

© 2015 г. Р.С. ЧАЛОВ, О.М. КИРИК

О ТРАНСГРЕССИВНОМ И РЕГРЕССИВНОМ СМЕЩЕНИИ ОСТРОВОВ И ОСТРОВНЫХ МАССИВОВ В РАЗВЕТВЛЕННЫХ ШИРОКОПОЙМЕННЫХ РУСЛАХ¹

*Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва;
makkaveev-lab@yandex.ru*

Введение. Постановка проблемы

Разветвленные русла – самый сложный по своей структуре и режиму переформирования морфодинамический тип русла. Они отличаются от других типов (меандрирующего, относительно прямолинейного, неразветвленного) большим разнообразием форм проявления, определяемых количеством островов, протоков и рукавов, положением их на реке посередине русла, в прибрежных частях, в начале или в конце крупных рукавов и их различными комбинациями; острова могут представлять собой одиночные образования на реке, располагаться цепочками вдоль реки, составлять архипелаги, в которых многочисленные небольшие острова разрезаны маловодными протоками. Попытки морфологической систематизации разветвленных русел предпринимались неоднократно как в отечественной [1–5], так и в зарубежной [6] литературе. В результате к настоящему времени создана достаточно стройная морфодинамическая классификация разветвленных русел [7], в которой формам разветвленности (многорукавности) соответствуют вполне определенные схемы переформирования, причины и факторы, определяющие периодическое или направленное развитие рукавов, условия их отмирания. На этой основе разработаны приемы и методы регулирования разветвленных русел при решении разнообразных практических задач, связанных с водотранспортным освоением рек, использованием водных ресурсов, проведением через реки коммуникаций, строительством на берегах и т. д. Для некоторых больших рек (Лены, Оби, Северной Двины) дан систематический анализ морфологии и динамики разветвлений на всем их протяжении, а рекомендации по регулированию русла успешно реализованы в первую очередь в связи с созданием на них водных путей [8–11].

Основное внимание обычно уделяется переформированиям рукавов в разветвлениях разного типа, в меньшей мере – форме и динамике островов (в этом отношении среди последних публикаций следует отметить статью А.М. Тарбеевой [12]), и почти совсем вне сферы исследований оказываются формы, механизмы и причины продольного смещения островов, хотя оно сопровождается изменениями со временем морфологического облика, темпов и направленности переформирования разветвлений, определяя методы и приемы регулирования русел. При этом еще Н.И. Маккавеев [1, 13] впервые рассмотрел структуру потока возле островов и показал, что она вызывает их размыв с оголовка и аккумуляцию наносов в ухвостье; в условиях же снижения транспортирующей способности потока или избыточном по отношению к ней поступлении в поток наносов острова смещаются регрессивно, т. е. перед ними происходит накопление наносов и образование отмели, которая со временем, закрепляясь растительностью, превращается в пойму. Последнее дало основание рассматривать регрессивное смещение островов как признак направленной аккумуляции наносов на реке [14]. Однако представления о продольных (трансгрессивном, регрессивном) перемещениях речных

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-05-00348) и по программе Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект НШ-1010.2014.15).

островов на разных реках и тем более со сложными разветвлениями дальнейшего развития не получили. Поэтому задача настоящей статьи – заострить внимание на этой проблеме и показать на конкретных примерах важную роль, которую играет смещение островов в перестроениях разветвленных русел.

Механизмы и формы смещения островов

Формирование островов связано с появлением в русле осередка – обсыхающей в межень отмели посередине реки или отделенной от берега протокой, функционирующей в маловодную фазу режима [7]. При зарастании осередок превращается в элементарный остров. Наличие растительности обуславливает принципиально иную роль вновь возникшего острова в русловом процессе по сравнению с осередком. Если осередок – обсыхающая часть гряды, представляющая собой форму транспорта наносов в половодье (паводок), то остров, даже будучи затопленным при высокой воде, вызывает благодаря растительности сопротивление движению потока, снижение над ним скорости течения, аккумуляцию на его поверхности очень мелких и тонких, взвешенных в других условиях, наносов и разделение потока во все фазы водного режима на две ветви течения, которые могут быть как равноценными по водности и режиму скоростей потока, так и различаться по этим показателям на порядок величины. В результате возле острова формируется новая структура потока, возникают присущие разделению потока скоростное поле и циркуляционные течения [15] (рис. 1А), благодаря которому происходит преобразование осередка, имеющего форму капли, направленной вниз по течению, в остров, форма которого из-за размыва острова с оголовка и аккумуляции наносов в ухвостье острова, создающей косу, приобретает вид капли, но обращенной против течения (рис. 1Б).

