуют формированию здесь разветвлений потока. Подходные дамбы к мостовому переходу иногда перекрывают даже крупные рукава, искусственно ликвидируя русловые (островные) разветвления. Так, был перекрыт правый рукав за о-вом Помазкин на р. Оби при сооружении автомобильного моста у г. Барнаула.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постоянно происходящие русловые деформации, особенно на реках с неустойчивым или слабоустойчивым руслом, сопровождаются изменениями в морфологическом облике русел, вплоть до смены их морфодинамического типа. В ходе русловых деформаций изменяются параметры разветвлений, создающих их островов и рукавов, на что накладываются изменения факторов русловых процессов (водности, стока наносов, растительности) вследствие изменений природной среды и климата, антропогенных воздействий на русла, их водного режима и стока наносов. Выделяются следующие основные пути трансформации разветвлений:

1. Активное зарастание прирусловых отмелей и осередков, начавшееся во второй половине XX века. Осередки благодаря этому превращаются в острова, вследствие чего изменяются структурные уровни разветвлений — осередковой становится островным. На Сев. Двине, Мезени, нижней Оби с этими связано превращение участков прямолинейного неразветвленного русла в одиночные русловые разветвления, в которых элементарные острова увеличиваются в размерах за счет образования возле них зарастающих и превращающихся в пойму побочной и кос. На Оби, Лене, Печоре с этим связано общее увеличение степени разветвленности русла.

2. На Лене и Печоре, благодаря увеличению стока рек, произошла трансформация сопряженных разветвлений в параллельно-рукавные, охватив на средней и нижней Лене почти все широкопойменное русло от г. Покровска до с. Жиганска. На верхней Оби (от слияния Бии и Катунь почти до устья р. Чарыш) наносы, поступающие из Катунь, сформировав разветвление в узле слияния, вызвали формирование параллельно-рукавных разветвлений, постепенно распространяющихся вниз по течению.

3. В нижних бьефах гидроузлов (Обь ниже Новосибирской ГЭС) происходит обмеление рукавов с меньшей водностью и превращение разветвлений русла в неразветвленное прямолинейное или извилистое русло (на месте бывших сопряженных разветвлений). Ниже зоны врезания, где происходит аккумуляция наносов, наоборот, разветвленность русла возрастает, в том числе благодаря снижению затопляемости осередков как следствие регулирования стока.

4. Разветвленно-извилистые русла и излуины, осложненные островами в привершинных частях или на крыльях, в процессе искривления излучин из-за развития второстепенных рукавов трансформируются в сопряженные разветвления.

5. При поступлении избыточного количества наносов, благодаря начавшемуся интенсивному размыву высоких песчаных террас (Толоконная гора на Сев. Двине, Белая гора на Зее) и их аккумуляции, происходит либо усложнение разветвленности русла, либо образование новых разветвлений.

6. При активном техногенном воздействии на разветвленные русла (карьерные разработки, дноуглубительные и выправительные работы) происходит упрощение разветвлений, сужение активной части русла, расчленение протяженных морфологически однородных участков на два-три коротких.

7. Если на фоне общего повышения водности реки сохраняется периодичность многоводных и маловодных лет, то это сопровождается периодической сменой типа разветвлений. На средней Лене Омулаганское разветвление представляет собой фрагмент то сопряженных, то параллельно-рукавных разветвлений.

8. При размыве берегов на реках с развитой пойменной многорукавностью возможно уничтожение “перешейка” между основным руслом и пойменной протокой, вследствие чего последнее превращается в элемент пойменно-русового разветвления (нижняя Обь). То же происходит, если в тыловой части поймы на значительном протяжении проходит русло притока (на средней Оби так образовалась протока Симан и рукав на месте низовьев р. Кети). В зонах регулярных заторов поток обходит ледовую плотину и разрабатывает пойменную протоку; на средней Лене такова Хайтыалахская протока, в течение почти 50 лет бывшая судоходной.

