

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 556.5:551.4.04

Р.С. Чалов¹**ВРЕМЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МОРФОДИНАМИЧЕСКИХ ТИПОВ РУСЕЛ БОЛЬШИХ РАВНИННЫХ РЕК**

На основе ретроспективного анализа переформирования широкопойменных русел больших равнинных рек России рассмотрены основные направления трансформации их морфодинамических типов за историческое время (то есть за период, охваченный наблюдениями на гидрологических постах и составлением карт русел, зафиксировавших их состояние на разные временные срезы). Эти преобразования увязываются с естественными изменениями водности рек (ее возрастанием), увеличением стока наносов, чередованием в многолетнем плане многоводных и маловодных периодов, зарастанием прирусловых отмелей, активизирующимся с последней четверти XX в., и антропогенными воздействиями на факторы русловых процессов (при создании водохранилищ) и сами русла (при выполнении дноуглубительных и выправительных работ на судоходных реках), в наибольшей и все возрастающей степени проявляющимися с 1960-х гг. Показано, что чем больше река (ее водность, ширина и соотношение ширины и глубины русла), тем незначительнее реакция русловых процессов на эти изменения и воздействия: они не устанавливаются в нижнем течении таких рек, как Лена, Енисей, Обь. Определены на большом фактическом материале основные схемы трансформаций меандрирующих (извилистых), разветвленных и относительно прямолинейных русел.

Ключевые слова: русловые процессы, морфодинамические типы русел, излучины, прирусловые отмели, водность рек, сток наносов.

Введение. При изучении руслового режима рек обычно фиксируется современное состояние русел и дается оценка их переформирования в рамках существующего морфодинамического типа, хотя и с учетом саморазвития русловых форм, их эволюции, приводящих к изменению параметров излучин (степени развитости, радиусов кривизны, шагов, ширины русла на перегибах между ними) или разветвлений [Водные ..., 1995; Русловые ..., 1996, 2001, 2012; Назаров, Егоркина, 2004; Рысин, Петухова, 2006]. В таком же ключе рассматриваются древние излучины, точнее их морфологические следы в рельефе пойм, но в палеогидрологическом аспекте на протяжении верхнего плейстоцена–голоцена. Гидролого-морфологические зависимости позволяют связать различия параметров современных и древних излучин, восстановленных по рельефу пойм, с изменениями водности рек [Сидорчук с соавт., 2000]. Реже в литературе встречаются упоминания, что рельеф пойм не соответствует морфодинамическому типу русла современной реки. Так, на средней Лене, реке со сложно разветвленным руслом, обнаружены элементы сегментно-гривистой поймы, обязанной своим происхождением меандрированию реки [Чернов, 1975]; на верхней Оби, пойма которой сформировалась в процессе меандрирования реки, современное русло – разветвленное или относительно прямолинейное, неразветвленное [Чалов, 1966; Беркович с соавт., 1990]; на нижней Выгегде современное русло раз-

ветвленно-извилистое, формирующее сегментно-островную пойму, тогда как большая часть поймы – сегментно-гривистая [Чалов, 1974].

В приведенных примерах смена одного типа русла другим или изменение параметров и формы русловых образований в течение всего времени формирования поймы увязывается с крупными гидроклиматическими событиями в голоцене и даже в верхнем плейстоцене. Подобные трансформации русел, но в меньших масштабах и за короткие временные интервалы, чаще в рамках одного и того же основного морфодинамического типа, то есть на уровне его разновидностей, происходят за время, охваченное гидрологическими наблюдениями и составлением карт и планов русел, фиксирующих их состояние на определенные временные срезы. Это время в русловедении принято называть историческим [Чалов, 2008]. На это же время приходится все возрастающее антропогенное воздействие на сами русла и факторы русловых процессов. Создание водохранилищ или их каскадов, выправительные и дноуглубительные работы на судоходных реках, массовая разработка аллювиальных строительных материалов, возведение водозаборов, мостовых и подводных переходов коммуникаций, других гидротехнических сооружений, а также сведение лесов и распашка земель на водосборах создают предпосылки для изменений руслового режима рек, их морфологии и динамики. Однако внимание исследова-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор; научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Макавеева, гл. науч. с., докт. геогр. н., профессор; e-mail: rschalov@mail.ru

телей в основном акцентируется на направленных вертикальных деформациях (врезание/аккумуляция наносов), происходящих вследствие воздействий [Серебряков, 1970; Транспортное ..., 1972; Беркович, 2001, 2012], причем дается обстоятельный анализ глубинной эрозии и «посадки» уровней в нижних бьефах гидроузлов и лишь попутно говорится о наблюдаемых одновременно преобразованиях морфологии русел и их горизонтальных деформаций. Трансформации русел рек вследствие периодических и направленных естественных изменений водности остаются, как правило, вне сферы внимания, или только констатируется сам их факт без оценки причин. Лишь в последнее время появились работы, в которых по существу впервые на основе большого фактического материала рассматривается реакция русел на изменения природной среды и климата (водности рек и стока наносов) с учетом антропогенных воздействий [Каргаполова, 2006; Львовская, 2016].

Постановка проблемы. Смена морфодинамического типа русла или его трансформация на уровне разновидностей как следствие саморазвития (эволюции) русловых форм, естественных и антропогенно обусловленных изменений факторов русловых процессов (стока воды и наносов) или непосредственных техногенных воздействий на русла определяет необходимость разработки и применения иных методов и приемов (или их корректировки) управления русловыми процессами при решении задач, связанных с водохозяйственным и воднотранспортным освоением рек и водных ресурсов, строительством инженерных сооружений на берегах, прокладкой через реки коммуникаций и пр. Задачей настоящей статьи является определение основных путей естественных и антропогенных преобразований морфодинамических типов русел или их разновидностей за историческое время и их причин, оценка соотношений периодических трансформаций, связанных с циклическими колебаниями факторов, и направленными их изменениями с учетом эволюции русловых форм и характером антропогенных (техногенных) воздействий на русла и факторы русловых процессов.

Материалы и методы исследований. В основу статьи положены результаты многолетних исследований руслового режима средних и крупных рек России и сопредельных стран, в ряде случаев с неоднократной повторностью, включающие анализ сопоставленных карт (в прошлом лоцманских) русел разных лет издания, начиная со второй половины XVIII в. для одних и до 1920-х гг. для других рек (в зависимости от времени их освоения), космических снимков и планов перекатов, позволившие дать ретроспективную характеристику переформирования русла. Использование гидрологической информации и данных об антропогенной нагрузке на реки и ее формах дали возможность установить связи переформирования русел с колебаниями водности рек, направленными ее изменениями и антропогенными воздействиями.

Основными объектами исследований были реки или протяженные участки рек со слабоустойчивыми руслами, формирующимися в условиях свобод-

ного развития русловых деформаций, неограниченных геолого-геоморфологическим строением долин и, соответственно, чутко реагирующим на колебания или изменения водности, стока наносов и антропогенные воздействия: Северная Двина, Вычегда, Лена в среднем и нижнем течении, Вилюй, верхняя и средняя Обь, низовья Катунь, нижняя Печора, Енисей ниже Майнского и Красноярского гидроузлов, Мезень (нижнее течение); были использованы также материалы по китайским рекам Хуанхэ и Янцзы, Висле (Польша), Днестру (Молдавия), Неману (Белоруссия, Литва), Амударье (Узбекистан).

Результаты исследований и их обсуждение.