Не останавливаясь более подробно на объяснении механизма этих процессов, поскольку они детально рассмотрены [1, 7, 13, 15, 16], отметим лишь, что структура потока, возникающая при образовании острова, обуславливает его трансгрессивное смещение: он размывается с оголовка и растет в ухвостье, приводя к общему смещению вниз по течению связанного с ним разветвления русла. Н.И. Маккавеев [13] главную роль в этом процессе отводил циркуляционным течениям, возникающим у оголовка острова и связанных поперечными уклонами, направленными от него в сторону берегов. Очевидно, не меньшее значение имеет явление набегания потока на оголовок острова (его динамическая ось прижимается к нему) и, соответственно, угол встречи берегового уступа с его стрежнем (~90°), происходящее при этом сжатие потока и местное увеличение скоростей (так называемое “сбойное течение” [1]). Набегающие на

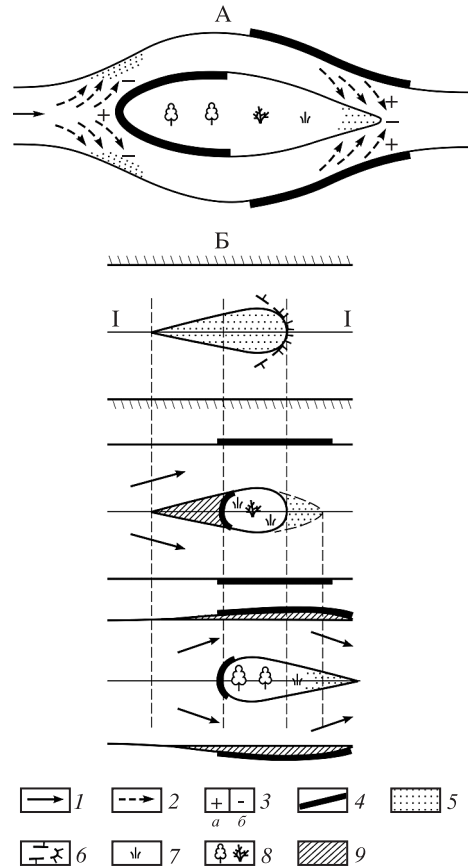


Рис. 1. Структура потока в разветвленном русле возле острова (А) и схема преобразования осередка при его зарастании в остров (Б)
 Направление: 1 – течения, 2 – донных струй потока, 3 – области повышения (а) и понижения (б) водной поверхности; зоны: 4 – ускорения течения и размывов берегов, 5 – замедления течения и аккумуляции наносов, а также обсыхающий в межень осередок; 6 – подвалье гряды (осередка); растительность: 7 – первичная на осередке и в ухвостье острова, 8 – на острове; 9 – размытие части осередка, острова и берегов

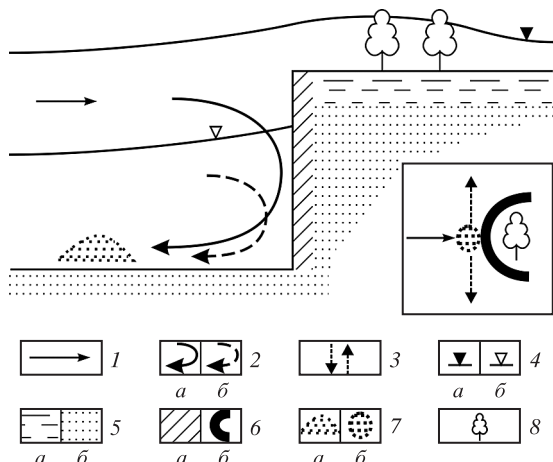


Рис. 2. Течения, возникающие у оголовка острова, и связанный с ними его размыв
 1 – течения, набегающие на оголовку под углом $\sim 90^\circ$; 2 – вихрь с горизонтальной осью при затоплении поймы (а) и в межень (б); 3 – направление донных струй; 4 – уровень водной поверхности при затопленной пойме (а) и в межень (б); 5 – аллювиальные отложения: пойменная фация – наилок (а), русловая фация (б); 6 – размываемый берег в профиле (а) и на плане (б); 7 – место выноса размытого материала на профиле (а) и на плане (б); 8 – растительность на пойме