В любом случае и вне зависимости от причин трансформации разветвленных русел при водохозяйственном, транспортном и других видах освоения речных ресурсов необходимы их знание, понимание и прогнозирование для обеспечения надежности инженерных сооружений и мероприятий, предотвращения опасности возникновения на них аварийных обстановок, обеспечения гидроэкологической безопасности.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выполнено по планам НИР (ГЗ) кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова (исходные материалы и натурные исследования) при финансовой поддержке РНФ (проект 17-18-00086 — анализ перестроенных разветвлений и трансформаций их форм при эволюции и изменении природных и антропогенных факторов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чалов Р.С. Временная трансформация морфодинамических типов русел больших равнинных рек // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2018. № 3. С. 3–13.
2. Серебряков А.В. Русовые процессы на судоходных реках с зарегулированным стоком. М.: Транспорт, 1970. 128 с.
3. Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ. М.: Наука, 1972. 240 с.
4. Каргаполова И.Н. Деформации русла реки Москвы XVIII–XX веков // Эрозионные, русловые процессы и проблемы геоэкологии. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2004. С. 95–101.
5. Львовская Е.А. Ретроспективный анализ, современное состояние и оценка возможных изменений русловых процессов на больших реках севера ЕТР. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 2016. 30 с.
6. Назаров Н.Н., Рысин И.П., Петухова Л.Н. Об опыте исследований русловых процессов в бассейне Камы // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 5. М.: МАКС Пресс, 2010. С. 362–379.
7. Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Количественные реконструкции в палеорусловедении: методы и результаты // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 21. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2019. С. 256–285.
8. Чалов Р.С. О морфологическом разнообразии и типизации русел рек, разветвленных на рукава // Геоморфология. 2019. № 3. С. 3–18.
9. Чалов Р.С., Чалов С.Р. Структурные уровни формирования и типизация разветвленных русел рек // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 4. С. 8–15.
10. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
11. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Руловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
12. Руловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М.: Журнал “РТ”, 2012. 492 с.
13. Чалов Р.С., Сурков В.В., Жмыхова Т.В. Прирусовые отмели как формы руслового рельефа, промежуточные между меженным руслом и поймой реки // Геоморфология. 2016. № 1. С. 18–29.
14. Беркович К.М., Гаррисон Л.М., Рулева С.Н., Чалов Р.С. Морфология русла и русловые деформации верхней Оби // Земельные и водные ресурсы. Противоэрозионная защита и регулирование русел. М.: Изд-во МГУ, 1990. С. 95–120.
15. Чалов Р.С., Завадский А.С., Рулева С.Н., Чалов С.Р. Морфология, перестроенного русла и перекатов р. Мезени (нижнее течение) // Географический вестник. 2010. № 3. С. 6–14.
16. Knighton D. Fluvial forts and processes: a new perspective. London: Arnd. 1998. 398 p.

