

УДК 551.435.124

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И МОРФОЛОГИЯ ОСТРОВОВ В АКТИВНОЙ И ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ ЗОНАХ РУСЕЛ БОЛЬШИХ РАВНИННЫХ РЕК[#]

© 2025 г. Р. С. Чалов^{1,*}, Г. Б. Голубцов^{1,**}¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
географический факультет, Москва, Россия.

* E-mail: rschalov@mail.ru

** E-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.12.2024 г.

После доработки 06.01.2025 г.

Принята к публикации 15.02.2025 г.

Острова как основные элементы русел рек, разветвленных на рукава, достаточно хорошо изучены с точки зрения их формирования и дальнейшего развития. Для широкопойменных русел предложены основные схемы их образования и последующих переформирований (трансгрессивное, регрессивное) в условиях, разнонаправленных вертикальных и свободного развития горизонтальных русловых деформаций. Однако многообразие типов разветвлений, их сложная конфигурация и, зачастую, большая ширина крупных равнинных рек обуславливают неравномерное распределение скоростей течения потока и возникновение активной и периферической зон русла. В статье дан анализ условий формирования, морфологии и динамики островов в зависимости от интенсивности и направленности русловых процессов в разных зонах (частях) русла, а также показана зависимость формы островов (соотношения длины и ширины) от их расположения в русле, и, наоборот, воздействие островов различной формы на структуру потока. Показаны особенности расположения активной и периферической зон русла в зависимости от степени его устойчивости и морфодинамического типа на примере конкретных больших и крупнейших рек. Установлено, что при любом морфодинамическом типе и при различном соотношении $W_{тр} \sim W_{R+G}$ ($W_{тр}$ — транспортирующая способность потока, W_{R+G} — общий сток наносов), положительном или отрицательном балансе наносов, имеются местные зоны размыва русла или его обмеления. Поэтому трансгрессивное или регрессивное смещение островов рассматривается как признак направленности вертикальных русловых деформаций (врезание или направленной аккумуляции) исключительно для активной части русла. В периферических зонах русел рек, где преобладает местная аккумуляция наносов, эти закономерности не соблюдаются.

Ключевые слова: разветвленное русло; транспортирующая способность потока; переформирования островов; аккумуляция; морфодинамика русла

DOI: 10.31857/S2949178925030026

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивность русловых переформирований на больших реках, особенно протекающих в условиях свободного развития русловых деформаций, зависит, прежде всего, от таких факторов как водность реки, рассредоточение стока по рукавам разветвлений, условий прохождения руслоформирующих расходов воды, баланса наносов, литологического состава слагающих днище доли-

ны отложений. Переформированиям разветвлений и трансформацией русла под воздействием естественных факторов, антропогенной нагрузки и в процессе саморазвития, были посвящены многочисленные исследования (Маккавеев, 1948; Попов, 1965; Карасев, 1975; Чалов, 1979; Беркович, Гаррисон и др., 1990; Алексеевский, Чалов, 2009; Голубцов, 2023; Yang, 1971; Miall, 1977; Schumm, 1977; Rosgen, 1994; Knighton, 1998). При разработке и уточнении классификаций разветвлений определены их многочисленные типы, которые, в зависимости от конфигурации и количества островов, могут иметь одну или несколько стречневых зон (динамических осей) потока, где скорость, а, следовательно, и размывающая

[#] Ссылка для цитирования: Чалов Р.С., Голубцов Г.Б. (2025) Условия формирования и морфология островов в активной и периферической зонах русел больших равнинных рек. *Геоморфология и палеогеография*. Т. 56. № 3. С. 372–381. <https://doi.org/10.31857/S2949178925030026>

способность потока наибольшая. Напротив, в условиях замедленных скоростей течения и сниженной транспортирующей способности располагающихся вне активных частей русла создаются периферические зоны, в которых рукава и протоки характеризуются также низкой долей стока в общем расходе и зачастую выполняют функцию отвлечения большей части стока наносов с последующей их аккумуляцией и со временем все большим сокращением стока (особенно в меженный период). Соответственно в них создаются иные условия для формирования осередков, их зарастания и превращения в острова, обмеления протоков между ними, объединения островов и их дальнейшего роста.

Тем не менее, вопросы, связанные с особенностями динамики и преобладающих форм смещения островов в зависимости от их расположения на реке, стадии развития в условиях направленной аккумуляции или врезания реки, остаются либо слабоизученными, ограничиваясь в основном констатацией факта существования различных по форме и размерам островов в русле реки. Это существенно сужает возможности применения гидролого-морфологического анализа островов и в целом русел рек с разветвленным руслом, особенно на больших крупнейших равнинных реках. Проведенный анализ условий формирования речных островов аккумулятивного генезиса (как следствие зарастания осередков) показал, что их поэтапное развитие происходит по-разному в разных частях русла, отличающихся по структуре потока и скоростям течения, а, следовательно, и по условиям транспорта и аккумуляции наносов. При этом различия проявляются также в зависимости от морфодинамического типа разветвлений, изменяются по мере направленного смещения русла реки и превращения бывшей активной зоны в периферическую.

Целью настоящей статьи является выявление на основе гидролого-морфологического анализа различий в морфологии, параметрах, темпах и деформаций островов в периферических и активных зонах разветвленного русла на реках с широкопойменным и врезанным руслом, а также изменение их характеристик в зависимости от врезания реки или направленной аккумуляции наносов при разной транспортирующей способности потока и ее соотношении со стоком наносов.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу статьи положены материалы исследований динамики русловых разветвлений и перестроения островов на многих крупных реках России с разветвленным руслом (Сев. Двина,

Вычегда, Мезень, Печора, Обь, Иртыш, Лена, Амур, нижняя Волга и многие другие), на которых выполнялись крупномасштабные съемки русел, определялось рассредоточение стока воды и наносов по рукавам и его перераспределение в зависимости от фазы водного режима и водности, литология берегов рек и формирующихся островов. Острова при этом рассматриваются как основные элементы рельефа разветвленного русла, морфометрические параметры и форма которых представляют собой результат определенной стадии (этапа) развития первичных, незакрепленных растительностью форм (осередков), зависящих главным образом от своего расположения в той или иной части русла. Дальнейшие переформирования островов (объединение, локальный размыв, приращение к ним прирусловых отмелей и их постепенное зарастание) определялись по сопоставлению разновременных космических снимков.

Наряду с данными дистанционного зондирования и отчетными материалами многочисленных натурных наблюдений и измерений на рассматриваемых реках, активно использовались карты судоводных рек (ранее они назывались лоцманскими), фиксирующие состояние русла на определенный период и позволяющие находить изменения в русле (развитие и обмеление рукавов, размывы и рост островов, деформации перекатов и пр.), а по положению судового хода судить об относительной водности рукавов. Они издаются в среднем через каждые 10 лет и в промежутке подвергаются ежегодной корректировке изыскательскими партиями.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Образование островов в руслах рек является следствием закрепления осередков растительностью, и последующее их развитие происходит благодаря размывам оголовков, росту и зарастанию кос в ухвостьях, приращению к берегам с обеих сторон, а нередко также к оголовку, прирусловых отмелей (побочней). Со временем острова объединяются, при заполнении наносами протоков между ними, сохраняющимися в рельефе островов в виде ложбин. Таков наиболее распространенный процесс формирования разветвленных на рукава русел равнинных рек (Маккавеев, 1955; Попов, 1965; Чалов, 1979, 2008; Чернов, 2009; Голубцов, 2022). Однако формы проявления оказываются неодинаковыми в зависимости от активности русловых процессов в различных частях (зонах) русла. Применительно к грядовому движению наносов Н. И. Алексеевский (1998) ввел понятие активной ширины русла $b_{ак}$, показав, что на реках с неразветвленным руслом $b_{ак} = 0.8b_m$, (здесь b_m — ширина

русла в бровках пойменных берегов). С точки зрения русловых процессов активной шириной (зоной) русла следует считать ту его часть, где происходит не только активное грядовое движение наносов, но и проявляются практически все виды русловых деформаций: размывы дна и берегов, образование аккумулятивных форм рельефа русла и постоянные изменения его морфологии и конфигурации под воздействием потока. Части русла, в которых происходят только его направленное обмеление, аккумуляция наносов, затухание русловых деформаций и массовое зарастание аккумулятивных форм, составляют периферическую зону. Ее ширина, расположение и протяженность зависят от конкретных местных условий, форм русла, общей его ширины и соотношения с глубиной, определяющей распластанность потока, и т.д. — от узкой прибрежной полосы вдоль выпуклого берега на излучинах или относительно устойчивом прямолинейном неразветвленном русле ($<0.2b_m$, по Н.И. Алексеевскому) до $>0.5b_m$ на больших и крупнейших реках с неустойчивым или слабоустойчивым сложноразветвленным руслом (средняя и нижняя Лена, Обь, Сев. Двина, Мезень).