Методологической основой для выявления причин трансформации морфодинамических типов русла являются зависимости параметров форм русла π (степени развитости, радиусов кривизны r и шагов L излучин; степени многорукавности, размеров островов, радиусов кривизны излучин рукавов у разветвленных русел) от водности рек (среднегодового $Q_{\text{ср}}$, средне максимального $Q_{\text{ср.макс}}$, руслоформирующего $Q_{\text{ф}}$ расходов воды) $\pi = f(Q)$, устойчивости русел, оцениваемой числом Лохтина (L) или коэффициентом стабильности русла Н.И. Маккавеева (K_c), $\pi = f(L)$, $\pi = f(K_c)$ и показателя распластанности (квазиоднородности) потока И.Ф. Карасева

[1975] $\Theta = \frac{b_p}{h} \sqrt{\lambda}$ (b_p – ширина, h – глубина русла,

$\lambda = \frac{g}{C^2}$ – коэффициент гидравлических сопротивле-

ний, $C = \frac{1}{n} h^{\frac{1}{6}}$ – коэффициент Шези, n – шероховатость русла). При малых значениях Θ в потоке четко выражена динамическая ось, при увеличении Θ существует широкая стрежневая зона потока, при больших значениях Θ поток распадается на несколько стрежневых зон, между которыми находятся области замедления течения. В свою очередь b_p и h зависят от Q , причем b_p растет с увеличением водности быстрее и намного больше, чем h , вследствие чего зависимость $\frac{h}{b_p} = f(N)$ (здесь N – порядок

водотока) экспоненциальная [Ржаницын, 1985]. На это накладывается влияние устойчивости русла: при прочих равных условиях b_p в устойчивом русле меньше, h больше по сравнению со слабоустойчивым и неустойчивым. Например, на верхней Оби рост L вниз по течению приводит к уменьшению b_p в несколько раз, несмотря на увеличение водности реки из-за впадения притоков (рис. 1).

В нижних бьефах гидроузлов регулирование стока приводит к уменьшению величин $Q_{\text{ср.макс}}$ и $Q_{\text{ф}}$ и соответственно к изменениям соотношений $\pi = f(Q)$. Перехват водохранилищем стока наносов создает новые условия формирования русла, сопровождаемые интенсивной глубинной эрозией, увеличением устойчивости русла, активизацией размывов берегов, увеличением ширины и глубины русла (полноты его поперечного сечения) [Транспортное ..., 1972; Беркович, 2012] и уменьшением значений показате-

ля И.Ф. Карасева Θ . К такому же или близкому эффекту (изменению морфометрических характеристик, увеличению устойчивости и уменьшению показателя Θ) приводят дноуглубительные работы на судоходных реках и сплошные карьерные разработки в руслах рек. Выправительные сооружения, перекрывая частично или полностью рукава, стесняя русло и вызывая рост его глубины, изменяют гидравлическую структуру потока.

Естественные трансформации русел, приводящие к смене морфодинамического типа русла или его разновидностей за историческое время без антропогенного вмешательства, обусловленные изменениями водности рек, не так многочисленны. Это связано с относительно невысокими значениями этих изменений за сравнительно короткие сроки, охваченные наблюдениями, и фиксацией состояния русел, а также консервативностью русел по отношению к изменениям активного фактора – стока воды: нужно большее или меньшее время, необходимое для релаксации русел, то есть их приспособления к новым условиям. Оно зависит от устойчивости, морфодинамического типа русла, размеров (водоносности реки). Оно сокращается на участках рек с неустойчивым руслом, многократно возрастает на реках с устойчивым руслом и практически не сказывается во врезанных руслах с галечно-валунным составом руслообразующих наносов. На крупнейших реках даже с неустойчивым руслом изменение водности не приводит к заметным изменениям в их морфодинамике из-за относительной незначительности этих изменений и максимально возможной сложности морфологии русел.

В этом отношении показательно широкопойменное русло средней и нижней Лены [Чалов с соавт., 2016]. В конце XX – начале XXI вв. сток воды на нижней Лене увеличился на 39 км³ (из них 43% приходится на с. Табага выше г. Якутска, то есть на среднюю Лену, остальное – на притоки, начиная от устья р. Алдана), что составляет 6,8% от среднегодовой величины [Магрицкий, 2015]. Это привело к неодинаковой реакции русловых процессов на разных участках реки в пределах Центрально-Якутской низменности. От г. Покровска до п. Жатая (рис. 2, А) в XIX – начале XX вв. русло было представлено сопряженными разветвлениями, образованными пятью группами островов, возле которых преимущественное развитие получили последовательно правый – левый – правый – левый (Городская протока у г. Якутска) – правый (о-в Пономарев) рукава. К 1930–40-м гг. произошло перераспределение стока и изменение значимости рукавов в каждом звене сопряженной системы (левый – правый – левый – правый – левый), произошло обмеление и превращение в пойменные ответвления во всех звеньях, кроме нижнего (у о. Пономарева), бывших в XIX в. основными рукавов и сосредоточение потока (более 90% общего расхода воды) во вновь развившихся рукавах (соответственно перемещалась

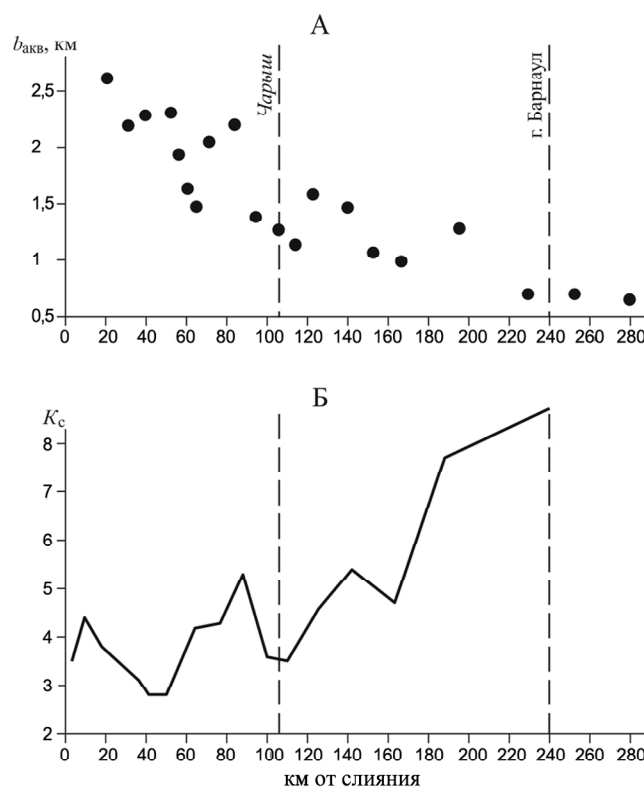


Рис. 1. Изменение ширины b_p (А) и устойчивости русла K_c (Б) на верхней Оби от слияния Бии и Катунь до г. Барнаула по длине реки

Fig. 1. Changes of channel width b_p (A) and stability K_c (B) in the Upper Ob' River from the confluence of the Biya and Katun' rivers to Barnaul

трасса судового хода). При этом в правых рукавах второго («разбой»² Рассолода) и четвертого (Якутский «разбой») звеньев, отличающихся неустойчивым руслом ($K_c=2,8-4,5$, $L<9,5$ – по классификации для крупнейших рек [Чалов, 2008], Θ – самый большой, >40), образовалось по две ветви течения – вдоль правого (в Якутском «разбое» – коренного) берега и вдоль островов, примыкающих к левобережной пойме и раньше составлявших основу звеньев бывших сопряженных разветвлений. Между обоими ветвями течения сформировались небольшие острова и крупные осередки. В Якутском «разбое» правая ветвь течения стала направляться в правый рукав у о. Пономарева – Буорыларскую протоку, левая – в левый рукав – Адамовскую протоку, вместе с которыми эти ветви составили параллельно-рукавное разветвление (рис. 2, Б). Такое же параллельно-рукавное разветвление возникло и в правом рукаве бывшего сопряженного разветвления в «разбое» Рассолода.

Между г. Покровском и «разбоем» Рассолода бывшее здесь звено сопряженных разветвлений перестало существовать, а острова второго порядка на заходе в левый рукав теперь образовали сложное одиночное разветвление. Третье звено бывших сопряженных разветвлений (между Табагинским утесом и Якутским «разбоем») превратились в уча-

² Разбой – местное название сложноразветвленных участков русла на р. Лене.