17. Знаменская Н.С. Грядовое движение наносов. Л.: Гидрометеиздат. 1968. 188 с.
18. Сидорчук А.Ю. Структура рельефа речного русла. СПб.: Гидрометеиздат. 1992. 128 с.
19. Маккавеев Н.И., Сахарова Е.И., Чалов Р.С. Эоловые процессы в долине верхней Оби // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1966. № 2. С. 49–53.
20. Клаев А.Б., Виноградов В.А., Костюченко А.А. Неравновесные процессы в формировании речных русел // Маккавеевские чтения – 2004. М.: Изд-во МГУ, 2005. С. 8–25.
21. Борщенко Е.В., Завадский А.С., Иванов В.В., Косицкий А.Г., Махинов А.Н., Пахомова О.М., Чалов Р.С., Чалов С.Р., Чернов А.В. Условия формирования русел рек бассейна Амура и их морфодинамические типы // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 17. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2010. С. 129–150.
22. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
23. Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излуины. М.: Изд-во МГУ, 2004. 371 с.
24. Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.
25. Беркович К.М., Борсук О.А., Гаррисон Л.М., Кирик О.М., Лодина Р.В., Рулева С.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Русловый режим и регулирование русла средней и нижней Лены // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 8. М.: Изд-во МГУ, 1981. С. 125–156.
26. Тананаев Н.И. Гидрометеорологические условия формирования мерзлых грунтов в русле средней Лены // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2005. № 6. С. 60–64.
27. Цянь Нин, Чжан Жэнь, Чжоу Цзидэ. Русловые процессы. Пекин: Наука, 1987. 584 с. (на кит. языке).
28. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
29. Чалов Р.С., Завадский А.С., Ботавин Д.В., Головлев П.П., Морозова Е.А., Сурков В.В. Покровско-Якутский водный узел на р. Лене: современные деформации и управление русловыми процессами // Изв. РАН. Сер. геогр. 2019. № 6. С. 83–96.
30. Чалов Р.С., Завадский А.С., Головлев П.П., Фингерт Е.А., Ботавин Д.В., Морозова Е.А., Прокöpfe В.П., Рулева С.Н., Сурков В.В. Русловые процессы, их моделирование и управление на урбанизированном участке крупнейшей реки (Покровско-Якутский водный узел на р. Лене) // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 21. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2019. С. 208–256.
31. Магрицкий Д.В. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты Нижней Лены и Вилюя // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 6. С. 85–95.
32. Готье Э., Фёдоров А., Костер Ф., Брюнстайн Д. Влияние изменений климата на динамику крупной реки российской арктической зоны // Изменение климата: Европа, Северная Америка. 4-е Европейские диалоги в Эвисане. Eurasia: Copy-Melia, С. 73–82.
33. Yang D., Kane D., Hinzman L., Zhang T., Ye H. Siberian Lena river hydrologic and recent change // J. of Geophys. Res. 2002. Vol. 107 (D 23). P. 4694–4703.
34. Gautier T., Brunstein D., Cotard F., and Lodina R. Fluvial dynamics in a deep permafrost zone – the case nye middle Lena river (Central Siberia) // Proceeding of the 8th International Conference on Permafrost, Zurich, Switzerland, 2003. P. 271–275.
35. Cotard L., Dupeyrat L., Gaulier E., Careg-Gailhardis E. Fluvial thermal erosion investigation altng a rapily eroding river bank application to the Lena river (Central Siberia) // Earith Surface and Landforms. 2003. V. 28. P. 1349–1359.
36. Чалов Р.С., Кирик О.М. Ленские “разбои”: ретроспективный анализ переформирований, прогнозные оценки и регулирование русла // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 19. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2005. С. 294–318.
37. Русловые процессы на реках Алтайского региона. М.: Изд-во МГУ, 1996. 244 с.
38. Чалов Р.С., Рулева С.Н., Камышев А.А., Беркович К.М., Завадский А.С., Михайлова Н.М. Верхняя и Средняя Обь: русловые процессы и оценка условий управления ими // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 20. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2018. С. 149–195.
39. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
40. Чалов Р.С., Львовская Е.А., Рулева С.Н., Завадский А.С. Морфодинамика русла р. Печоры (от города Печоры до устья) на фоне характеристики русла по всей длине // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 19. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2005. С. 211–236.
41. Беркович К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001. 164 с.
42. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т.3. Антропогенные воздействия, опасные проявления и управления русловыми процессами. М.: КРАСАНД, 2019. 640 с.

Transformation of braided channels: factors, conditions, reasons**R. S. Chalov^{a, #}**^a*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*[#]*E-mail: rschalov@mail.ru*

Global environmental and climate changes, continued anthropogenic impacts on environment, affect the runoff of rivers, their water regime and sediment load – the main factors of river channel processes. As a result, river channels transform in response to changes. The most sensitive to driving factors are alluvial and braided rivers. The changes include the complication of braided patterns, the replacement of one morphodynamic type by others; the increase in number of islands in channels due to the overgrowth of mid-bars; the dispersion of water flow and, as a result, the decrease in sediment transport capacity of rivers. Braided patterns start to form on bends, the processes of meanders straightening are activated, cut-off bends are formed. Transformation of braided channel is the result of their natural evolution and development under stable conditions due to the self-development of braided channels themselves, as well as the direct human impacts on river channels and channel processes. The paper presents the argument for both, natural environmental and climate changes, as well as anthropogenic impacts on the braided channels transformation and formation of new braided patterns. They are followed by an increase in manifestations of dangerous channel processes and affect the utilization of river resources. They must be taken into account when developing water management projects, use of rivers as waterways, constructing communications, etc.

Keywords: channel processes, braided channels, islands, mid-bars, transformation, evolution, channel development, hydroclimatic changes, human impacts

ACKNOWLEDGEMENTS

The study is done under state research plans of department of hydrology and Makkaveev soil erosion and fluvial processes laboratory of Lomonosov MSU (data and field works), and additionally supported by RSF project 17-18-00086 – analytical study of braided channels.