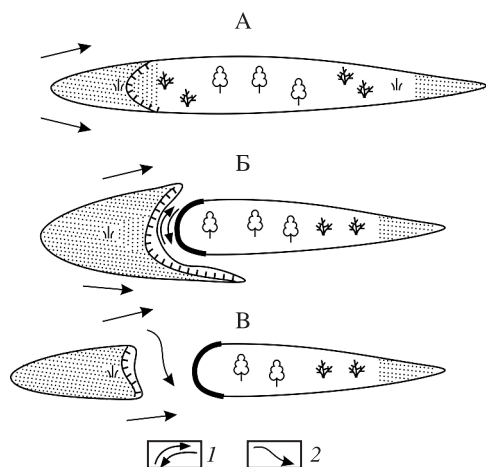


Рис. 3. Формы регрессивном смещения острова
 А – приращение к оголовку отмели; Б – образование перед оголовком отмели, отделенной от него узкой и глубокой протокой с переменным течением; В – формирование осередка, отделенного от острова широкой протокой.
 Течение в протоке: 1 – переменное, 2 – направленное

отмель фактически является осередком перед островом, но отделится от него очень узкой, несоизмеримо малой по сравнению с руслом реки и ее рукавами, протокой. Отмель при зарастании превращается в самостоятельный остров, и при повторении

оголовка верхние струи потока, погружаясь вдоль уступа берега и вызывая его размыв, образуют вихрь с горизонтальной осью (рис. 2). Насыщаясь наносами, он доставляет их в придонные горизонты, где они подхватываются циркуляционными течениями и выносятся в стороны от оголовка (рис. 1А). Эти явления (циркуляционное течение, сжатие потока, резкое увеличение скорости и образование вихря с горизонтальной осью) обуславливают наибольшую интенсивность размыва (при прочих равных условиях) оголовков островов, имеющих вид вертикальных стенок. На Северной Двине, Лене, Мезени, Печоре, Оби зафиксированы экстремальные значения отступления берегов именно в оголовках островов (до 50–60 м/год) при обычных темпах даже очень сильных размывов – до 10–15 м/год.

Столь же часто на реках встречаются острова, растущие со стороны оголовка вследствие аккумуляции наносов и образования возле него отмели. На ней перед зарастающей ее частью или островом обычно прослеживаются подвалы гряды, ее образовывавшей. Такие острова обычно приобретают вытянутую веретенообразную форму (рис. 3А). Однако нередко отмель обрывается к оголовку подвалем, опоясывающим его с обеих сторон острова (ухвостья отмели слева и справа от острова имеют вид вытянутых кос), а между ним и островом находится глубокая, узкая (от первых метров до 10–15 м) (рис. 3Б) и изогнутая в плане протока. Направление течения в ней зависит от соотношения уровней воды в рукавах, огибающих остров, и может меняться в разные фазы водного режима. Эти течения подхватывают наносы, поступающие в подвалы гряды, обуславливая стабилизацию последнего и не давая гряде надвигаться на остров. Таким образом,

процесса возникает цепочка вытянутых вверх, очень близко расположенных островов. При занесении проток наносами они сохраняются в рельефе острова в виде глубоких, с четкими бортами ложбин.

Это не исключает размыва оголовка острова и его трансгрессивного смещения. Во-первых, размыв происходит из-за течений в поперечной протоке между оголовком и подвальем отмели перед ним, так как перепад уровней между рукавами у острова может быть весьма значительным, превышающим продольный уклон свободной поверхности потока, а скорости течения в ней оказываются очень большими. Во-вторых, в половодье, когда отмель оказывается под водой и наносы активно поступают в подвалье гряды, возле оголовка острова возникают описанные выше гидравлические явления, а стеснение струй потока у оголовка усиливается наличием отмели. В результате, несмотря на формирование последней, исходный остров продолжает размываться с оголовка на фоне общего регрессивного смещения всего узла разветвления (вместе со вновь образовавшимися островами-осередками перед ним).