Согласно И.Ф. Карасеву (1975), разделение русла на рукава происходит при превышении критических значений критерия квазиоднородности потока:

$$\Theta = \frac{b_p}{h} \sqrt{\lambda} \geq 9.5,$$

где b_p и h — ширина и глубина русла, $\lambda = \frac{2g}{C^2}$ — коэффициент гидравлических сопротивлений, C — коэффициент Шези, зависящий от шероховатости русла. В этом случае поток разделяется на две и более ветвей течения (динамических осей), между которыми создается зона относительного замедления скоростей, происходит местное накопление наносов, и формируется осередок. Чем больше река (Великанов, 1958) и, соответственно, больше соотношение b_p к h (Ржаницын, 1985), тем вероятнее формирования разветвлений русел, хотя острова могут возникать на реках любых размеров и водоносности, определяясь слабой устойчивостью или неустойчивостью русел: чем менее устойчиво русло, и соответственно интенсивнее русловые деформации, тем больше b_p и меньше глубина h (Маккавеев, 1971). Это могут быть участки большой протяженности или местные расширения русла, сопровождающиеся уменьшением глубины. Такие колебания b_p/h при образовании местных расширений русла возникают на реках и в рукавах самих разветвлений, например, ниже выступов и мысов коренных берегов, оказывающих на поток направляющее воздействие при из-

менении водности рукавов и, как следствие, его параметров, в водоворотных зонах при сливе вод с затопленной поймы или выходе воды в половодье на пойму, в условиях подпора потока перед крутым изгибом русла у коренного берега, при слиянии с притоком или перед регулярно возникающими ледовыми заторами. В широком, но неглубоком русле при раздвоении динамической оси потока формирование осередка, превращающегося в остров, вызывает изгиб потока и направление его осей под углом к берегам. Это в свою очередь приводит к их размыву и образованию местного расширения русла, причем сумма ширин левого b_l и правого b_p рукавов больше, чем ширина русла b_r выше по течению: $b_p < \Sigma(b_l + b_p)$. Таким образом расширения русла (как и широкое распластанное русло в целом) могут быть причиной раздвоения потока и формирования островов, но в русле с изначально большим соотношением b_p/h раздвоение потока и образование между его динамическими осями острова являются причиной местного расширения русла и соответственно дальнейшей эволюции острова.

Подобные гидравлические условия характерны для активных частей русла, и осередки, а затем и острова появляются посередине реки, разделяя ее на рукава (в рукавах, в свою очередь, возникают разветвления 2-го и даже 3-го порядков (Чалов, 2009)), вызывая рассредоточение стока при руслоформирующих расходах воды в соотношениях $1 \div 1 - 1 \div 10$, и характеризуются в ходе русловых деформаций периодическим перераспределением стока между рукавами.

Формирующиеся в активной зоне русла на основе осередков острова обуславливают развитие в потоке новой гидравлической структуры, присущей разветвлению русла, вызванной рассредоточением стока во все фазы водного режима, создавая условия подпора перед ними выше по течению и извилистость потока, огибающего остров, который для каждого рукава представляет шпору его излучины с соответствующим ей полем скоростей (Маккавеев, 1971; Чалов, 2011). При этом минимум гидравлических сопротивлений движению потока (Baker, 1977; Komar, 1983) оказывают острова с соотношением морфометрических параметров длины — L_o и ширины — $B_o \approx 3-4$, что определяет преобладание таких островов в активной зоне русла. Нарушение этого соотношения приводит к удлинению островов ($L_o/B_o > 3-4$, возрастает сопротивление по длине) или их расширению, приобретению формы, близкой к овальной или сегментной (при соотношении $L_o/B_o < 3-4$, возрастает сопротивление формы). Это сопровождается обмелением одного из рукавов, перераспреде-

нием стока между рукавами и, в конечном счете, переформированиями всего разветвления. В первом случае при удлинении острова в рукавах образуются излучины или вторичные разветвления, параметры которых соответствуют водности рукавов. Развитие одной из излучин рукава, вогнутый берег которой представлен островом, приводит к его размыву в центральной части, уменьшению ширины острова, превращающегося здесь в узкую перемычку (перешеек) между рукавами и, в итоге, к образованию прорана между рукавами и расчленению острова (рис. 1).

Если в рукаве (при его большой ширине и малой глубине) образуется остров, то преимущественное развитие получает протока между ним и основным удлиненным островом, обуславливая также его размыв в центральной части. При воздействии потока на остров со стороны обоих

рукавов происходит встречный размыв, и расчленение острова оказывается подобным спрямлению петлеобразной излучины. Если во вторичном разветвлении основной по водности является протока, формирующая излучину с вогнутостью у береговой поймы, протока между островами мелеет, и со временем остров в рукаве приключается к основному острову, увеличивая размеры и усложняя его форму, делая ее изометричной.

Само удлинение островов, формирующихся посередине русла, происходит при одновременном трансгрессивном (развитие и зарастание кос в устье) и регрессивном (образование отмелей перед оголовком острова) смещении островов, в результате чего они приобретают веретенообразную форму. Причиной этого является отрицательный баланс наносов на участке реки, при котором транспортирующая способность потока меньше стока наносов — $W_{тр} < W_{R+G}$ (индексы R и G — влекомые и взвешенные наносы соответственно), и при возникновении подпора перед оголовком острова в зоне его распространения происходит аккумуляция наносов. Поэтому регрессивное смещение островов рассматривается как морфологический признак направленной аккумуляции наносов на реке (Маккавеев, 1948; Чалов, 2008). В противном случае (положительный баланс наносов — $W_{тр} > W_{R+G}$) влияние подпора нейтрализуется циркуляционными течениями и скоростным полем потока, возникающими у оголовка острова, обуславливающими перенос поступающих сюда руслообразующих наносов в сторону от оголовка острова, и стимулирует его размыв. Соответственно, трансгрессивное смещение островов в активной части русла посередине реки — морфологический признак направленного врезания реки. В устьях островов всегда возникает устойчивая зона аккумуляции наносов, и лишь при направлении стрежня потока из рукава под влиянием выбоины в его береговой линии в нижнюю часть острова устье может размываться. Однако это явление, как правило, временное, и в ходе дальнейших деформаций восстанавливаются условия аккумуляции и развития косы в устье острова.