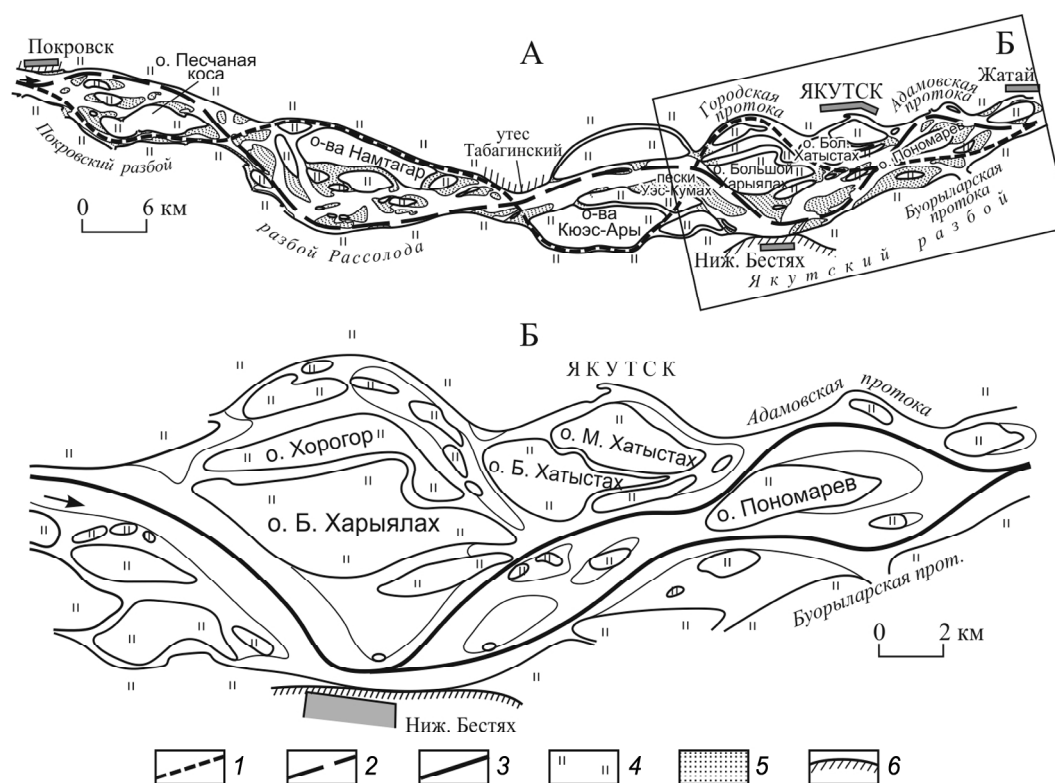


Рис. 2. Переформирования сопряженных разветвлений р. Лены на участке г. Покровск – п. Жатай в XIX – начале XX вв. (А) и образование параллельно-рукавного разветвления в Якутском «разбое» (Б). Оси основных рукавов и ветвей потока: 1 – XIX – начало XX вв.; 2 – середина XX в.; 3 – конец XX – начало XXI вв.; 4 – пойма; 5 – прирусловые отмели; 6 – коренные берега

Fig. 2. Braided channels of the Lena River on the reach from Pokrovsk to Zhataj in the 19th – beginning of the 21st century (A) and formation of a parallel branch channel reach near Yakutsk (B). Flow axis of main channel branches: 1 – the 19th – beginning of the 20th century; 2 – the middle of the 20th century; 3 – the end of the 20th century – the beginning of the 21st century; 4 – flood-plain; 5 – meander bars; 6 – valley sides

сток прямолинейного неразветвленного русла, соответствующего при Q_{ϕ} кривой спада уровней и размыву русла ниже сужения поймы в створе Табагинского утеса (максимальный подъем уровней воды на г. п. Табага почти на 2 м больше, чем на г. п. Якутск).

Ниже по течению русло относительно устойчивое и трансформация его морфодинамического типа не происходит; наблюдаются только присущие односторонним чередующимся разветвлениям переформирования (правда, еще в XVIII–XIX вв. здесь, по видимому, судя по рельефу и растительности островов, были сопряженные разветвления, но смена типа русла произошла до появления первой карты русла).

Трансформация сопряженных разветвлений в параллельно-рукавное в конце XX в. произошла также на приалданском участке длиной около 50 км. Ниже устья р. Алдана, увеличивающего водный сток Лены почти на 30%, русло изначально параллельно-рукавное, очень сложно разветвленное, суммарной шириной (вместе с островами) от 10 до 28 км, неустойчивое и, соответственно, постоянно интенсивно переформировывающееся. В этих условиях выявить возможные трансформации русла практически невозможно, причем не только обусловленные изменениями водности реки, но и техногенными воздействиями – эпизодическими дноуглубительными работами на отдельных перекатах (ширина прорезей – 100 м, длина – максимум 2–3 км).

Таким образом, повышение водности средней Лены сопровождалось трансформацией сопряженных разветвлений в параллельно-рукавное на участках неустойчивого русла и вне зон влияния других факторов (например, распространения кривой спада уровней ниже местного сужения дна долины, где, наоборот, произошло образование одиночного разветвления или формирование прямолинейного неразветвленного русла). Оно не сказалось на морфологии относительно устойчивого русла нижней Лены и ее части, характеризующейся неустойчивым, но морфологически самым сложным руслом с параллельно-рукавными разветвлениями.

Аналогичные трансформации русла (сопряженные разветвления → параллельно-рукавное разветвление) произошли во 2-й половине XX в. на р. Печоре в нижнем течении (рис. 3, А), где они соответствуют слабому повышению водности реки [Водные ..., 2008].

Формирование параллельно-рукавных разветвлений, заменивших прямолинейное неразветвленное русло и включивших в себя одиночные разветвления, произошло в XX в. на Северной Двине, в бассейне которой отмечалось только чередование многоводных и маловодных периодов, охватывающих иногда первые десятки лет, но направленные изменения водности не проявлялись [Водные ..., 2008]. Здесь эти трансформации произошли в связи с воз-

никновением местного мощного источника поступления наносов из-за начавшегося размыва уступа 30–40-метровой песчаной террасы – Толоконной горы, которая раньше была отделена от русла узкой поймой. Пойма была размыва по мере развития излучины, и поток стал контактировать непосредственно с уступом террасы. Скорость его отступления составила от 2 до 5,4 м в многоводные годы и от 8 до 14 м в маловодные, возрастая с увеличением степени развитости и крутизны излучины. При длине фронта размыва около 3 км и глубине плесовой ложины 8–10 м в русло ежегодно (причем в основном во время половодья) поступает до 1 млн м³ песка.

Аккумуляция избыточного количества поступающих в поток наносов явилась причиной появления уже к середине XX в. цепочки островов протяженностью около 25 км, образовавших Паечно-Ягрышское параллельно-рукавное разветвление. В конце XVIII в. русло здесь было прямолинейным неразветвленным и лишь в нижней части участка представляло собой сопряженные разветвления из двух звеньев, занимавших не более четверти длины участка и располагавшихся перед сужением днища долины, где русло становится врезанным.

Влияние этого дополнительного источника наносов прослеживается на протяжении более 200 км до устья Ваги: помимо Паечно-Ягрышского образовались к 70–80-м гг. XX в. Слудско-Липовецкое (рис. 3, Б) и Концгорское параллельно-рукавные разветвления (вместо ранее существовавших одиночного разветвления и прямолинейного неразветвленного русла с массивными побочными в первом случае и сопряженных разветвлений из двух звеньев во втором). При слиянии с р. Вагой это привело к трансформации дельтового разветвления. Если в конце XIX в. оно представляло собой «дельту выдвигания» Ваги, то уже в середине XX в. вследствие избыточного поступления сюда наносов Северной Двины и их аккумуляции в зоне подпора от притока здесь образовался крупный остров на месте обширных прирусловых отмелей – аналог «дельты выполнения» с некоторым смещением ниже стрелки в узле слияния (рис. 4). На р. Зее [Клавен с соавт., 2005] избыточное поступление наносов при размыве песчаной Белой горы привело к смене свободно меандрирующего русла разветвленным; на малой реке Поломети (Валдайская возвышенность) аккумуляция поступившего при размыве коренных берегов материала сопровождалась повышением уровней, усилением затоплений поймы во время половодья и, как следствие, массовым спрямлением излучин и их