В некоторых случаях протока между отмелью-осередком и оголовком острова оказывается достаточно широкой и удаленной от острова на расстояние (на больших реках) до 100–200 м (рис. 3В). Формирующиеся осередки со временем образуют цепочку, вытянутую вверх от первичного острова. По одной из этих проток, чаще всего перед оголовком первичного острова, из-за разницы уровней в рукавах осуществляется перемещение большей части потока (расхода воды) от одного берега реки к другому, соответственно, из одного рукава в другой, расположенный вдоль противоположного берега; по таким протокам на судоходных реках нередко прокладывается фарватер. В работе [14] приводится пример подобного регрессивного развития цепочки островов на Оби ниже г. Новосибирска: первичный остров, существовавший с 1899 г., “нарос” сверху к 1927 г. на 250 м, к 1941 г. выше него образовался новый остров длиной 800 м, а к 1957 г. – еще один длиной около 1000 м; в 1962 г. возле оголовка последнего сформировалась отмель, морфологически аналогичная показанной на рис. 3Б. По протоке между оголовком первичного острова (1927 г.) и островом, образовавшимся к 1957 г., проходит трасса фарватера.

Как регрессивное, так и трансгрессивное смещение острова со стороны оголовка не только не исключает, а сопровождается одновременно ростом косы (или кос) в его ухвостье, вследствие чего происходит общее удлинение острова – вверх и вниз по течению.

Однако если трансгрессивное (с оголовка) смещение островов (размыв оголовка – аккумуляция наносов и развитие кос в ухвостье) достаточно четко определяются структурой потока, то регрессивное смещение в первую очередь связано с балансом наносов в узле разветвления русла. Наиболее общая модель этого процесса была разработана и обоснована Н.И. Маккавеевым [13]: “В тех... случаях, когда баланс наносов на участке русла положительный, то в зонах нисходящих течений (*см. выше о вихре с горизонтальной осью у оголовка острова.* – Р.Ч.) имеет место интенсивная аккумуляция наносов, в результате чего точка бифуркации перемещается регрессивно, т. е. вверх по течению. Положительный баланс наносов может иметь место в тех участках рек, где выклиниваются зоны подпоры потока в половодье, а также в местах, где большое количество наносов, не взвешиваемых потоком реки, приносится извне, например, ветром, притоками, дождевыми водами и т.п. В подобных участках регрессивный рост приверхов островов может наблюдаться как массовое явление” [16, с. 239]. Именно массовость явления на участках рек большой протяженности, на которых направлена аккумуляция наносов установлена по гидрологическим данным (балансу наносов, кривым связи уровней и расходов воды за многолетний период и др.), позволила считать регрессивное смещение островов на реке наиболее ярким морфологическим признаком современной направленной аккумуляции наносов [14, 15, 18, 19]. Это действительно так, если нет других причин, могущих привести к аккумуляции наносов возле островов и их регрессивному росту: например, они не находятся



Рис. 4. Размываемый оголовек острова на аккумулярующей реке (р. Мезень нижнее течение). Фото Р.С. Чалова

в периферических частях русла, в зонах подпора от сужения дна долины и самого русла, от слияния с притоком или ниже местного мощного источника поступления наносов. При отсутствии этих возможных причин острова должны располагаться посередине реки, разделяя ее на близкие по водности рукава. Следует учитывать также происходящие переформирования русла, в ходе которых оголовки острова на аккумулярующей реке может оказаться под воздействием потока и интенсивно размываться (рис. 4). То же, но в обратном соотношении, может наблюдаться на врезающейся реке, на которой встречаются острова с регрессивным смещением, т. к. оказались в зонах русла с местным отрицательным балансом наносов.

Уже в приведенном высказывании Н.И. Маккавеева по существу содержится указание на то, что регрессивный рост островов наблюдается при их расположении в зонах подпора или ниже местных источников поступления наносов. Эти факторы могут затушевывать морфологические проявления направленной аккумуляции или врезания, отражая местные особенности эрозии, транспорта и аккумуляции наносов.

Сами острова представляют собой препятствие для движения потока и вызывают подпор выше по течению и возможную аккумуляцию наносов. Для объяснения этого явления можно воспользоваться результатами исследований влияния на русловые процессы мостовых переходов, опоры которых могут рассматриваться как определенные аналоги островов [20]. Под мостовым переходом происходит стеснение потока и увеличение его скорости (аналог явлений возле оголовка острова). С этим связано обра-