Удлиненные острова, у которых соотношение $L_o/B_o \gg 3-4$, протяженностью иногда до первых десятков километров при ширине не более 0.5–1 км (на средней Лене и Амуре, меньших размеров — на среднем Иртыше выше г. Омска, нижней Сухоне), встречаются во врезанном или адаптированном русле, где они формируют параллельно-рукавные разветвления. В этих случаях удлиненность островов связана с объединением цепочки одиночных островов, вытянутых вдоль реки, причем на Лене и Сухоне некоторые

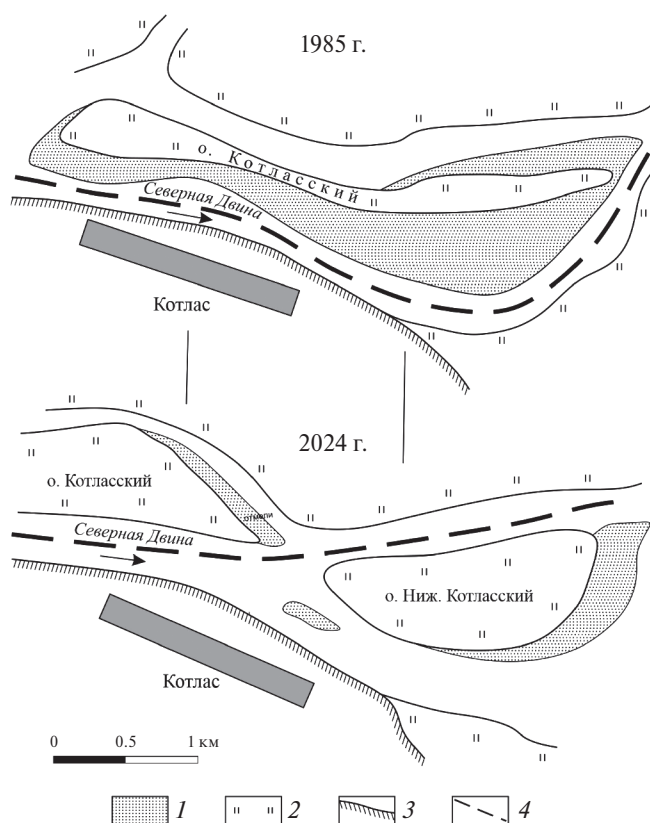


Рис. 1. Размыв центральной части удлиненного ($L_o/B_o > 3-4$) острова при постепенном развитии излучины одного из рукавов разветвления (р. Сев. Двина в районе г. Котласа).

1 — прирусловые отмели; 2 — пойма; 3 — коренной незатапливаемый берег; 4 — динамическая ось потока.

Fig. 1. Erosion of the central part of an elongated ($L_o/B_o > 3-4$) island with gradual development of a bend in one of the branches of the branch (the Northern Dvina River near the city of Kotlas).

1 — riverbed shallows; 2 — floodplain; 3 — native non-flooded bank; 4 — dynamic axis of the flow.

УДК 551.435.124

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И МОРФОЛОГИЯ ОСТРОВОВ В АКТИВНОЙ И ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ ЗОНАХ РУСЕЛ БОЛЬШИХ РАВНИННЫХ РЕК[#]

© 2025 г. Р. С. Чалов^{1,*}, Г. Б. Голубцов^{1,**}¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
географический факультет, Москва, Россия.

* E-mail: rschalov@mail.ru

** E-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.12.2024 г.

После доработки 06.01.2025 г.

Принята к публикации 15.02.2025 г.

Острова как основные элементы русел рек, разветвленных на рукава, достаточно хорошо изучены с точки зрения их формирования и дальнейшего развития. Для широкопойменных русел предложены основные схемы их образования и последующих переформирований (трансгрессивное, регрессивное) в условиях, разнонаправленных вертикальных и свободного развития горизонтальных русловых деформаций. Однако многообразие типов разветвлений, их сложная конфигурация и, зачастую, большая ширина крупных равнинных рек обуславливают неравномерное распределение скоростей течения потока и возникновение активной и периферической зон русла. В статье дан анализ условий формирования, морфологии и динамики островов в зависимости от интенсивности и направленности русловых процессов в разных зонах (частях) русла, а также показана зависимость формы островов (соотношения длины и ширины) от их расположения в русле, и, наоборот, воздействие островов различной формы на структуру потока. Показаны особенности расположения активной и периферической зон русла в зависимости от степени его устойчивости и морфодинамического типа на примере конкретных больших и крупнейших рек. Установлено, что при любом морфодинамическом типе и при различном соотношении $W_{тр} \sim W_{R+G}$ ($W_{тр}$ — транспортирующая способность потока, W_{R+G} — общий сток наносов), положительном или отрицательном балансе наносов, имеются местные зоны размыва русла или его обмеления. Поэтому трансгрессивное или регрессивное смещение островов рассматривается как признак направленности вертикальных русловых деформаций (врезание или направленной аккумуляции) исключительно для активной части русла. В периферических зонах русел рек, где преобладает местная аккумуляция наносов, эти закономерности не соблюдаются.

Ключевые слова: разветвленное русло; транспортирующая способность потока; переформирования островов; аккумуляция; морфодинамика русла

DOI: 10.31857/S2949178925030026

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивность русловых переформирований на больших реках, особенно протекающих в условиях свободного развития русловых деформаций, зависит, прежде всего, от таких факторов как водность реки, рассредоточение стока по рукавам разветвлений, условий прохождения руслоформирующих расходов воды, баланса наносов, литологического состава слагающих днище доли-

ны отложений. Переформированиям разветвлений и трансформацией русла под воздействием естественных факторов, антропогенной нагрузки и в процессе саморазвития, были посвящены многочисленные исследования (Маккавеев, 1948; Попов, 1965; Карасев, 1975; Чалов, 1979; Беркович, Гаррисон и др., 1990; Алексеевский, Чалов, 2009; Голубцов, 2023; Yang, 1971; Miall, 1977; Schumm, 1977; Rosgen, 1994; Knighton, 1998). При разработке и уточнении классификаций разветвлений определены их многочисленные типы, которые, в зависимости от конфигурации и количества островов, могут иметь одну или несколько стречневых зон (динамических осей) потока, где скорость, а, следовательно, и размывающая

[#] Ссылка для цитирования: Чалов Р.С., Голубцов Г.Б. (2025) Условия формирования и морфология островов в активной и периферической зонах русел больших равнинных рек. *Геоморфология и палеогеография*. Т. 56. № 3. С. 372–381. <https://doi.org/10.31857/S2949178925030026>

способность потока наибольшая. Напротив, в условиях замедленных скоростей течения и сниженной транспортирующей способности располагающихся вне активных частей русла создаются периферические зоны, в которых рукава и протоки характеризуются также низкой долей стока в общем расходе и зачастую выполняют функцию отвлечения большей части стока наносов с последующей их аккумуляцией и со временем все большим сокращением стока (особенно в меженный период). Соответственно в них создаются иные условия для формирования осередков, их зарастания и превращения в острова, обмеления протоков между ними, объединения островов и их дальнейшего роста.

Тем не менее, вопросы, связанные с особенностями динамики и преобладающих форм смещения островов в зависимости от их расположения на реке, стадии развития в условиях направленной аккумуляции или врезания реки, остаются либо слабоизученными, ограничиваясь в основном констатацией факта существования различных по форме и размерам островов в русле реки. Это существенно сужает возможности применения гидролого-морфологического анализа островов и в целом русел рек с разветвленным руслом, особенно на больших крупнейших равнинных реках. Проведенный анализ условий формирования речных островов аккумулятивного генезиса (как следствие зарастания осередков) показал, что их поэтапное развитие происходит по-разному в разных частях русла, отличающихся по структуре потока и скоростям течения, а, следовательно, и по условиям транспорта и аккумуляции наносов. При этом различия проявляются также в зависимости от морфодинамического типа разветвлений, изменяются по мере направленного смещения русла реки и превращения бывшей активной зоны в периферическую.

Целью настоящей статьи является выявление на основе гидролого-морфологического анализа различий в морфологии, параметрах, темпах и деформаций островов в периферических и активных зонах разветвленного русла на реках с широкопойменным и врезанным руслом, а также изменение их характеристик в зависимости от врезания реки или направленной аккумуляции наносов при разной транспортирующей способности потока и ее соотношении со стоком наносов.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу статьи положены материалы исследований динамики русловых разветвлений и перестроения островов на многих крупных реках России с разветвленным руслом (Сев. Двина,

Вычегда, Мезень, Печора, Обь, Иртыш, Лена, Амур, нижняя Волга и многие другие), на которых выполнялись крупномасштабные съемки русел, определялось рассредоточение стока воды и наносов по рукавам и его перераспределение в зависимости от фазы водного режима и водности, литология берегов рек и формирующихся островов. Острова при этом рассматриваются как основные элементы рельефа разветвленного русла, морфометрические параметры и форма которых представляют собой результат определенной стадии (этапа) развития первичных, незакрепленных растительностью форм (осередков), зависящих главным образом от своего расположения в той или иной части русла. Дальнейшие переформирования островов (объединение, локальный размыв, приращение к ним прирусловых отмелей и их постепенное зарастание) определялись по сопоставлению разновременных космических снимков.