REFERENCE

1. Chalov R.S. *Vremennaya transformatsiya morfodinamicheskikh tipov rusel bol'shikh ravninnykh rek* (Temporary Transformation of Morphodynamic Types of Channels of Large Plain Rivers). *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2018. No. 3. S. 3–13. (in Russ.)
2. Serebryakov A.V. *Ruslovyie protsessy na sudokhodnykh rekakh s zaregulirovannym stokom* (Fluvial Processes on Navigable Rivers with Regulated Flow). M.: Transport (Publ.), 1970. 128 s.
3. *Inzhenerno-geograficheskie problemy proektirovaniya i ekspluatatsii krupnykh ravninnykh vodokhranilishch* (Engineering and Geographical Problems of Projecting and Exploitation of Large Plain Reservoirs). M.: Nauka (Publ.), 1972. 240 s.
4. Kargapolova I.N. *Deformatsii rusla reki Moskvy XVIII–XX vekov* (Deformations of the Moscow Riverbed in the 18th–20th Centuries). *Erozionnyie, ruslovyie protsessy i problemy geoekologii*. M.: Geogr. f-t MGU (Publ.), 2004. S. 95–101.
5. L'vovskaya E.A. *Retrospektivnyi analiz, sovremennoe sostoyanie i otsenka vozmozhnykh izmenenii ruslovykh protsessov na bol'shikh rekakh severa ETR* (Retrospective Analysis, Current Status and Assessment of Possible Changes in Fluvial Processes on Large Rivers in the North of ETR). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 2016. 30 s.
6. Nazarov N.N., Rysin I.P., and Petukhova L.N. *Ob opyte issledovaniia ruslovykh protsessov v basseine Kamy* (On the Experience of Research on Fluvial Processes in the Kama Basin). *Erozionnyie i ruslovyie protsessy*. Vol. 5. M.: MAKSS Press (Publ.), 2010. S. 362–379. (in Russ.)
7. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. *Kolichestvennyie rekonstruktsii v paleoruslovedenii: metody i rezul'taty* (Quantitative Reconstructions in Paleo River Morphology: Methods and Results). *Eroziya pochv i ruslovyie protsessy*. Vol. 21. M.: Geogr. f-t MGU (Publ.), 2019. S. 256–285. (in Russ.)
8. Chalov R.S. *O morfologicheskom raznoobrazii i tipizatsii rusel rek, razvetvlennykh na rukava* (On Morphological Diversity and Classification of River Channels Branched out into Sleeves). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2019. No. 3. S. 3–18. (in Russ.)