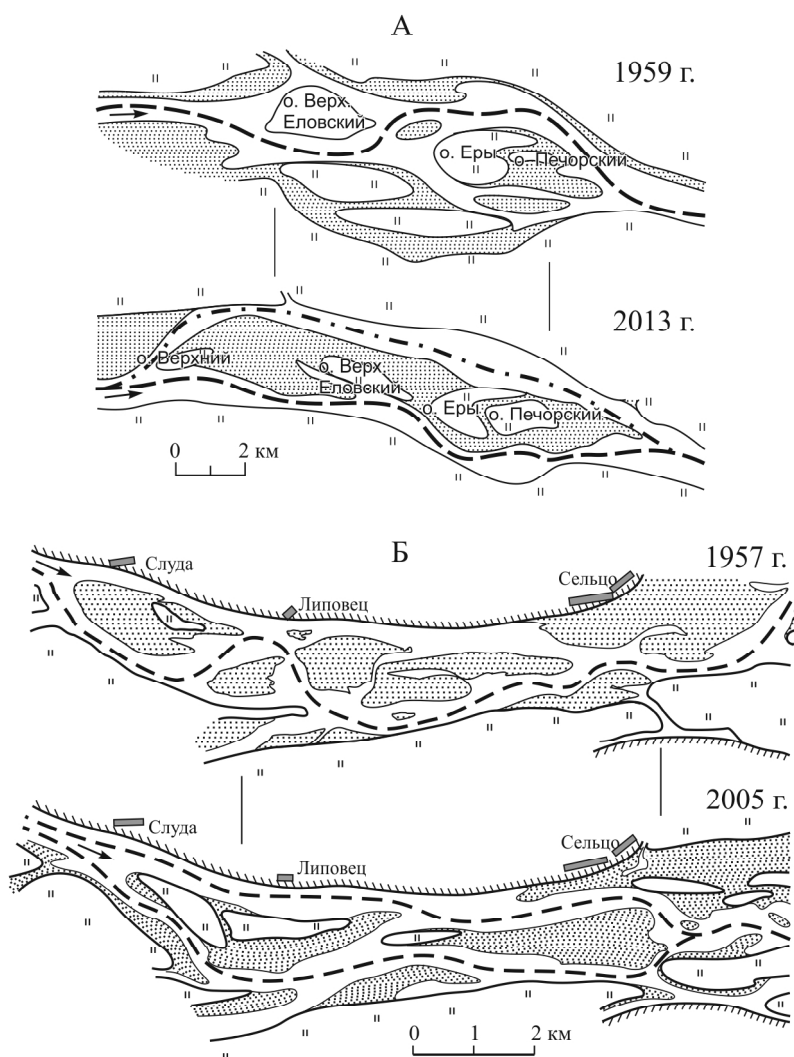


Рис. 3. Преобразование сопряженных разветвлений русла в нижнем течении р. Печоры (А) и одиночного разветвления и неразветвленного прямолинейного русла при зарастании прирусловых отмелей (осередков) на Северной Двине (Б) в параллельно-рукавное

Fig. 3. Transformation of conjugated braided channel reaches of the Lower Pechora River (A) and a single braided reach and straight channel reach into parallel branch braided channel under overgrowth of channel bars of the Severnaya Dvina River (B)

серий, то есть трансформацией крутых, часто петлеобразных излучин в относительно прямолинейное или полого-извилистое русло.

Трансформации русла способствовало наметившееся в XX в. и особенно активизировавшееся в его конце зарастание прирусловых отмелей как на Северной Двине (рис. 4, планы русла 1881 и 2005 гг.), так и на Вычегде, Мезени, Печоре, реках Сибири. На р. Мезени за 1938–2009 гг. 50–60% площади обсыхающих в межень отмелей превратилось в пойменные острова, причем возраст наиболее старых древовидных кустарников по данным дендрохронологических определений составил 30–40 лет [Чалов с соавт., 2010]. На Северной Двине (рис. 3, Б) прямолинейное неразветвленное русло с развитыми осередками превратилось в параллельно-рукавное разветвление. Причины зарастания отмелей разнообразны, хотя в основе лежит увеличение длитель-

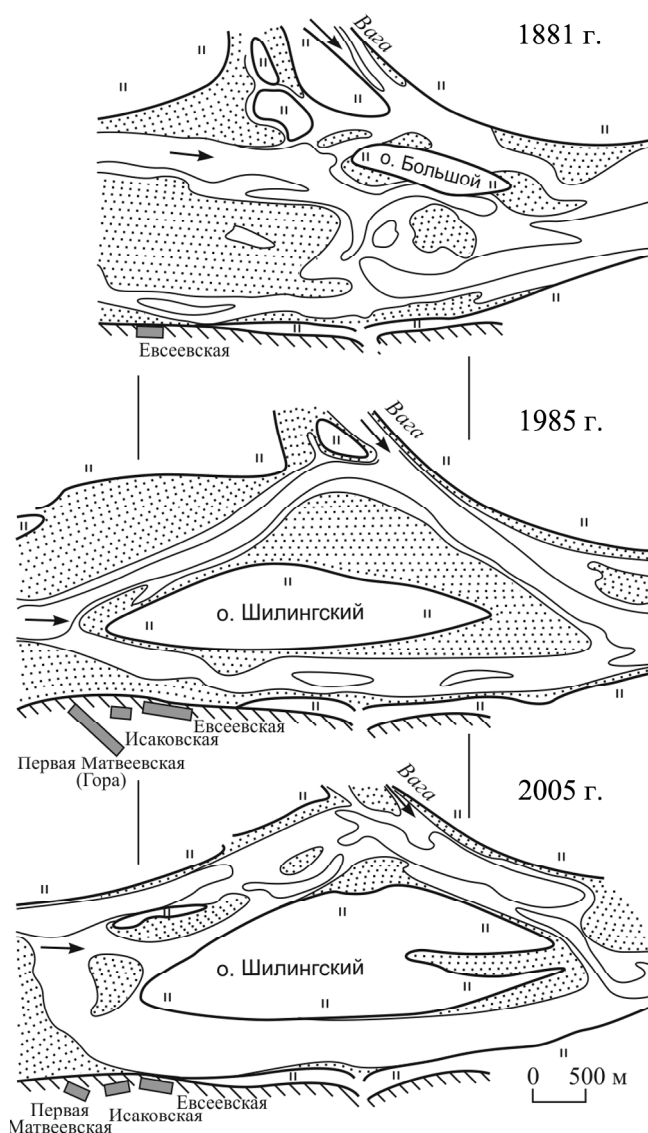


Рис. 4. Трансформация разветвления в узле слияния Северной Двины и Ваги

Fig. 4. Transformation of a braided channel reach at the confluence of the Severnaya Dvina and Vaga rivers

ности их обсыхания в межень [Чалов с соавт., 2016]. На верхней Оби, Лене, Вычегде оно связывается с естественным медленным врезанием реки и соответствующим снижением уровня воды. На Северной Двине, аккумулирующей наносы, В.В. Сурков [Русловые ..., 2012] связал зарастание отмелей с уменьшением стока в 1960–80-е гг. [Алабян с соавт., 2003]; последующий многоводный период, когда затопляемость отмелей возросла, наличие растительности на них способствовало накоплению наилка, росту отмелей в высоту, дальнейшему развитию почвенно-растительного покрова и превращению отмелей в молодую пойму.

Зарастание отмелей приводит к сужению зоны активного перемещения руслообразующих наносов во время половодья и, следовательно, к активизации русловых деформаций. На реках с разветвленным руслом из-за этого усиливается рассредоточе-

ние потока по рукавам, на меандрирующих происходит рост удельного (отнесенного к ширине русла в пойменных бровках) расхода воды и, соответственно, изменение параметров излучин, поскольку $\pi = f(Q)$.

Для рек с извилистым (меандрирующим) руслом повышение водности сопровождается увеличением длительности и глубины затопления пойм и, как следствие, повышение вероятности спрямления излучин по достижению ими стадии развитой или крутой ($l/L = 1,4 \div 1,7$; здесь l – длина, L – шаг излучины), то есть образования прорванных излучин (незавершенное меандрирование по ГГИ [Кондратьев с соавт., 1982]). Это, например, наблюдается на средней Оби (ниже устья р. Томи), где за последние 50–60 лет спрямилось таким образом 6 излучин, а доля прорванных составила 22% от суммарной длины всех излучин (15% от общего их количества).