Наряду с данными дистанционного зондирования и отчетными материалами многочисленных натурных наблюдений и измерений на рассматриваемых реках, активно использовались карты судовых рек (ранее они назывались лоцманскими), фиксирующие состояние русла на определенный период и позволяющие находить изменения в русле (развитие и обмеление рукавов, размывы и рост островов, деформации перекатов и пр.), а по положению судового хода судить об относительной водности рукавов. Они издаются в среднем через каждые 10 лет и в промежутке подвергаются ежегодной корректировке изыскательскими партиями.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Образование островов в руслах рек является следствием закрепления осередков растительностью, и последующее их развитие происходит благодаря размывам оголовков, росту и зарастанию кос в ухвостьях, приращению к берегам с обеих сторон, а нередко также к оголовку, прирусловых отмелей (побочней). Со временем острова объединяются, при заполнении наносами протоков между ними, сохраняющимися в рельефе островов в виде ложбин. Таков наиболее распространенный процесс формирования разветвленных на рукава русел равнинных рек (Маккавеев, 1955; Попов, 1965; Чалов, 1979, 2008; Чернов, 2009; Голубцов, 2022). Однако формы проявления оказываются неодинаковыми в зависимости от активности русловых процессов в различных частях (зонах) русла. Применительно к грядовому движению наносов Н. И. Алексеевский (1998) ввел понятие активной ширины русла $b_{ак}$, показав, что на реках с неразветвленным руслом $b_{ак} = 0.8b_m$, (здесь b_m — ширина

русла в бровках пойменных берегов). С точки зрения русловых процессов активной шириной (зоной) русла следует считать ту его часть, где происходит не только активное грядовое движение наносов, но и проявляются практически все виды русловых деформаций: размывы дна и берегов, образование аккумулятивных форм рельефа русла и постоянные изменения его морфологии и конфигурации под воздействием потока. Части русла, в которых происходят только его направленное обмеление, аккумуляция наносов, затухание русловых деформаций и массовое зарастание аккумулятивных форм, составляют периферическую зону. Ее ширина, расположение и протяженность зависят от конкретных местных условий, форм русла, общей его ширины и соотношения с глубиной, определяющей распластанность потока, и т.д. — от узкой прибрежной полосы вдоль выпуклого берега на излучинах или относительно устойчивом прямолинейном неразветвленном русле ($<0.2b_m$, по Н.И. Алексеевскому) до $>0.5b_m$ на больших и крупнейших реках с неустойчивым или слабоустойчивым сложноразветвленным руслом (средняя и нижняя Лена, Обь, Сев. Двина, Мезень).

Согласно И.Ф. Карасеву (1975), разделение русла на рукава происходит при превышении критических значений критерия квазиоднородности потока:

$$\Theta = \frac{b_p}{h} \sqrt{\lambda} \geq 9.5,$$

где b_p и h — ширина и глубина русла, $\lambda = \frac{2g}{C^2}$ — коэффициент гидравлических сопротивлений, C — коэффициент Шези, зависящий от шероховатости русла. В этом случае поток разделяется на две и более ветвей течения (динамических осей), между которыми создается зона относительного замедления скоростей, происходит местное накопление наносов, и формируется осередок. Чем больше река (Великанов, 1958) и, соответственно, больше соотношение b_p к h (Ржаницын, 1985), тем вероятнее формирования разветвлений русел, хотя острова могут возникать на реках любых размеров и водоносности, определяясь слабой устойчивостью или неустойчивостью русел: чем менее устойчиво русло, и соответственно интенсивнее русловые деформации, тем больше b_p и меньше глубина h (Маккавеев, 1971). Это могут быть участки большой протяженности или местные расширения русла, сопровождающиеся уменьшением глубины. Такие колебания b_p/h при образовании местных расширений русла возникают на реках и в рукавах самих разветвлений, например, ниже выступов и мысов коренных берегов, оказывающих на поток направляющее воздействие при из-

менении водности рукавов и, как следствие, его параметров, в водоворотных зонах при сливе вод с затопленной поймы или выходе воды в половодье на пойму, в условиях подпора потока перед крутым изгибом русла у коренного берега, при слиянии с притоком или перед регулярно возникающими ледовыми заторами. В широком, но неглубоком русле при раздвоении динамической оси потока формирование осередка, превращающегося в остров, вызывает изгиб потока и направление его осей под углом к берегам. Это в свою очередь приводит к их размыву и образованию местного расширения русла, причем сумма ширин левого b_l и правого b_p рукавов больше, чем ширина русла b_r выше по течению: $b_p < \Sigma(b_l + b_p)$. Таким образом расширения русла (как и широкое распластанное русло в целом) могут быть причиной раздвоения потока и формирования островов, но в русле с изначально большим соотношением b_p/h раздвоение потока и образование между его динамическими осями острова являются причиной местного расширения русла и соответственно дальнейшей эволюции острова.

Подобные гидравлические условия характерны для активных частей русла, и осередки, а затем и острова появляются посередине реки, разделяя ее на рукава (в рукавах, в свою очередь, возникают разветвления 2-го и даже 3-го порядков (Чалов, 2009)), вызывая рассредоточение стока при руслоформирующих расходах воды в соотношениях $1 \div 1 - 1 \div 10$, и характеризуются в ходе русловых деформаций периодическим перераспределением стока между рукавами.

Формирующиеся в активной зоне русла на основе осередков острова обуславливают развитие в потоке новой гидравлической структуры, присущей разветвлению русла, вызванной рассредоточением стока во все фазы водного режима, создавая условия подпора перед ними выше по течению и извилистость потока, огибающего остров, который для каждого рукава представляет шпору его излучины с соответствующим ей полем скоростей (Маккавеев, 1971; Чалов, 2011). При этом минимум гидравлических сопротивлений движению потока (Baker, 1977; Komar, 1983) оказывают острова с соотношением морфометрических параметров длины — L_o и ширины — $B_o \approx 3-4$, что определяет преобладание таких островов в активной зоне русла. Нарушение этого соотношения приводит к удлинению островов ($L_o/B_o > 3-4$, возрастает сопротивление по длине) или их расширению, приобретению формы, близкой к овальной или сегментной (при соотношении $L_o/B_o < 3-4$, возрастает сопротивление формы). Это сопровождается обмелением одного из рукавов, перераспреде-

нием стока между рукавами и, в конечном счете, переформированиями всего разветвления. В первом случае при удлинении острова в рукавах образуются излучины или вторичные разветвления, параметры которых соответствуют водности рукавов. Развитие одной из излучин рукава, вогнутый берег которой представлен островом, приводит к его размыву в центральной части, уменьшению ширины острова, превращающегося здесь в узкую перемычку (перешеек) между рукавами и, в итоге, к образованию прорана между рукавами и расчленению острова (рис. 1).

Если в рукаве (при его большой ширине и малой глубине) образуется остров, то преимущественное развитие получает протока между ним и основным удлиненным островом, обуславливая также его размыв в центральной части. При воздействии потока на остров со стороны обоих

рукавов происходит встречный размыв, и расчленение острова оказывается подобным спрямлению петлеобразной излучины. Если во вторичном разветвлении основной по водности является протока, формирующая излучину с вогнутостью у береговой поймы, протока между островами мелеет, и со временем остров в рукаве приключается к основному острову, увеличивая размеры и усложняя его форму, делая ее изометричной.