9. Chalov R.S. and Chalov S.R. *Strukturnye urovni formirovaniya i tipizatsiya razvetylennykh rusel rek* (Structural Levels of Formation and Classification of Branched River Channels). *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2011. No. 4. S. 8–15. (in Russ.)
10. Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine*. (A Streambed and Erosion in its Basin). M.: Izd-vo AN SSSR (Publ.), 1955. 347 s.
11. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika*. T. 1. *Ruslovy protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* (Riverbed Processes: Theory, Geography, Practice). M.: Izd-vo LKI (Publ.), 2008. 608 s.
12. *Ruslovy protsessy i vodnye puti na rekakh basseina Severnoi Dviny* (Fluvial Processes and Waterways in the Rivers of the Northern Dvina Basin). M.: Zhurnal "RT" (Publ.), 2012. 492 s.
13. Chalov R.S., Surkov V.V., and Zhmykhova T.V. *Prirusslovye otmeli kak formy ruslovogo rel'efa, promezhotochnye mezhdru mezhennym ruslom i poimoi reki* (Point-Bars as Channel Relief Forms, Intermediate Between the Low-water Channel and the River Floodplain). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2016. No. 1. S. 18–29. (in Russ.)
14. Berkovich K.M., Garrison L.M., Ruleva S.N., and Chalov R.S. *Morfologiya rusla i ruslovye deformatsii verkhnei Obi* (Channel Morphology and Channel Changes of the Upper Ob). *Zemel'nye i vodnyye resursy. Protivoerozionnaya zashchita i regulirovanie rusel*. M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1990. S. 95–120.
15. Chalov R.S., Zavadskii A.S., Ruleva S.N., and Chalov S.R. *Morfologiya, pereformirovaniya rusla i perekatov r. Mezeni (nizhnee techenie)* (Morphology, Reshaping of the Riverbed and the Riffles of the Mezen River (Lower Course)). *Geograficheskii vestnik*. 2010. No. 3. S. 6–14. (in Russ.)
16. Knighton D. *Fluvial forts and processes: a new perspective*. London: Arnd (Publ.), 1998. 398 p.
17. Znamenskaya N.S. *Gryadovoe dvizhenie nanosov*. (Ridge Motion of Sediments). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1968. 188 s.
18. Sidorchuk A.Y. *Struktura rel'efa rechnogo rusla*. (A Streambed Relief Structure). SPb.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1992. 128 s.
19. Makkaveev N.I., Sakharova E.I., and Chalov R.S. *Eolovye protsessy v doline verkhnei Obi*. (Aeolian Processes in the Upper Ob Valley). *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 1966. No. 2. S. 49–53. (in Russ.)
20. Klaven A.B., Vinogradov V.A., and Kostyunchenko A.A. *Neravnovesnye protsessy v formirovanii rechnykh rusel*. (Unbalanced Processes in River Channel Formation). Makkaveevskie chteniya – 2004. M.: Izd-vo MGU (Publ.), 2005. S. 8–25.
21. Borshchenko E.V., Zavadskii A.S., Ivanov V.V., Kositskii A.G., Makhinov A.N., Pakhomova O.M., Chalov R.S., Chalov S.R., and Chernov A.V. *Usloviya formirovaniya rusel rek basseina Amura i ikh morfodinamicheskie tipy* (Conditions of River Channel Formation in the Amur Basin and Their Morphodynamic Types). *Eroziya pochv i ruslovy protsessy*. Vol. 17. M.: Geogr. f-t MGU (Publ.), 2010. S. 129–150. (in Russ.)
22. Chalov R.S. *Geograficheskoe issledovaniya ruslovykh protsessov*. (Geographic Research of Fluvial Processes). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1979. 232 s.
23. Chalov R.S., Zavadskii A.S., and Panin A.V. *Rechnye izluchiny* (River Bends). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 2004. 371 s.
24. *Vodnye puti basseina Leny* (Waterways of the Lena River Basin). M.: MIKIS (Publ.), 1995. 600 s.
25. Berkovich K.M., Borsuk O.A., Garrison L.M., Kirik O.M., Lodina R.V., Ruleva S.N., Chalov R.S., and Chernov A.V. *Ruslovoi rezhim i regulirovanie rusla srednei i nizhnei Leny* (Channel Mode and Regulation of the Middle and Lower Lena River Streambed). *Eroziya pochv i ruslovy protsessy*. Vol. 8. M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1981. S. 125–156. (in Russ.)
26. Tananaev N.I. *Gidrometeorologicheskie usloviya formirovaniya merzlykh gruntov v rusle srednei Leny* (Hydrometeorological Conditions of Frozen Ground Formation in the Middle Lena Channel). *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2005. No. 6. S. 60–64. (in Russ.)
27. Tsyun Nin, Chzhan Zhen, and Chzhou Tszide. *Ruslovy protsessy*. (Fluvial Processes). Pekin: Nauka (Publ.), 1987. 584 s. (in Chinese)
28. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika*. (River Morphology: Theory, Geography, Practice). T. 2. *Morfodinamika rechnykh rusel*. M.: KRASAND (Publ.), 2011. 960 s.
29. Chalov R.S., Zavadskii A.S., Botavin D.V., Golovlev P.P., Morozova E.A., and Surkov V.V. *Pokrovsko-Yakutskii vodnyi uzel na r. Lene: sovremennye deformatsii i upravlenie ruslovymi protsessami* (Pokrovsk-Yakutsk Water Junction on the Lena River: Modern Deformations and Fluvial Processes Management). *Izv. RAN. Ser. geogr. (Regional Research of Russia)*. 2019. No. 6. S. 83–96. (in Russ.)
30. Chalov R.S., Zavadskii A.S., Golovlev P.P., Fingert E.A., Botavin D.V., Morozova E.A., Prokop'ev V.P., Ruleva S.N., and Surkov V.V. *Ruslovy protsessy, ikh modelirovanie i upravlenie na urbanizirovannom uchastke krupneishei reki (Pokrovsko-Yakutskii vodnyi uzel na r. Lene)* (Fluvial Processes, Their Modelling and Management in the Urbanized Section of the Largest River (Pokrovsk-Yakutsk Water Junction on the Lena River). *Eroziya pochv i ruslovy protsessy*. Vol. 21. M.: Geogr. f-t MGU (Publ.), 2019. S. 208–256. (in Russ.)
31. Magritskii D.V. *Faktory i zakonomernosti mnogoletnikh izmenenii stoka vody, vyzhennykh nanosov i teploty Nizhnei Leny i Vilyuya* (Factors and Regularities of Long-term Changes in Water Flow, Sus-