На больших и крупнейших реках роль естественного повышения водности в трансформациях русел из-за ее относительной незначительности во многих случаях затушевывается влиянием на русловые преобразования чередования многоводных и маловодных циклов разной продолжительности и не проявляется в течение сравнительно короткого периода, охваченного наблюдениями. Это усугубляется тем, что происходящие перестройки русла иногда приобретают необратимый характер, так как сопровождаются изменением положения русла по отношению к пойме и коренным берегам и, как следствие, изменением гидравлической структуры потока при прохождении руслоформирующих расходов воды. Так, на Северной Двине на участке д. Телегово – с. Красноборск до конца XIX в. русло, отклоняясь от левого коренного берега, меандрировало; в последующий многоводный период конца XIX – начала XX вв. [Каргаполова, 2006] произошла самая крупная трансформация русла из-за спрямления серии излучин вдоль маловодных пойменных проток в тыловой части левобережной поймы, перемещение реки к левому берегу и образование здесь неразветвленного прямолинейного русла и разветвлений разного типа. Старое извилистое русло превратилось в пойменные ответвления (полои), расчленяющие теперь уже правобережную пойму на отдельные массивы.

Более распространено при чередовании многоводных и маловодных лет периодическое преобразование одного типа русла в другой. Так, в маловодные циклы начинают отмирать рукава в прорванных излучинах и активизируется поперечное смещение развитых, их искривление вплоть до превращения в петлеобразные; в многоводные годы прорванные излучины восстанавливаются. В разветвленном русле в многоводные годы сопряженные разветвления трансформируются в параллельно-рукавные, в маловодные – параллельно-рукавные вновь превращаются в сопряженные [Чалов, Кирик, 2015].

Спрямление излучин или развитие рукавов вдоль ведущего коренного берега – фактор преобразования извилистого русла в относительно прямолинейное (верхняя Обь, Вычегда), одиночных и сопряженных разветвлений – в односторонние (Обь, Се-

верная Двина) или при полном отмирании рукава в пойменных берегах – также в прямолинейное неразветвленное (Обь, Малая Северная Двина).

Причиной преобразования русла иногда служат ледовые заторы. Обходя их, поток половодья разрабатывает бывшие маловодные пойменные протоки до состояния основного по водности рукава (Обь, Енисей).

Антропогенные воздействия на русла и факторы русловых процессов вносят существенные коррективы в развитие русел, причем они зачастую многократно превышают естественные трансформации и даже приводят к возникновению прямо противоположных им тенденций. Наиболее существенны для крупных рек регулирование стока воды и перехват наносов водохранилищами. В нижних бьефах гидроузлов разветвленные русла превращаются в прямолинейные неразветвленные, сопряженные разветвления – в пологие излучины, шпоры которых образованы бывшими островами, примкнувшими к береговой пойме (рис. 5). На меандрирующих реках происходит изменение параметров излучин, которые приспособляются к новым условиям прохождения руслоформирующих расходов воды и дефициту наносов [Серебряков, 1970; Babinski, 2002; Беркович, 2012].

Выше водохранилищ в зоне регрессивной аккумуляции наносов происходит спрямление излучин из-за повышения уровней воды и усиления затопляемости поймы, начинают функционировать ранее заиленные староречья, водность которых на Оби выше Новосибирского водохранилища иногда достигает 30% от общего расхода воды в реке [Беркович, 2012].

Выполнение выправительных и дноуглубительных работ приводит к смене типа русла из-за искусственного спрямления излучин (русло становится относительно прямолинейным, как на р. Вычегде выше г. Коряжмы и у г. Сольвычегодска [Русловые ..., 2012]) или перекрытия дамбами одних (несудоходных) рукавов и разработки капитальных прорезей в других. На верхней Оби это привело к расчленению протяженного (более 50 км) параллель-

но-рукавного разветвления на 4 части: в верхней, ограниченной снизу продольной направляющей дамбой, перекрывшей правые рукава, выделилось крупное одиночное разветвление; ниже, во второй части, русло осталось параллельно-рукавным, но сократилась ширина пояса разветвления, сместившегося под влиянием дамбы влево, а бывшая система правого рукава превратилась в обмелевшие и утрачивающие со временем свою водоносность протоки (рис. 6, А); третья часть вследствие возведения продольной направляющей дамбы, частично перекрывшей левый рукав, теперь представляет собой одностороннее разветвление; лишь ниже по течению, где не проводились капитальные выправительные работы (четвертая часть) тип русла остался прежним. На Северной Двине (рис. 6, Б) Телеговское разветвление в 1940 г. было сопряженным, состоящим из двух звеньев. Благодаря естественному развитию, поддержанному разработкой прорезей, оно сначала превратилось в крупное одиночное разветвление, а затем в результате перекрытия правого рукава дамбами – в одностороннее разветвление [Львовская, 2016]. На Вычегде несколько одиночных разветвлений превратились в односторонние после разработки прорезей в правых рукавах вдоль коренного берега и возведения полузапруд перед заходами в левые рукава, ставшие маловодными. Аналогичные преобразования произошли на р. Оби с Киреевским-Астраханцевским сопряженным разветвлением: разработка прорези, углубившей в верхнем его звене правый рукав, дно которого подстилается тяжелыми коренными грунтами, складирование отвалов извлеченного грунта на заход в левый рукав и систематическое выполнение дноуглубительных работ на перекатах в правом рукаве нижнего звена сделало его односторонним.

Существенные перестройки излучин русла произошли на р. Москве после переброски стока из Волги по каналу им. Москвы и увеличения ее водоносности более чем в 2 раза после 1937 г. Некоторые излучины для пропуска повышенных расходов воды были искусственно спрямлены (например, Марчуговские луки), и русло стало прямолинейным; на других участках произошло выполаживание излучин (снижение l/L) из-за размывов выпуклых берегов и общего расширения русла [Каргаполова, 2004].

Разработка русловых карьеров приводит к трансформациям русел, подобным происходящим в нижних бьефах гидроузлов, из-за посадки уровней, перехвата карьерами наносов и глубинной эрозии выше и ниже их. На разветвленных участках они располагаются в несудоходных рукавах, искусственное углубление которых обеспечивает сохранение их водности или даже приводит к ее увеличению, но тип разветвления остается неизменным. Таковы сопряженные разветвления на Оби в районе г. Новосибирска (о-ва Отдыха и Кораблик) и Почтовское, Гусиное, Белоглинское в 100 км ниже по течению.

На урбанизированных участках рек, многие из которых находятся в нижних бьефах гидроузлов, одновременно на русло воздействуют дноуглубле-

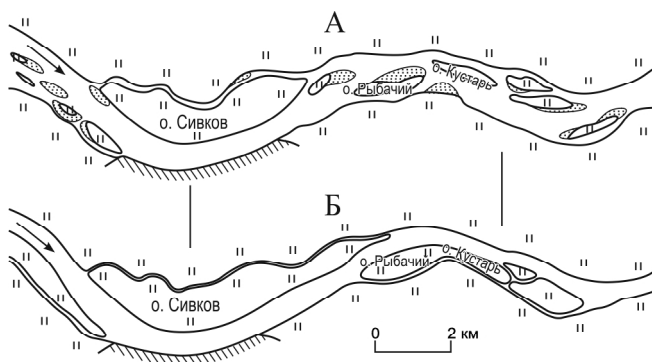


Рис. 5. Трансформация сопряженных разветвлений русла (А) в пологие излучины (Б) на р. Оби в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла

Fig. 5. Transformation of conjugated channel branches (А) into flat meanders (Б) of the Ob' River downstream the Novosibirskaya dam