Само удлинение островов, формирующихся посередине русла, происходит при одновременном трансгрессивном (развитие и зарастание кос в устье) и регрессивном (образование отмелей перед оголовком острова) смещении островов, в результате чего они приобретают веретенообразную форму. Причиной этого является отрицательный баланс наносов на участке реки, при котором транспортирующая способность потока меньше стока наносов — $W_{тр} < W_{R+G}$ (индексы R и G — влекомые и взвешенные наносы соответственно), и при возникновении подпора перед оголовком острова в зоне его распространения происходит аккумуляция наносов. Поэтому регрессивное смещение островов рассматривается как морфологический признак направленной аккумуляции наносов на реке (Маккавеев, 1948; Чалов, 2008). В противном случае (положительный баланс наносов — $W_{тр} > W_{R+G}$) влияние подпора нейтрализуется циркуляционными течениями и скоростным полем потока, возникающими у оголовка острова, обуславливающими перенос поступающих сюда руслообразующих наносов в сторону от оголовка острова, и стимулирует его размыв. Соответственно, трансгрессивное смещение островов в активной части русла посередине реки — морфологический признак направленного врезания реки. В устьях островов всегда возникает устойчивая зона аккумуляции наносов, и лишь при направлении стрежня потока из рукава под влиянием выбоины в его береговой линии в нижнюю часть острова устье может размываться. Однако это явление, как правило, временное, и в ходе дальнейших деформаций восстанавливаются условия аккумуляции и развития косы в устье острова.

Удлиненные острова, у которых соотношение $L_o/B_o \gg 3-4$, протяженностью иногда до первых десятков километров при ширине не более 0.5–1 км (на средней Лене и Амуре, меньших размеров — на среднем Иртыше выше г. Омска, нижней Сухоне), встречаются во врезанном или адаптированном русле, где они формируют параллельно-рукавные разветвления. В этих случаях удлиненность островов связана с объединением цепочки одиночных островов, вытянутых вдоль реки, причем на Лене и Сухоне некоторые

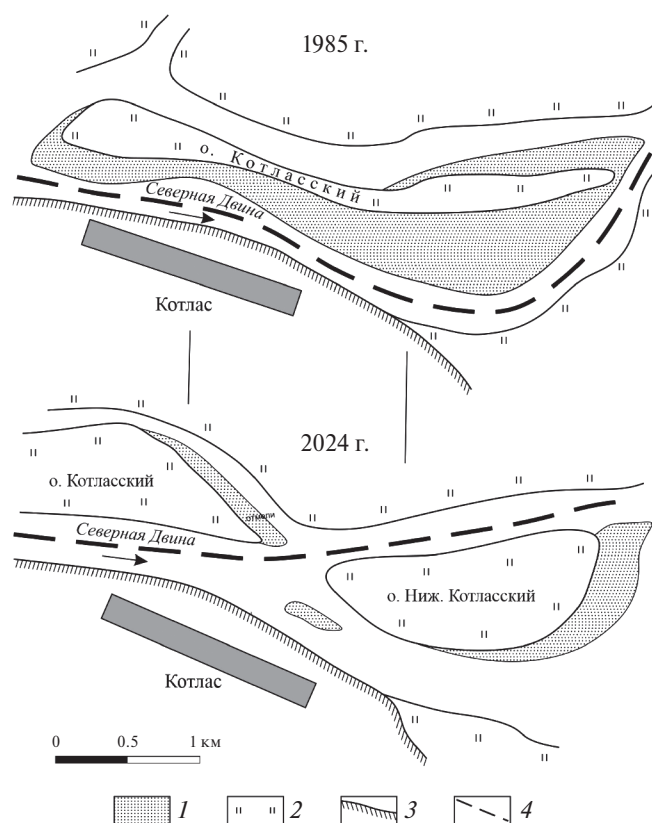


Рис. 1. Размыв центральной части удлиненного ($L_o/B_o > 3-4$) острова при постепенном развитии излучины одного из рукавов разветвления (р. Сев. Двина в районе г. Котласа).

1 — прирусловые отмели; 2 — пойма; 3 — коренной незатапливаемый берег; 4 — динамическая ось потока.

Fig. 1. Erosion of the central part of an elongated ($L_o/B_o > 3-4$) island with gradual development of a bend in one of the branches of the branch (the Northern Dvina River near the city of Kotlas).

1 — riverbed shallows; 2 — floodplain; 3 — native non-flooded bank; 4 — dynamic axis of the flow.

из объединившихся островов имеют коренной (скальный) цоколь. Такие же, но очень высокие (до 60 м над меженным уровнем) удлиненные цепочки островов посередине реки, разделенные поперечными межостровными сравнительно маловодными протоками, образующими врезанное параллельно-рукавное русло, существовали на р. Ангаре (до заполнения Братского, Усть-Илимского и Богучанского водохранилищ): по-видимому, их объединение было невозможно из-за малого стока руслообразующих наносов, абсолютного преобладания скального ложа и скульптурного и скульптурно-аккумулятивного генезиса самих островов (Чалов, С. Чалов, 2009).

На средней Лене — это очень древние острова, покрытые таежной растительностью (рис. 2а), на Иртыше они образовались за последние 50–60 лет (рис. 2б), сначала превратившись из цепочки осередков в цепочку островов, а затем образовав последовательно расположенные на реке сильно удлиненные острова — Тамбовские—Молоканские. Сам процесс формирования таких удлиненных островов во врезанном русле — следствие направленного врезания (средняя Лена) реки и устойчивости русла в целом. При этом практически все русло представляет собой зону активного руслоформирования, и постоянное накопление наносов происходит только вдоль островов и в межостровных протоках. Но во всех случаях критерий $\Theta \gg 9.5$, и врезание реки осуществляется рукавами, что приводит к появлению у островов коренного цоколя. Наличие последнего, и преим-

ущественно скальная основа русла делают острова и разветвления очень стабильными, и русловые деформации ограничиваются смещением гряд в руслах рукавов (на Лене — в левом, в котором коренное ложе перекрыто слоем песчаных наносов; в правом рукаве с галечно-валунными наносами, образующими дефицитные гряды на скальном основании, они очень замедленны) и периодической активизацией проток между следующими цепочкой островами.

На среднем Иртыше еще в середине XX в. русло было представлено осередковыми и одиночными островными разветвлениями. Возведение в казахстанской части реки трех гидроузлов, регулирующих сток и прерывающих сток руслообразующих наносов, способствовали активизации врезания реки (хотя глубинная эрозия в нижнем бьефе до российской части еще не дошла) из-за возникшего дефицита наносов; вместе с тем, существенное понижение уровней во время половодья (пойма перестала затопливаться) привело к быстрому зарастанию осередков. Одновременно на всем участке от госграницы до г. Омска начались массовые разработки карьеров строительных материалов (ПГС), приведшие к понижению отметок дна русла (аналог врезания) и усилению самих процессов врезания (Дегтярев, 1968; Беркович, 2005). В результате произошло формирование параллельно-рукавных разветвлений, связанных с объединением островов, вытянутых цепочкой из-за заполнения наносами проток между ними, и образованию удлиненных островов, у которых



Рис. 2. Космические снимки удлиненных ($L_0/B_0 \gg 3-4$) островов, формирующих активную часть врезанного ((а) — средняя Лена выше г. Покровска) и адаптированного ((б) — средний Иртыш выше г. Омска) параллельно-рукавного русла. Пунктирной линией показаны динамические оси потока.

Fig. 2. Space images of elongated ($L_0/B_0 \gg 3-4$) islands forming the active part of the incised ((a) — middle Lena above Pokrovsk) and adapted ((b) — middle Irtysh above Omsk) parallel-branch channel. The dotted line shows the dynamic axes of the flow.

соотношение $L_0/B_0 \gg 3-4$. По существу, в условиях искусственно созданного дефицита наносов поперечные протоки между островами оказались единственным местом в русле, где возможно накопление наносов в связи с возникающим здесь относительным тиховодом.