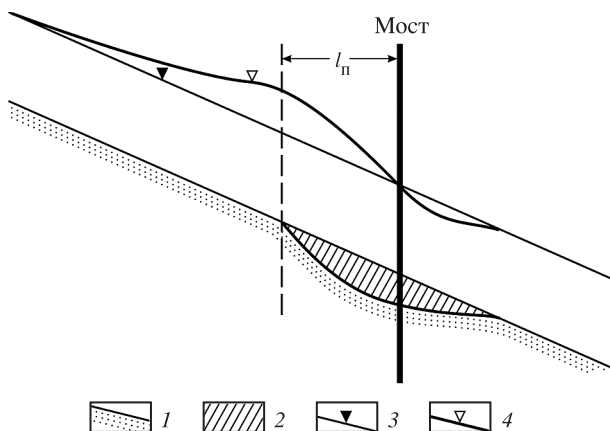


Рис. 5. Формирование зоны подпора на расстоянии l_n от мостового перехода

1 – аллювиальное дно реки; 2 – зона размыва; профиль водной поверхности: 3 – бытовой, 4 – возле мостового перехода (по [20])

зование кривой спада урвней, распространяющейся выше моста, вследствие чего створ наибольшего подпора оказывается на расстоянии l_n от моста (рис. 5). Величина подпора, по О.В. Андрееву, зависит от ширины русла, размеров подмостового пролета (аналог рукавов), уклона реки вне зоны влияния моста (острова), степени стеснения потока. В зоне подпора происходит аккумуляция наносов, образуются осередки, которые, закрепившись растительностью, превращаются в острова. Процесс формирования осередков выше моста наблюдали О.В. Андреев и И.А. Ярославцев [21] на лабораторной модели.

По Н.И. Маккавееву [1], подъем водной поверхности перед островом достигает 25–30 см и зависит от V_n – составляющей скорости, нормальной к оголовку $\Delta z = A \frac{V_n^2}{2g}$, где A – коэффициент, близкий к 1.

Очевидно, что острова вызывают стеснение потока в узле разветвления, аналогичное возникающему у опор моста. Поэтому перед оголовком острова можно ожидать размыв русла и формирование зоны подпора на некотором расстоянии от него. По-видимому, в таких условиях или близких к ним формирующаяся отмель не примыкает к оголовку острова, а образует осередок (превращающийся со временем в остров) на некотором расстоянии от него. В результате регрессивное смещение нередко оказывается характерным не для самого острова, а для узла разветвления, и выражается в появлении новых островов и удлинении всего разветвления вверх по течению.

Местные причины смещения островов

Таким образом, само возникновение острова посередине реки вследствие его взаимодействия с потоком и в зависимости от соотношения стока наносов и транспортирующей способности потока обуславливает изначально его смещение с оголовка из-за его размыва (трансгрессивное) или аккумуляции возле него наносов (регрессивное). Во всех случаях идет рост косы в устье острова и постоянное его удлинение, т. е. трансгрессивное смещение. Исключения создаются в тех случаях, когда местные деформации русла приводят к направлению потока к устью острова, и оно частично размывается. Если эти деформации носят периодический характер, то с течением времени (в зависимости от устойчивости русла) происходит то удлинение острова по устью, то его укорочение.

При массовом проявлении трансгрессивного или регрессивного смещения островов (или островных массивов, групп островов-архипелагов) посередине русла, оно свидетельствует об общем на реке положительном или отрицательном балансе наносов ($W_1 = W_2 \pm \Delta W$, где индексы 1 и 2 означают принадлежность створа к началу или к концу участка реки, $\pm \Delta W$ – невязка баланса наносов, связанная с врезанием или аккумуляцией наносов), либо соответствием/несоответствием стока наносов W транспортирующей способности потока $W_{тр}$, т.е. $W > W_{тр}$ или $W < W_{тр}$. В этом случае можно говорить о направленных вертикальных русловых деформациях и о форме смещения островов как их отражении (при отсутствии точных данных – их признаке).

Наряду с этим существует множество местных факторов, определяющих форму смещения островов и накладывающихся на фоновые общие.

Периферийные части русла почти всегда находятся в области пониженной транспортирующей способности потока. Поэтому формирующиеся здесь острова, как правило, имеют отмели возле их оголовков и удлиненную форму. Вместе с тем встречаются различные комбинации смещения островов, обусловленные деформациями их проток, сливом осветленной воды с пойменных массивов или, наоборот, оттоками воды в пределы затопленных в половодье пойм или в пойменные ответвления (протоки). Характерный пример этого дают односторонние разветвления, в которых острова группируются или вытянуты цепочкой вдоль одного из берегов реки, как правило, пойменного, тогда как противоположный – коренной, высокий, незатопляемый в половодье. Располагаясь в зоне привноса поперечными циркуляционными течениями в половодье, направленными от коренного берега в сторону затопленной поймы, острова окружены отмелями, разделяющие их и проходящие между ними и поймой протоки мелководны, в межень нередко пересыхают, а при врезании реки (или по мере общего смещения русла в сторону высокого берега) со временем отмирают.