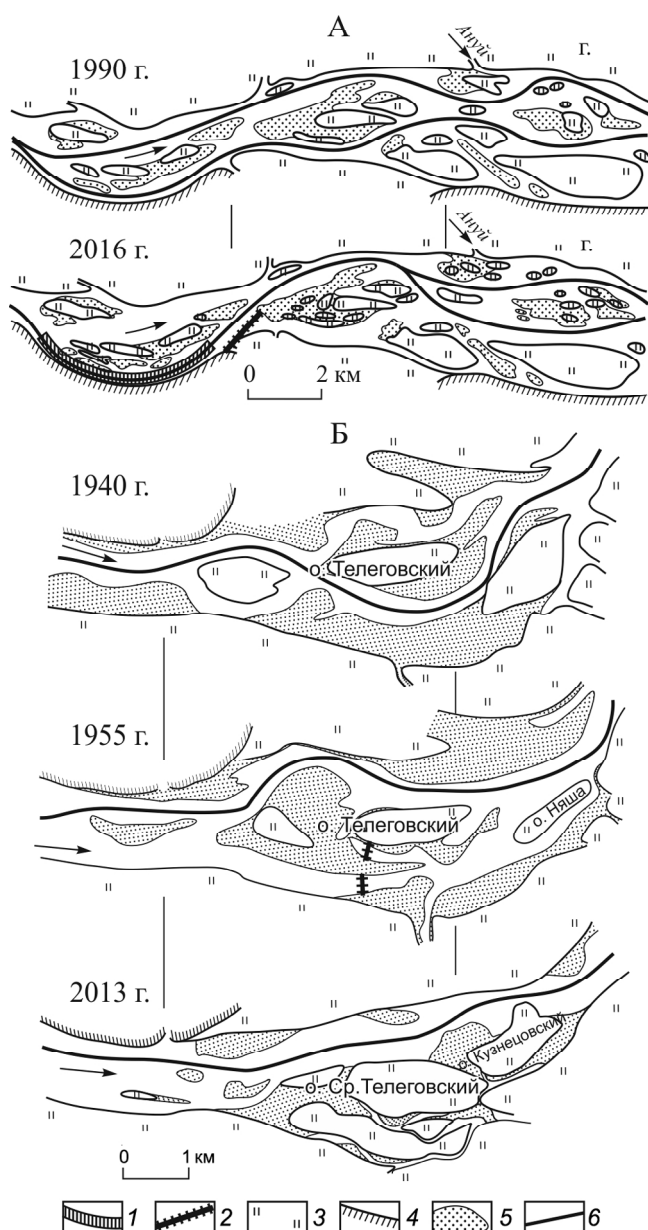


Рис. 6. Трансформация параллельно-рукавного русла верхней Оби – Фоминский – Усть-Ануйский узлы (А) и сопряженных разветвлений р. Северной Двины – Телеговский узел (Б) в результате дноуглубительных и выправительных работ: 1 – прорези; 2 – дамбы; 3 – пойма; 4 – коренной берег; 5 – прирусловые отмели; 6 – оси основных рукавов

Fig. 6. Transformation of parallel branch channel of the Upper Ob' River – Fominskij – Ust'-Anujksij reaches (A) and conjugated channel branches of the Severnaya Dvina River – Telegovskij reach (B) as a result of channel dredging operations: 1 – dredged channels; 2 – dams; 3 – flood-plain; 4 – valleg sides; 5 – meandtr dass; 6 – flow axes of main channel branches

ние по трассе судового хода или для обеспечения водных подходов к портам и объектам хозяйственной инфраструктуры, разрабатываемые карьеры, мосты, набережные, берегозащитные или противопаводковые дамбы и т. д. Все это приводит к тому, что русло становится антропогенно преобразованным, и его морфологический облик индивидуален для каждого города. Протяженность таких участ-

ков иногда охватывает первые десятки километров.

Наибольшее преобразование русел происходит при их канализировании. Оно широко распространено на реках Западной Европы, но для России не характерно. Реки практически полностью утратили естественный облик благодаря массовому спрямлению излучин, возведению двусторонних полузапруд, стесняющих поток и приводящих к образованию новой береговой линии, берегозащитных и противопаводковых сооружений по обоим берегам. Будучи выполненными для предотвращения наводнений и размывов берегов, эти мероприятия со временем привели к прямо противоположному эффекту: вследствие сокращения длины русла в результате спрямления излучин (на Рейне – на 35%) и уменьшения площади поперечного сечения (на 50%) из-за возведения ограждающих русло дамб произошло ускорение прохождения паводков при одновременном росте их пиков и снижение пропускной способности русла. Это стало причиной затоплений даже таких городов, как Кельн и Бонн, особенно при совпадении пиков паводков на Рейне и его притоках. В результате в Германии разработана программа ренатурализации (природоприближенного восстановления) рек [Dingethal et al., 1985; Lange, Lecher, 1993; Gebler, 1995; Румянцев с соавт., 2001].

Основные пути трансформации морфодинамических типов русла при естественных и антропогенных изменениях факторов русловых процессов и техногенных воздействиях на русла можно представить в виде следующих основных схем.

1. При увеличении водности: развитые или крутые излучины → прорванные излучины, выполаживание излучин, уменьшение степени их развитости l/L и увеличение параметров согласно $\pi = f(Q)$; сопряженные разветвления → параллельно-рукавные разветвления; прямолинейные неразветвленные русла → одиночные, сопряженные или параллельно-рукавные разветвления.

2. При снижении стока воды последовательность преобразований обратная.

3. Увеличение стока наносов и их аккумуляция: усложнение разветвлений или их образование в ранее неразветвленном русле; развитые и крутые излучины → прорванные излучины.

4. В нижних бьефах гидроузлов: разветвленные русла любого типа → прямолинейное неразветвленное русло; сопряженные разветвления → пологие сегментные излучины при отмирании рукавов; прорванные излучины → развитые и крутые излучины при отмирании старых русел.

5. Выше водохранилищ: развитые и крутые излучины → прорванные излучины; прямолинейное неразветвленное или слабоизвилистое русло → разветвления разного типа; восстановление стока в староречьях и образование прорванных излучин.

6. Дноуглубительные и выправительные работы: излучины и разветвления любого типа → прямолинейное неразветвленное русло; сопряженные

разветвления → одиночные или односторонние разветвления.

Выводы:

– русла больших широкопойменных равнинных рек в результате естественных колебаний или направленных изменений (увеличения) водности за историческое время, охваченное наблюдениями, а также антропогенных воздействий на сами русла или факторы русловых процессов (сток воды и наносов) постоянно трансформируются вплоть до смены их морфодинамического типа, усложнения морфологии разветвленных русел, образования прорванных излучин или изменения параметров меандрирующих русел;

– определены основные пути трансформации русла из одного типа в другой, в большинстве случаев на уровне разновидностей извилистых (меандрирующих) или разветвленных русел;

– реакция русел рек на изменения водности, ширины и соотношения ширины и глубины b_p/h проявляется в меньшей степени по мере увеличения размеров реки, а на таких крупнейших реках, как Лена, Енисей, Обь в нижнем течении вообще не сказывается;

– воздействия направленных изменений водности затушевываются ее колебаниями, обуславливающими чередование многолетних многоводных и маловодных циклов, причем в многоводные годы иногда происходят наиболее масштабные преобра-

зования русел, приводящие к усложнению их морфологии, в маловодные – упрощение и возвращение к исходному состоянию;

– закреплению происшедших трансформаций способствует изменение положения русла относительно коренных берегов реки, наличие которых создает гидравлические условия, обеспечивающие развитие прямолинейного неразветвленного русла или односторонних разветвлений;

– существенным фактором трансформации русел, заключающейся в смене их морфодинамического типа, является увеличение стока наносов (например, при появлении местного источника их поступления) и зарастание растительностью прирусловых отмелей (побочней, осередков);

– антропогенные воздействия на факторы русловых процессов приводят к тем же последствиям, что и естественные изменения водности, но в более короткие сроки и в более выраженной форме; при этом изменяются такие важные условия формирования русла, как его устойчивость, прохождение руслоформирующих расходов воды и направленность вертикальных деформаций;

– техногенные (механические) воздействия на русла рек обычно приводят к быстрой их трансформации (первые годы), особенно при искусственном спрямлении излучин, перекрытии дамбами рукавов, возведении направляющих выправительных сооружений.