На реках с широким распластанным руслом, обычно слабо- или неустойчивым, с разветвлениями любого морфодинамического типа и в условиях свободного развития русловых деформаций (таковы верхняя Обь, частично средняя и нижняя Лена) активная зона русла существенно сужается, иногда до 0.5 и менее суммарной (в пойменных бровках, вместе с островами) ширины русла. Остальная часть русла представлена одно- или двусторонними чередующимися разветвлениями, образованными группами или целыми архипелагами островов, создающих прибрежные разветвления ниже изгибов долины реки в целом, выступов и мысов коренных берегов, где создаются периферические области замедления течения и преимущественной аккумуляции наносов. Такие же зоны возникают между рукавами раздвоенных русел (нижняя Обь, на которой пойменное межуравье между левым рукавом (Малая Обь) и правым (Горная—Большая Обь) имеет ширину почти до 60 км, будучи расчлененной многочисленными пойменными протоками) и параллельно-рукавных разветвлений (нижняя Лена, где суммарная ширина русла ниже устья Вилюя достигает максимум 28 км, а между двумя основными левым и правым рукавами находятся архипелаги островов самых различных размеров и форм). В активной зоне русла, соответствующей основным по водности рукавам, происходит развитие одиночных, сопряженных, параллельно-рукавных и других разветвлений. В этих главных рукавах сосредоточено до 60–90% стока реки, тогда как остальные 10–40% распределяются по второстепенным протокам между прибрежными островами или архипелагами островов и пойменными протоками между рукавами пойменно-русловых разветвлений или раздвоенного русла. Аккумуляция наносов в этих периферических зонах русла связана с различными гидравлическими условиями в зависимости от относительной прямолинейности (общей формы в пойменных бровках) или извилистости основного рукава (главного русла). В первом случае (односторонние разветвления) во время половодья в сторону затопленной поймы устанавливается поперечный уклон водной поверхности, по направлению которого отклоняются донные струи потока, переносящие сюда наносы. Во втором случае (разветвленно-извилистое русло и чередующиеся односторонние разветвления) развиваются цир-

куляционные течения и формируется скоростное поле потока, свойственное излучинам русла и обеспечивающее перемещение наносов, замедление течения и накопление транзитных наносов возле островов, образующих шпору излучины. То же происходит ниже изгибов долины и выступов коренных берегов и при направленном смещении реки в сторону одного из берегов, тогда как возле противоположного берега возникает зона аккумуляции наносов. Соответственно здесь наблюдается рост островов, обмеление и отмирание протоков между ними, их объединение, и формирование крупных островных массивов. В третьем случае такие условия возникают в пределах межуравий раздвоенных русел или среди островов посередине реки между основными рукавами параллельно-рукавных разветвлений.

Обширные периферические зоны на реках с разветвленным слабоустойчивым руслом возникают в процессе их переформирования, приводящих к направленному смещению реки, а также в результате трансформации морфодинамического типа русла при увеличении стока воды и в ходе гидроклиматических изменений. Так на средней Лене отмечен существенный рост стока воды и наносов (Магрицкий, 2015), обусловивший смену сопряженных разветвлений в первой половине XX в. параллельно-рукавными и односторонними чередующимися. В первом случае бывшие острова, разделяющие рукава в одном из звеньев (у г. Якутска), превратились в прибрежные. Большая часть расхода воды (до 80–90%) сосредоточилась в правом Бестяхском рукаве вдоль коренного берега, где при большой его ширине (до 2 км) сформировались две ветви течения с небольшими островами и осередками между ними (Чалов и др., 2019). Заполнение наносами ранее бывшего одним из основных рукавов — Городской протоки — сопровождалось их ростом с оголовка, в ухвостье и с обоих берегов, приведшее к превращению их в крупные островные массивы. На верхней Оби трансформация русла ниже слияния Бии и Катунь обусловлена продолжающимся выносом из горной части бассейна большого количества наносов и в условиях направленного медленного врезания реки распространяется вниз по течению (Беркович, Гаррисон и др., 1990). В первую очередь произошло последовательное обмеление правых рукавов Усть-Ануйских разветвлений, водность которых еще в 1960-е гг. составляла около 20%, а к 2000-м гг. сократилась до 5–7%, и смещение расходов воды в систему левых рукавов, составивших новое звено параллельно-рукавных разветвлений (рис. 3). Соответственно, в условиях заполнения наносами отмирающих рукавов

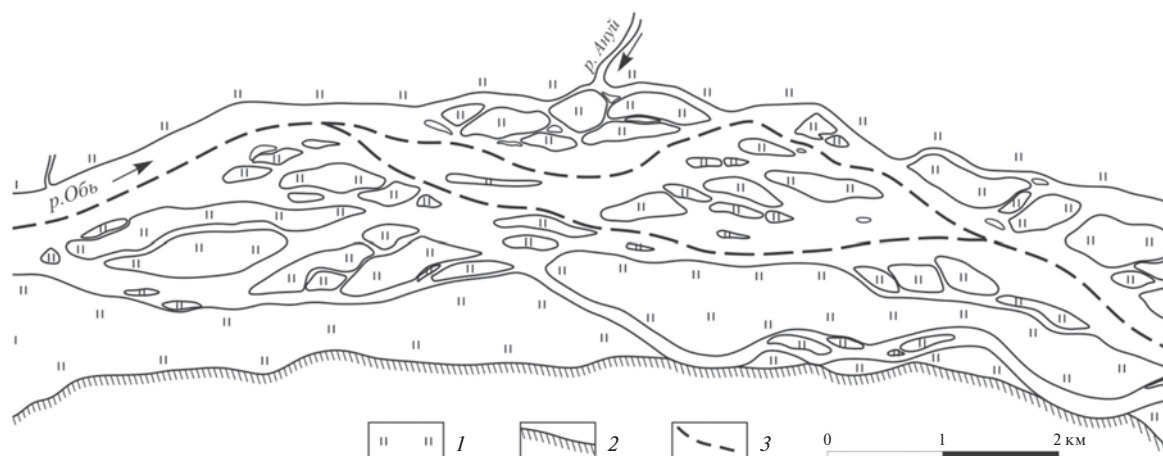


Рис. 3. Усть-Ануйское разветвление верхней Оби, характеризующееся постепенным смещением расходов воды в систему левых рукавов, составивших новое звено параллельно-рукавных разветвлений.

1 — пойма; 2 — коренной незатопляемый берег; 3 — динамическая ось потока.

Fig. 3. Ust-Anuy branching of the upper Ob, characterized by a gradual shift in water flow into the system of left branches, which formed a new link of parallel-branching branches.

1 — floodplain; 2 — native non-flooded bank; 3 — dynamic axis of flow.

происходит рост островов со всех сторон, их объединение и превращение в крупные островные массивы, а иногда и причленение к правому берегу. Аналогичные преобразования русла, его рукавов и островов произошли уже к концу XX — началу XXI в. почти по всей длине широтного участка от слияния Бии и Катунь до устья Чарыша.

Верхняя Обь и Лена — реки врезающиеся (Маккавеев, Чалов, 1964; Борсук, Чалов, 1973), и в активной части их русел формируются острова, размывающиеся с оголовка, т.е. происходит их трансгрессивное смещение. В периферических же зонах русла, наоборот, наблюдаются обмеление рукавов, переформирования островов, их регрессивный рост, отражая местное (для части реки в поперечном сечении) распределение зон размыва и аккумуляции наносов.