Острова, возникающие в основных рукавах реки (в их начале – как следствие рассредоточения потока и снижения его транспортирующей способности; перед их слиянием, где причиной формирования островов является распластывание потока

при расширении русла или подпор от потока второго рукава), испытывают трансгрессивное или регрессивное смещение в зависимости: 1) от формы смещения основного узла разветвления или смещения рукавов, вместе с которыми меняют свое положение и зона растекания потока, и зона подпора; 2) от роли основных рукавов в стоке наносов: в “наносоотсасывающих” (термин Н.И. Маккавеева) рукавах острова второго порядка смещаются регрессивно, в забирающих “чистую воду” – трансгрессивно (если вообще в них существуют).

Подобные условия возникают также, если острова формируются за выступами и мысами ведущих берегов, отесняющих поток к противоположному берегу, образуют группы прибрежных островов между звеньями основных рукавов сопряженных разветвлений русла, составляют архипелаги посередине реки (на верхней Оби между слиянием Бии и Катуня [10] и устьем Чарыша, на нижней Лене ниже устья Вилюя [8]), на крупнейших реках или на больших реках с неустойчивым руслом. В последнем случае на эволюцию островов в архипелагах оказывают влияние перемещение водных масс между ними из одного основного рукава в другой по квазипоперечным протокам и возникающие при этом сложные условия взаимодействия потоков в них и между островами в разные фазы водного режима. Поэтому среди островов прибрежных, островов за выступами и мысами берегов, в архипелагах посередине реки можно встретить разнообразные сочетания трансгрессивных и регрессивных смещений, размываемые ухвостья и т.д.

Типичные условия регрессивного смещения островов (островных массивов, архипелагов) возникают в зонах подпора выше слияния с притоком (Обь выше слияния с Томью [10], Лена выше устья Алдана [8]) и перед сужениями дна долины вплоть до смены широкопойменного русла врезанным (Северная Двина между с. Черевково и с. Ягрышем [11]). Соответствующие им участки реки намного превышают длину отдельных островов, и в их пределах могут встречаться острова с различными соотношениями размывов оголовков и аккумуляции возле них наносов (образования отмелей), удлинения и размыва ухвостьев в зависимости от особенностей горизонтальных русловых деформаций, местных гидродинамических обстановок в узлах разветвлений, соотношений в них стока наносов и транспортирующей способности потока. Имеет значение также смещение вдоль реки побочной и осередков, последовательно надвигающихся на узел разветвления и отторгающихся от оголовка острова, вследствие чего он то предохраняется от размыва отмелью, то становится открытым воздействию потока и размывается.

Условия для регрессивного роста островов или формирования возле их оголовков отмелей, препятствующих их размыву, свойственны местным расширениям русла, где транспортирующая способность потока снижается из-за расплывания потока, рассредоточения его по рукавам и соответствующего снижения удельного (отнесенного к единице ширины русла) руслоформирующего расхода воды.

Наконец, местные источники поступления наносов, вызывая “перегрузку” потока, способствуют достаточно яркому проявлению регрессивного смещения островов. В этом отношении весьма показателен пример Северной Двины на участке с. Черевково – с. Ягрыш [11]. Здесь, у с. Ягрыш, заканчивается огромное пойменное расширение долины, начавшееся еще при слиянии с Выгедой. В конце XVIII в. перед сужением дна долины существовало два острова. В 40–45 км выше по течению река описывала пологую излучину, находящуюся в начальной стадии своего развития; вогнутый берег этой излучины был представлен узким массивом поймы (рис. 6). К концу XIX в. пойма была размывта, и в привершинной части излучины стали интенсивно размываться уступы 50-метровой песчаной террасы – Толоконной горы; степень развитости излучины (соотношение ее длины l и шага L) уже к концу XX в. достигла $l/L \sim 1.6$, т. е. значений, при которых деформации русла, в т. ч. размывы берегов, происходят наиболее активно [7, 22]. Скорости отступления Толоконной горы достигли 15–20 м/год. При длине фронта размыва около 3 км и максимальной глубине плесовой ложины

почти 20 м с 1881 по 1940 г. этот берег отступил на 400 м, т.е. скорость размыва его была в среднем за этот отрезок времени около 7 м/год, т.е. в два раза меньше современной. Начавшееся около 150 л. н. повышенное поступление в реку наносов привело к быстрому регрессивному развитию на участке длиной более 20 км цепочки вытянутых вдоль реки островов разных размеров, образовавших параллельно-рукавное разветвление.