Благодарности. Выполнено по планам НИР кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева при частичной поддержке грантов РНФ (проект № 14-17-00155) и РФФИ (проект № 15-05-03752, 18-95-00487).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алабян А.М., Алексеевский Н.И., Евсеева Л.С., Жук В.А., Иванов В.В., Сурков В.В., Фролова Н.Л., Чалов Р.С. Генетический анализ причин весеннего затопления долины Малой Северной Двины в районе г. Великого Устюга // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. Вып. 14. С. 104–130.
- Беркович К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001. 164 с.
- Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Географ. ф-т МГУ, 2012. 163 с.
- Беркович К.М., Гаррисон Л.М., Рулёва С.Н., Чалов Р.С. Морфология русел и русловые деформации верхней Оби // Земельные и водные ресурсы. Противозерозионная защита и регулирование русел. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. С. 95–120.
- Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.
- Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
- Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 288 с.
- Каргаполова И.Н. Деформации русла реки Москвы XVIII–XX веков // Эрозионные, русловые процессы и проблемы гидроэкологии. М.: Географ. ф-т МГУ, 2004. С. 95–101.
- Каргаполова И.Н. Реакция русел рек на изменения водности и антропогенные воздействия за последние столетия. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. М., 2006. 27 с.
- Клаев А.Б., Виноградов В.А., Костюченко А.А. Неравномерные процессы в формировании речных русел // Маккавеевские чтения – 2004. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. С. 8–25.
- Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Сущенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 272 с.
- Львовская Е.А. Ретроспективный анализ, современное состояние и оценка возможных изменений русловых процессов на больших реках севера ЕТР. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. М., 2016. 30 с.
- Магницкий Д.В. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты нижней Лены и Вилюя // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 6. С. 85–95.
- Назаров Н.Н., Егоркина С.С. Реки Пермского края: горизонтальные русловые деформации. Пермь: Звезда, 2004. 156 с.
- Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 264 с.
- Румянцев И.С., Чалов Р.С., Кромер Р., Нестманн Ф. Природоприближенное восстановление и эксплуатация водных объектов. М.: МГУП, 2001. 286 с.
- Русловой режим рек Северной Евразии. М.: Географ. ф-т МГУ, 1994. 336 с.
- Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
- Русловые процессы на реках Алтайского региона. М., 1996. 244 с.
- Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М.: ООО «Журнал “РТ”», 2012. 492 с.

Рысин И.И., Петухова Л.Н. Руслые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Научная книга, 2006. 176 с.

Серебряков А.В. Руслые процессы на судоходных реках с зарегулированным стоком. М.: Транспорт, 1970. 128 с.

Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Чернов А.В., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н. Сток воды и морфология русел рек Русской равнины в поздневалдайское время и в голоцене (по данным палеоруслыевого анализа) // Эрозия почв и руслые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. Вып. 12. С. 35–46.

Транспортное использование водохранилищ. М.: Транспорт, 1972. 223 с.

Чалов Р.С. Географические исследования руслых процессов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 232 с.

Чалов Р.С. Излучины р. Вычегды // Эрозия почв и руслые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. Вып. 4. С. 128–142.

Чалов Р.С. К типологии пойм равнинных рек // Изв. ВГО. 1966. Т. 98. Вып. 1. С. 54–57.

Чалов Р.С. Руслыеведение: теория, география, практика. Т. 1. Руслые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования русел. М.: ЛКИ, 2008. 608 с.

Чалов Р.С., Завадский А.С., Рулева С.Н., Кирик О.М., Проконьев В.П., Андросов И.М., Сахаров А.И. Морфология, деформации, временные изменения русла р. Лена и их влияние на хо-

зяйственную инфраструктуру г. Якутска // Геоморфология. 2016. № 6. С. 22–35.

Чалов Р.С., Кирик О.М. Ленские «разбои»: ретроспективный анализ переформирования, прогнозные оценки и регулирование русла // Эрозия почв и руслые процессы. М.: Географ. ф-т МГУ, 2015. Вып. 19. С. 294–338.

Чернов А.В. Особенности морфологии поймы Средней Лены, возникшие в результате врезания реки и увеличения ее водности. М.: ВИНТИ, 1975. Деп. № 236–В75. 7 с.

Babicki Z. Wpływ zapór procesy korytowe rzek aluwialnych. Bydgoszcz: Wyd. Arad. Bydgoskiej im. K. Wielkiego, 2002. 185 s.

Dingethal F.J., Jüring P., Kaule G., Winzler W. Kistsgrube und Landschaft. Handbuch über den Abbau von Sand und Kies, über Gestaltung, Rekultivierung und Renaturierung. Hamburg-Berlin: Verlag Paul Parey. 1985. 250 p.

Gebler R. Naturgemäße Bauweisen von Sohlenbauwerken und Fischaufstiegen zur Vernetzung der Fließgewässer // Institut für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe. Heft 181. 1995. P. 25–57.

Lange G., Lecher K. Gewässerregulierung, Gewässerpflege. Nfturfher Fusbau und Unterhaltung von Flügewässern. Hamdurg – Berlin: Vrlag Pful Parey, 1993. 125 p.

Поступила в редакцию 03.07.2017

Принята к публикации 28.12.2017

R.S. Chalov¹

TEMPORAL TRANSFORMATION OF MORPHODYNAMIC TYPES OF CHANNELS OF THE LARGE LOWLAND RIVERS

Retrospective analysis of channels development of Russian large lowland rivers was a basis for discussing the principal lines of their morphodynamic types transformation through the historical time (i.e. during the period of observations on hydrological stations and channel mapping which recorded their configuration at different times). The transformations are related to natural changes of river flow (its increase), sediment flow increase, interchanges of high-water and low-water periods, overgrowth of vegetation on channel bars since the last quarter of the 20th century and human impact both on the causes of channel processes (water reservoirs construction) and on channels themselves (in-channel dredging on the navigable rivers) becoming more intensive and increasing since 1960s. It is demonstrated that the larger is a river (its water flow, width and the width-depth ratio), the lower is the response of channel processes to these changes and impacts: they are absent in the lower reaches of Lena, Enisej and Ob' rivers. The principal schemes of meandering, braided and relatively straight channels development are revealed on the basis of voluminous factual data.

Key words: channel processes, morphological types of channels, meanders, meander bars, water content of rivers, sediment flow.

Acknowledgements. The study was performed in line with research plans of the Department of Land Hydrology and the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes and partly financially supported by the Russian Science Foundation (project № 14-17-00155) and the Russian Foundation for Basic Research (project № 15-05-03752, 18-95-00487).

REFERENCES

Alabyan A.M., Alekseevskij N.I., Evseeva L.S., Zhuk V.A., Ivanov V.V., Surkov V.V., Frolova N.L., Chalov R.S. Geneticheskij analiz prichin vesennego zatopeniya doliny Maloj Severnoj Dviny v rajone g. Velikij Ustyug // Eroziya pochv i ruslovyje processy [Genetic analysis of the causes of spring flooding of the Malaya Severnaya Dvina River valley near Velikij Ustyug // Soil erosion and channel processes]. M.: MGU, 2003. V. 14. P. 104–130 (in Russian).

Babicki Z. Wpływ zapór procesy korytowe rzek aluwialnych. Bydgoszcz: Wyd. Arad. Bydgoskiej im. K. Wielkiego, 2002. 185 s.

Berkovich K.M. Geograficheskij analiz antropogennyh izmenenij ruslovyh processov [Geographical analysis of anthropogenic changes in channel processes]. M.: GEOS, 2001. 164 p. (in Russian).

Berkovich K.M. Ruslovyje processy v sfere vliyanija vodohranilishh [Channel processes under the influence of water reservoirs]. M.: Geograf. fak. MGU, 2012. 163 p. (in Russian).

Berkovich K.M., Garrison L.M., Ruleva S.N., Chalov R.S. Morfologiya rusel i ruslovyje deformacii verhnjej Obi // Zemelnye i vodnye resursy. Protivoerzionnaya zashhita i regulirovanie rusel

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Professor; Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Geography, Professor; e-mail: rschalov@mail.ru

[Channel morphology and channel changes of the Upper Ob' River // Land and water resources. Erosion control and channel regulation]. M.: MGU, 1990. P. 95–120 (in Russian).