При любом морфодинамическом типе и различном соотношении $W_{тр} \sim W_{R+G}$, положительном или отрицательном балансе наносов имеются местные зоны размыва русла, его активных деформаций, формирования аккумулятивных форм руслового рельефа или его обмеления и постоянного накопления наносов. Поэтому трансгрессивное или регрессивное смещение островов, механизм и условия развития которых впервые были обоснованы Н.И. Маккавеевым (1948) как признак направленности вертикальных русловых деформаций (врезания или направленной аккумуляции), могут рассматриваться только для активной части русла. Неучет таких проявлений русловых процессов приводит иногда (Тананаев, 2018) к ошибочным оценкам вертикальных деформаций, либо к отрицанию применимости трансгрессивного

или регрессивного смещения островов в качестве их морфологического признака. Но эти особенности образования отмелей у оголовков островов или их размыва присущи только песчаным и песчано-галечным руслам. На реках с галечным и галечно-валунным составом наносов даже при большом дефиците наносов (что характерно для врезающихся рек) в условиях подпора, возникающего перед узлом разветвления (оголовком острова), происходит накопление наносов. Острова на таких реках отличаются, как на средней Лене с врезанным руслом, стабильностью своего положения и в верхней (по течению) части начинаются с узкой галечно-валунной отмели, быстро увеличивающейся по высоте и переходящей в собственно остров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ условий формирования речных островов аккумулятивного генезиса (как следствие заращения осередков) показал, что их эволюция происходит по-разному в разных частях русла и в зависимости от его морфодинамического типа. В активной зоне русла, где сосредотачивается основной сток и происходит перемещение руслообразующих наносов, осуществляются размывы берегов и дна, развиваются и смещаются аккумулятивные формы руслового рельефа, острова в процессе своей эволюции (увеличение размеров, объединение и т.д.) либо сохраняют оптимальную конфигурацию, обеспечивающую минимум гидравлических сопротивлений движению потока ($L_0/B_0 = 3-4$), либо при ее нарушении приобрета-

ют удлинённую ($L_o/B_o > 3-4$), овальную или сегментную ($L_o/B_o < 3-4$) форму. В первом случае разветвление русла на рукава, создаваемое островами, вызывает квазиравнозначное распределение расходов воды по рукавам или их периодическое развитие и частичное обмеление, а сами рукава образуют обычно (при прочих равных условиях) пологие излучины, шпору которых составляют острова. При удлинённой форме островов в рукавах формируется 2–3 излучины или разветвления 2–3-го порядков, что приводит к усложнению формы островов или, при встречном размыве их берегов со стороны обоих рукавов, их расчленению на две части. Овальная или сегментная форма островов обеспечивает со временем обмеление наиболее изогнутого рукава, его отмирание и причленение острова к пойме.

Удлинение островов вплоть до формирования параллельно-рукавных разветвлений происходит также на больших и крупнейших реках с врезанным руслом, в котором при дефиците наносов, свойственном таким рекам, они заполняют лишь поперечные протоки между островами, вытянутыми цепочкой.

Периферические зоны русла представляют собой области местной систематической аккумуляции наносов, где доля стока от общего в реке невелика (10–40%, распределённых по системе второстепенных протоков), а скорости потока незначительны. В разветвленном русле она возникает при направленном смещении реки в сторону одного из берегов, обычно коренного, тогда как у противоположного пойменного формируются острова, отделённые от основного по водности (до 80–90% стока реки) рукава маловодными прибрежными протоками. Такие же условия возникают у выпуклых берегов излучин рек с разветвленно-извилистым руслом, в чередующихся односторонних разветвлениях, ниже изгибов долины реки или выступов коренных берегов, в прибрежных частях двусторонних разветвлений, а также в пойменных межукавьях раздвоенных русел и среди архипелагов островов посередине рек со слабо- или неустойчивыми параллельно-рукавными разветвлениями. Прибрежные разветвления нередко сопровождаются одиночными, сопряжёнными или параллельно-рукавными разветвлениями основного многоводного рукава, определяя морфодинамический тип русла в целом. При этом острова, находясь в аккумулятивной части русла, увеличиваются в размерах, нарастая с оголовка, в устье и с обеих сторон и образуя в конечном счёте большие изометричные островные массивы, приобретающие сложные очертания. Такие же островные массивы возникают по мере направ-

ленного смещения реки и превращения бывшей активной зоны русла в периферическую.

Для активных зон русла в зависимости от баланса наносов на участке реки, соотношения стока наносов с транспортирующей способностью потока и направленностью вертикальных деформаций характерно трансгрессивное смещение островов (размыв с оголовка), накопление наносов в устье и формирование у них каплевидной формы (врезание реки и $W_{тр} > W_{R+G}$) или их регрессивное смещение (накопление наносов перед оголовком) и образование веретенообразной формы (направленная аккумуляция и соотношение $W_{тр} < W_{R+G}$). В периферических зонах русел рек, где преобладает местная аккумуляция наносов, эти закономерности не соблюдаются.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по планам НИР (ГЗ) кафедры гидрологии суши (проект № 121051400038-1) и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева (проект № 121051100166-4) МГУ имени М.В. Ломоносова (исходные данные и рассредоточение стока) при финансовой поддержке РФФИ (проект № 23-17-00065 – формирование и эволюция островов, региональный анализ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И. (1998) Формирование и движение речных наносов. М.: Изд-во МГУ. 202 с.
- Беркович К.М. (2005) Русловые процессы и русловые карьеры. М.: Изд-во МГУ. 109 с.
- Беркович К.М., Гаррисон Л.М., Рулева С.Н., Чалов Р.С. (1990) Морфология русла и русловые деформации верхней Оби. В сб.: *Земельные и водные ресурсы: противозерозионная защита и регулирование русел*. М.: Изд-во МГУ. С. 95–120.
- Борсук О.А., Чалов Р.С. (1973) О врезании русла р. Лены. *Известия ВГО*. Т. 105. № 5. С. 452–456.
- Голубцов Г.Б. (2023) Формирование, морфология и динамика островов широкопойменных русел больших рек (на примере Оби и Лены). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: ИГ РАН. 29 с.
- Дегтярев В.В. (1968) Изменение гидрологического режима Иртыша. *Речной транспорт*. № 12. С. 39–40.
- Карасев И.Ф. (1975) Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат. 288 с.
- Магрицкий Д.В. (2015) Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды взвешенных наносов и теплоты нижней Лены и Вилюя. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. № 6. С. 17–30.
- Маккавеев Н.И. (1948) Регрессивные переформирования речных островов. *Метеорология и гидрология*. № 4. С. 44–50.
- Маккавеев Н.И. (1955) Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР. 347 с.

- Маккавеев Н.И. (1971) Сток и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ. 116 с.
- Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. (1964) О развитии рельефа поверхности речных террас и признаки глубинной эрозии на примере верхней Оби. *Известия АН СССР. Серия географическая*. № 4. С. 120–125.
- Попов И.В. (1965) Деформация речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат. 328 с.
- Ржаницын Н.А. (1985) Руслоформирующие процессы рек. Л.: Гидрометеиздат. 264 с.
- Тананаев Н.И. (2018) О современной динамике продольного профиля среднего течения р. Лены. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. № 5. С. 46–54.
<https://doi.org/10.1134/S258755661805014X>
- Чалов Р.С. (1979) Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ. 232 с.
- Чалов Р.С. (2008) Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ. 608 с.
- Чалов Р.С., Чалов С.Р. (2009) Морфология скального русла реки Ангара на участках Богучанского и Мотыгинского водохранилищ. *География и природные ресурсы*. № 1. С. 103–110.
- Чернов А.В. (2009) География и геоэкологическое состояние речных русел и пойм рек северной Евразии. М.: Крона. 684 с.
- Baker V.R. (1977) Stream-channel response to floods with examples from central Texas. *GSA Bulletin*. Vol. 88. No. 8. P. 1057–1071.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1977\)88<1057:SRTFWE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1977)88<1057:SRTFWE>2.0.CO;2)
- Knighton D. (1998) Fluvial forms and processes. London: Arnold (Publ.). 383 p.
- Komar P.D. (1983) Shape of streamlined island on Earth and Mars: Experiments and analyses of the minimum-drag form. *Geology*. Vol. 11. No. 11. P. 651–654.
[https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1983\)11<651:SOSIOE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1983)11<651:SOSIOE>2.0.CO;2)
- Miall J.D. (1977) A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Sci. Rev.* Vol. 13. Iss. 1. P. 1–62.
[https://doi.org/10.1016/0012-8252\(77\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0012-8252(77)90055-1)
- Rosgen D.L. (1994) A classification of natural rivers. *Catena*. Vol. 22. Iss. 3. P. 169–199.
[https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90001-9)
- Schumm S.A. (1977) The fluvial system. New York: Wiley (Publ.). 338 p.
- Yang S.T. (1971) Potential energy and stream morphology. *Water Resources*. Vol. 7. No. 2. P. 311–322.
<https://doi.org/10.1029/WR007i002p00311>