- pended Load and Heat of Lower Lena and Vilyui). *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2015. No. 6. S. 85–95. (in Russ.)
32. Got'ye E., Fedorov A., Koster F., and Bryunstain D. *Vliyanie izmenenii klimata na dinamiku krupnoi reki rossiiskoi arkticheskoi zony* (Impact of Climate Change on the Dynamics of a Large River in the Russian Arctic Zone). *Izmenenie klimata: Evropa, Severnaya Amerika*. 4-eEvropeiskie dialogi v Evisane. Eurasia: Copy-Melia (Publ.), S. 73–82.
33. Yang D., Kane D., Hinzman L., Zhang T., and Ye H. Siberian Lena River Hydrologic and Recent Change. *J. of Geophys. Res.* 2002. Vol. 107 (D 23). P. 4694–4703.
34. Gautier T., Brunstein D., Cotard F., and Lodina R. Fluvial Dynamics in a Deep Permafrost Zone – the Case Near Middle Lena River (Central Siberia). *Proceeding of the 8th International Conference on Permafrost*, Zurich, Switerland, 2003. P. 271–275.
35. Cotard L., Dupeyrat L., Gaulier E., and Careg-Gailhardis E. Fluvial Thermal Erosion Investigation along a Rapiily Eroding River Bank Application to the Lena River (Central Siberia). *Earith Surface and Landforms*. 2003. Vol. 28. P. 1349–1359.
36. Chalov R.S. and Kirik O.M. *Lenskie “razboi”: retrospektivnyi analiz pereformirovanii, prognozyne otsenki i regulirovanie rusla* (Lena “Breakdowns”: Retrospective Analysis of Reformations, Forecast and Channel Regulation). *Eroziya pochv i ruslovyie protsessy*. Vol. 19. M.: Geogr. f-t MGU (Publ.), 2005. S. 294–318. (in Russ.)
37. *Ruslovyie protsessy na rekakh Altaiskogo regiona* (Fluvial Processes on the Rivers of the Altai Region). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1996. 244 s.
38. Chalov R.S., Ruleva S.N., Kamyshhev A.A., Berkovich K.M., Zavadskii A.S., and Mikhailova N.M. *Verkhnyaya i Srednyaya Ob': ruslovyie protsessy i otsenka uslovii upravleniya imi. Eroziya pochv i ruslovyie protsessy* (Upper and Middle Ob: Fluvial Processes and Management Condition Assessment) Vol. 20. M.: Geogr. f-t MGU (Publ.), 2018. S. 149–195. (in Russ.)
39. *Ruslovyie protsessy i vodnye puti na rekakh Obskogo basseina* (Fluvial Processes and Waterways in the Rivers of the Ob Basin). Novosibirsk: RIPEL plyus (Publ.), 2001. 300 s.
40. Chalov R.S., L'vovskaya E.A., Ruleva S.N., and Zavadskii A.S. *Morfodinamika rusla r. Pechory (ot goroda Pechory do ust'ya) na fone kharakteristiki rusla po vsei dline* (Morphodynamics of the Pechora Streambed (from the Pechora Town to the Estuary) in Comparison with the Full-length Streambed characteristics). *Eroziya pochv i ruslovyie protsessy*. Vol. 19. M.: Geogr. f-t MGU (Publ.), 2005. S. 211–236. (in Russ.)
41. Berkovich K.M. *Geograficheskii analiz antropogennykh izmenenii ruslovykh protsessov* (Geographical Analysis of Anthropogenic Changes in Fluvial Processes). M.: GEOS (Publ.), 2001. 164 s.
42. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika* (River Morphology: Theory, Geography, Practice). T.3. *Antropogennye vozdeistviya, opasnye proyavleniya i upravleniya ruslovymi protsessami*. M.: KRASAND (Publ.), 2019. 640 s.