Chalov R.S. Geograficheskie issledovaniya ruslovyh processov [Geographic research of channel processes]. M.: MGU, 1979. 232 p. (in Russian).

Chalov R.S. Izluchiny r. Vychegdy // Eroziya pochv i ruslovye processy [Meanders of the Vichegda River // Soil erosion and channel processes]. M.: MGU, 1974. V. 4. P. 128–142 (in Russian).

Chalov R.S. K tipologii pojmovykh reki [Typology of flood-plains of lowland rivers] // Izv. VGO, 1966. T. 98. V. 1. P. 54–57 (in Russian).

Chalov R.S. Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 1. Ruslovye processy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rusel. [Riverbed science: theory, geography, practice. V. 1. Channel processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and channel-forming conditions]. M.: LKI, 2008. 608 p. (in Russian).

Chalov R.S., Kirik O.M. Lenskie «razboi»: retrospektivnyy analiz pereformirovaniy, prognozyne ocenki i regulirovaniye rusla // Eroziya pochv i ruslovye processy [The Lena River braided reaches: retrospective analysis of channel changes, prognostic evaluation and channel regulation // Soil erosion and channel processes]. M.: Geograf. fak. MGU, 2015. V. 19. P. 294–338 (in Russian).

Chalov R.S., Zavadskiy A.S., Ruleva S.N., Kirik O.M., Prokopen V.P., Androsov I.M., Saharov A.I. Morfologiya, deformatsii, vremennye izmeneniya rusla r. Lena i ih vliyaniye na hozyaistvennuyu infrastrukturu g. Yakutska [Morphology, deformations and temporary modifications of the Lena River channel and their influence on the Yakutsk economic infrastructure] // Geomorfologiya. 2016. № 6. P. 22–35 (in Russian).

Chernov A.V. Osobennosti morfologii pojmy Srednej Leny, voznikshie v rezultate vrezaniya reki i uvelicheniya eyo vodnosti [Morphology features of the Middle Lena River flood-plain resulting from the incision of the river and its water content augmentation]. M.: VINITI, 1975. Dep. № 236–V75. 7 p. (in Russian).

Dingethal F.J., Jürging P., Kaule G., Witzierl W. Kitsgrube und Landschaft. Handbuch über den Abbau von Sand und Kies, über Gestaltung, Rekultivierung und Renaturierung. Hamburg-Berlin: Vrlag Paul Parey. 1985. 250 p.

Gebler R. Naturgemäße Bauweisen von Sohlenbauwerken und Fischaufstiegen zur Vernetzung der Fließgewässer // Institut für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe. Heft 181. 1995. P. 25–57.

Karasev I.F. Ruslovye processy pri perebroske stoka [Channel processes at water diversion]. L.: Gidrometeoizdat, 1975. 288 p. (in Russian).

Kargapolova I.N. Deformatsii rusla reki Moskvy XVIII–XIX vekov // Eroziyonnye, ruslovye processy i problemy gidroekologii [Channel changes of the Moskva River during XVIII–XX century // Erosion, channel processes and hydro ecology problems]. M.: MGU, 2004. P. 95–101 (in Russian).

Kargapolova I.N. Reaktsiya rusel rek na izmeneniya vodnosti i antropogennyye vozdeystviya za poslednie stoletiya [Response of river channels to water content changes and anthropogenic impact during last centuries]. Avtoref. dis. ... kand. geogr. n. M.: MGU, 2006. 27 p. (in Russian).

Klaven A.B., Vinogradov V.A., Kostyuchenko A.A. Neravnovesnyye processy v formirovaniy rechnykh rusel [Non-equilibrium in channel processes] // Makkaveevskie chteniya – 2004. M.: MGU, 2005. P. 8–25 (in Russian).

Kondrat'ev N.E., Popov I.V., Snishchenko B.F. Osnovy gidromorfologicheskoy teorii ruslovogo processa [Basics of the hydromorphological theory of channel processes]. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 272 p. (in Russian).

L'vovskaya E.A. Retrospektivnyy analiz, sovremennoye sostoyaniye i ocenka vozmozhnykh izmeneniy ruslovyh processov na bolshih rekah severa ETR [Retrospective analysis, present-day state and evaluation of possible changes of channel processes on large rivers of the North of the European territory of Russia]. Avtoref. dis. ... kand. geogr. n. M.: MGU, 2016. 30 p. (in Russian).

Lange G., Lecher K. Gewässerregulierung, Gewässerpflege. Nfturnher Fusbau und Unterhaltung von Fließgewässern. Hamdurg – Berlin: Vrlag Pful Parey, 1993. 125 p.

Magrickij D.V. Faktory i zakonomernosti mnogoletnih izmeneniy stoka vody, vzveshennykh nanosov i teploty nizhnej Leny i Vilyuya [Factors and regularities of long-term changes of water flow, sediment flow and heat flow of the Lower Lena and Vilyuy rivers] // Vest. MGU. Ser. 5. Geografiya. 2015. № 6. P. 85–95 (in Russian).

Nazarov N.N., Egorkina S.S. Reki Permskogo kraja: gorizontálne ruslovye deformatsii [Rivers of the Perm Krai: lateral channel changes]. Perm: Zvezda, 2004. 156 p. (in Russian).

Rumyantsev I.S., Chalov R.S., Kromer R., Nestmann F. Prirodopriblizhennoye vosstanovleniye i ekspluatatsiya vodnykh ob'ektov [Close-to-nature restoration and maintenance of water bodies]. M.: MGUP, 2001. 286 p. (in Russian).

Ruslovoj rezhim rek Severnoy Evrazii [Channel regime of the North Eurasian rivers]. M.: Geograf. fak. MGU, 1994. 336 p. (in Russian).

Ruslovye processy i vodnye puti na rekah bassejna Severnoy Dviny [Channel processes and waterways in the Severnaya Dvina River basin]. OOO «Zhurnal “RT”». M., 2012. 492 p. (in Russian).

Ruslovye processy i vodnye puti na rekah Obskogo bassejna [Channel processes and waterways in the Ob2 River basin]. Novosibirsk: RIPEL plus, 2001. 300 p. (in Russian).

Ruslovye processy na rekah Altajskogo regiona [Channel processes of the Altay territory rivers]. M., 1996. 244 p. (in Russian).

Rysin I.I., Petuhova L.N. Ruslovye processy na rekah Udmurtii [Channel processes of the Udmurtiya rivers]. Izhevsk: Nauchnaya kniga, 2006. 176 p. (in Russian).

Rzhanitsyn N.A. Rusloformiruyushhie processy rek [Channel-forming river processes]. L.: Gidrometeoizdat, 1985. 264 p. (in Russian).

Serebryakov A.V. Ruslovye processy na sudohodnykh rekah s zaregulirovannym stokom [Channel processes on the navigable rivers with regulated run-off]. M.: Transport. 1970. 128 p. (in Russian).

Sidorchuk A.Ju., Panin A.V., Chernov A.V., Borisova O.K., Kovalchuk N.N. Stok vody i morfologiya rusel rek Russkoj ravniny v pozdnevaldajskoe vremya i v golocene (po dannym paleoruslovogo analiza) // Eroziya pochv i ruslovye processy [Water flow and channel morphology of the Russian Plain rivers during the Last Valday Age and the Holocene (according to the data of paleochannel analysis). Soil erosion and channel processes]. M.: MGU, 2000. V. 12. P. 35–46 (in Russian).

Transportnoye ispolzovanie vodohranilishh [Transport use of water reservoirs]. M.: Transport. 1972. 223 p. (in Russian).

Vodnye puti bassejna Leny [Waterways of the Lena River basin]. M.: MIKIS, 1995. 600 p. (in Russian).

Vodnye resursy Rossii i ih ispolzovaniye [Water resources of Russia and their utilization] SPb.: GGI, 2008. 600 p. (in Russian).

Received 03.07.2017

Accepted 28.12.2017