CONDITIONS OF FORMATION AND MORPHOLOGY OF ISLANDS IN THE ACTIVE AND PERIPHERAL ZONES OF THE CHANNELS OF LARGE PLAIN RIVERS

R. S. Chalov^{a,#} and G. B. Golubtsov^{a,##}

^a Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

[#] E-mail: rschalov@mail.ru

^{##} E-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru

Islands, as the main elements of branched river channels, are well studied in terms of their formation and further development. For channels with wide floodplain, the main schemes of their formation and subsequent reshaping (transgressive, regressive) are proposed under conditions of multidirectional vertical and free development of horizontal channel deformations. However, the variety of branching types, their complex configuration and, often significant width of large lowland rivers causes uneven distribution of flow velocities and the occurrence of active and peripheral channel zones. The article provides an analysis of the conditions of formation, morphology and dynamics of islands depending on the intensity and direction of channel processes in different zones (parts) of the channel, and also shows the dependence of the island shape (length and width ratio) on their location in the channel, and, conversely, the impact of islands of different shapes on the flow structure. The location of the active and peripheral zones of the channel depending on the degree of its stability and morphodynamic type are illustrated on the examples of specific large and largest rivers. It is established that the localized zones of channel erosion or its shallowing develop in channels of any morphodynamic type, with various $W_{\text{tp}} \sim W_{R+G}$ ratios, and with positive or negative balance of sediments. Therefore, transgressive or regressive displacement of islands is considered to be a sign of the direction of vertical channel deformations (incision or directional accumulation) exclusively for the active part of the channel. In the peripheral zones of river channels, where local accumulation of sediments prevails, these patterns are not observed.

Keywords: branched channel; flow transport capacity; island reorganization; accumulation; channel morphodynamics

¹ For citation: Chalov R.S. and Golubtsov G.B. (2025) Conditions of formation and morphology of islands in the active and peripheral zones of the channels of large plain rivers. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 56. No. 3. P. 372–381 (in Russ). <https://doi.org/10.31857/S2949178925030026>

ACKNOWLEDGMENTS

The paper is prepared according to the plan of scientific research of the Department of Land Hydrology (No. 121051400038-1) and the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes (No. 12105100166-4) with financial support of the Russian Science Foundation (No. 23-17-00065).

REFERENCES

- Alekseevskii N.I. (1998) Formirovanie i dvizhenie rechnykh nanosov (Formation and movement of river sediments). Moscow: MGU (Publ.). 202 p (in Russ).
- Baker V.R. (1977) Stream-channel response to floods with examples from central Texas. *GSA Bulletin*. Vol. 88. No. 8. P. 1057–1071.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1977\)88<1057:SRTFWE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1977)88<1057:SRTFWE>2.0.CO;2)
- Berkovich K.M. (2005) Ruslovyie protsessy i ruslovyie kar'ery (Channel processes and channel quarries). Moscow: MGU (Publ.). 109 p (in Russ).
- Berkovich K.M., Garrison L.M., Ruleva S.N., Chalov R.S. (1990) Morphology of the riverbed and channel deformations of the upper Ob. In: *Zemel'nye i vodnye resursy: protivooerozionnaya zashchita i regulirovanie rusel*. Moscow: MGU (Publ.). P. 95–120 (in Russ).
- Borsuk O.A., Chalov R.S. (1973) About the incision of the Lena riverbed. *Izvestiya VGO*. Vol. 105. No. 5. P. 452–456 (in Russ).
- Chalov R.S. (1979) Geograficheskie issledovaniya ruslovykh protsessov (Geographical studies of channel processes.) Moscow: MGU (Publ.). 232 p (in Russ).
- Chalov R.S. (2008) Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 1. Ruslovyie protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel (Riverbed studies: theory, geography, practice. Vol. 1. Riverbed processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and conditions of formation of riverbeds). Moscow: LKI (Publ.). 608 p (in Russ).
- Chalov R.S., Chalov S.R. (2009) Morphology of the rocky bed of the Angara River in the areas of the Boguchanskoye and Motyinskoye reservoirs. *Geografiya i prirodnye resursy*. No. 1. P. 103–110 (in Russ).
- Chernov A.V. (2009) Geografiya i geoekologicheskoe sostoyanie rechnykh rusel i poim rek severnoi Evrazii (Geography and geoecological state of river channels and floodplains of the rivers of northern Eurasia). Moscow: Krona (Publ.). 684 p (in Russ).
- Degtyarev V.V. (1968) Changes in the hydrological regime of the Irtysh. *Rechnoi transport*. No. 12. P. 39–40 (in Russ).
- Golubtsov G.B. (2023) Formirovanie, morfologiya i dinamika ostrovov shirokopoiemnykh rusel bol'shikh rek (na primere Obi i Leny) (Formation, morphology and dynamics of islands in wide floodplain channels of large rivers (using the Ob and Lena as examples)). PhD thesis. Moscow: IG RAS. 29 p (in Russ).
- Karasev I.F. (1975) Ruslovyie protsessy pri perebroske stoka (Channel processes during runoff transfer). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.). 288 p (in Russ).
- Knighton D. (1998) Fluvial forms and processes. London: Arnold (Publ.). 383 p.
- Komar P.D. (1983) Shape of streamlined island on Earth and Mars: Experiments and analyses of the minimum-drag form. *Geology*. Vol. 11. Iss. 11. P. 651–654.
[https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1983\)11<651:SOSIOE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1983)11<651:SOSIOE>2.0.CO;2)
- Magritskii D.V. (2015) Factors and patterns of long-term changes in the flow of suspended sediments and heat of the lower Lena and Vilyuy. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. No. 6. P. 17–30 (in Russ).
- Makkaveev N.I. (1948) Regressive reorganization of river islands. *Meteorologiya i gidrologiya*. No. 4. P. 44–50 (in Russ).
- Makkaveev N.I. (1955) Ruslo reki i eroziya v ee basseine (River bed and erosion in its basin). Moscow: AN USSR (Publ.). 347 p (in Russ).
- Makkaveev N.I. (1971) Stok i ruslovyie protsessy (Runoff and channel processes.) Moscow: MGU (Publ.). 116 p (in Russ).
- Makkaveev N.I., Chalov R.S. (1964) On the development of the relief of the surface of river terraces and signs of deep erosion using the example of the upper Ob. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya*. No. 4. P. 120–125 (in Russ).
- Miall J.D. (1977) A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Sci. Rev.* Vol. 13. Iss. 1. P. 1–62.
[https://doi.org/10.1016/0012-8252\(77\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0012-8252(77)90055-1)
- Popov I.V. (1965) Deformatsiya rechnykh rusel i gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo (Deformation of river channels and hydraulic engineering). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.). 328 p (in Russ).
- Rosgen D.L. (1994) A classification of natural rivers. *Catena*. Vol. 22. Iss. 3. P. 169–199.
[https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90001-9)
- Rzhanitsyn N.A. (1985) Rusloformiruyushchie protsessy rek (Riverbed forming processes). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.). 264 p (in Russ).
- Schumm S.A. (1977) The fluvial system. New York: Wiley (Publ.). 338 p.
- Tananaev N.I. (2018) The contemporary dynamics of the longitudinal profile of the middle Lena River. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya geograficheskaya*. No. 5. P. 46–54 (in Russ).
<https://doi.org/10.1134/S258755661805014X>
- Yang S.T. (1971) Potential energy and stream morphology. *Water Resources*. Vol. 7. No. 2. P. 311–322.
<https://doi.org/10.1029/WR007i002p00311>