Приведенный пример относится к экстраординарному случаю мощного поступления в русло наносов. Спецификой его является наложение местного поступления наносов на фактор подпора от сужения долины (ширина поймы сокращается с 4–6 км у с. Черевково до первых сотен метров) и ее отсутствия ниже с. Ягрыша. Аналогичное явление было описано А.Б. Клавеном [23] на р. Зее, где начавшийся в XIX в. размыв сложенных песком Белых гор привел к смене типа русла – меандрирующего разветвленным. Обычно же ниже участков, где вследствие размыва берега в реку поступает повышенное количество наносов, находящиеся здесь острова имеют отмели, примыкающие к оголовкам и растущие вверх, против течения.

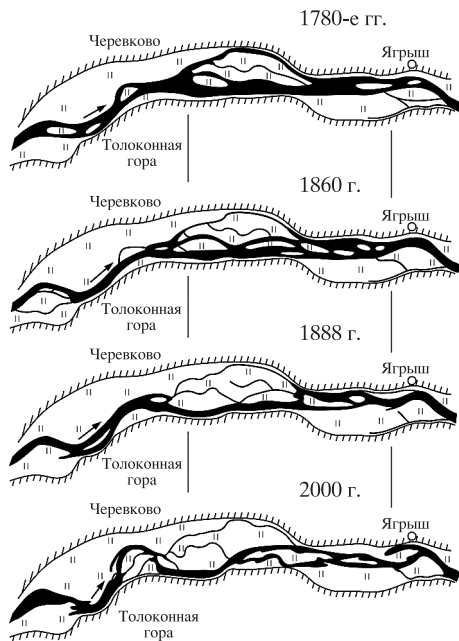


Рис. 6. Регрессивное развитие островов, образующих параллельно-рукавное разветвление на участке Северной Двины с. Черевково – с. Ягрыш

Пределы смещения островов и их стабилизация

Ключ к ответу на поставленный в названии рубрики вопрос дает все тот же участок параллельно-рукавного разветвления на Северной Двине перед сужением дна долины у с. Ягрыш. Его формирование, благодаря образованию все новых островов выше ранее существовавших перед створом сужения, завершилось к 50-м гг. XX в. После этого здесь происходят местные переформирования возле каждого острова, смещение вдоль рукавов крупных побочней и осередков, перераспределение расходов воды между рукавами по протокам, разделяющим острова из-за перекосов водной поверхности и повышения отметок дна, устраняемого с помощью интенсивного землечерпания (это – самый сложный для судоходства участок на Северной Двине). Пределом регрессивного смещения цепочки островов явились смежные излучины русла, одна из которых – возле Толоконной горы. Характеризуясь свойственной извилистому руслу структурой потока, ростом кривизны и, как следствие, удельной мощностью потока, излучины обеспечивают вынос дополнительного количества наносов – продуктов размыва вниз и вместе с тем являются препятствием для дальнейшего регрессивного смещения области их аккумуляции к источнику их поступления.

Таким образом, смещение островов как регрессивное, так и трансгрессивное, ограничивается изменением типа русла – излучинами, прямолинейным неразветвленным, проходящим вдоль высокого коренного берега, либо сменой широкопойменного русла врезанным, где во много раз возрастают удельные руслоформирующие расходы воды из-за отсутствия поймы при общем сужении самого русла.

В местных расширениях русла острова стабилизируются, когда их оголовки с примыкающей к нему отмелью и коса в устье достигают места разделения потока на две ветви или их соединение. В узле разделения потока этому способствуют циркуляционные течения и образование отмелей у противоположных берегов. Сложнее

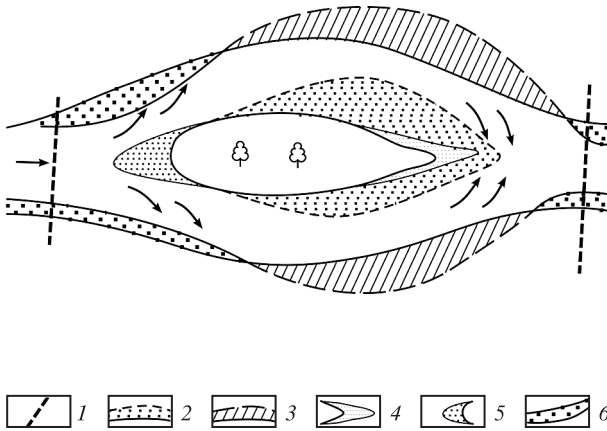


Рис. 7. Развитие острова, определяющее его плановую стабилизацию (прекращение трансгрессивного и регрессивного смещения)

1 – граничные створы смещения острова; 2 – побочни, примыкающие к его берегам; 3 – размывы противоположных острову берегов; 4 – первичная коса в ухвостье острова; 5 – отмель у оголовка острова; 6 – отмель, функционирующая у берегов напротив оголовка острова

тров, ограничиваясь, как правило, первыми метрами в год. Это приводит к стеснению потока и росту его транспортирующей способности, что сопровождается в обратной связи прекращением аккумуляции наносов в ухвостье острова.

Во-вторых, возле островов обычно происходит местное расширение русла (сумма ширины правого b_p и левого b_l рукавов больше, чем ширина неразветвленного русла реки b_p выше по течению – $b_p < b_p + b_l$, особенно с учетом ширины острова B_o , $b_p \ll b_p + B_o + b_l$), и в рукавах (или в одном из них) развиваются излучины. При этом возле острова в рукаве формируется отмель (побочень), переходящая в косу в его ухвостье

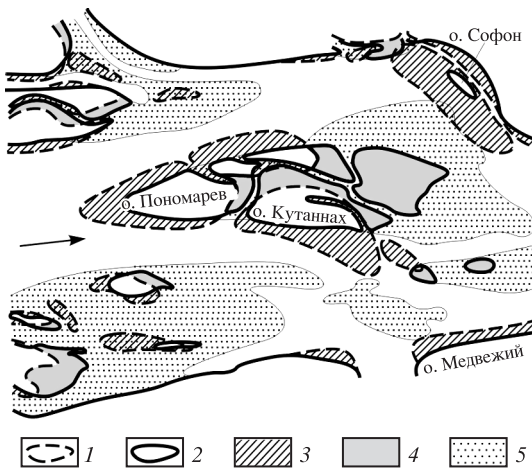


Рис. 8. Трансгрессивное смещение о-ва Пономарева на р. Лене у г. Якутска и его стабилизация по ухвостью
Береговая линия: 1 – в 1972 г., 2 – в 2009 г.; 3 – различные участки береговой поймы и островов; 4 – пойма, сформировавшаяся в 1973–2009 гг.; 5 – обсохшие в мезень отмели (2009 г.)

с объяснением прекращения продольного смещения ухвостья острова, т. к. структура потока всегда способствует размыву противоположных берегов. По-видимому, причин стабилизации ухвостья острова может быть несколько.

Во-первых, скорость образования аккумулятивных образований, в том числе в ухвостьях островов, всегда на порядок больше, чем размыва берегов [19]. При прочих равных условиях (водность, устойчивость русла, состав и сток наносов, литология берегов и т. д.) при смещении побочней, осередков, кос на десятки–первые сотни метров в год даже наибольшие размывы песчаных берегов не превышают первых десятков метров

формируется отмель (побочень), переходящая в косу в его ухвостье (рис. 7). Искривление излучин рукавов приводит к тому, что место их слияния становится аналогом перегиба русла между смежными излучинами, где продольное их смещение или замедленно, или прекращается [2, 7]. В определенной мере этому способствует стеснение потока из-за различий в темпах роста косы в ухвостье и размыва берега. Если этого не происходит, трансгрессивное смещение острова продолжается. Однако следствием его может быть перераспределение расходов воды между рукавами, обмеление одного из них и развитие другого. Так, на р. Лене в районе г. Якутска оголовок о-ва Пономарева размывается со скоростью 10–15 м/год и за период с начала 70-х гг. XX в. отступил почти на 500 м; одновременно в ухвостье о-ва Хатыстах выше по течению смещаются

отмели и косы, перекрывающие заход в левый рукав – Адамовскую протоку. В результате большая часть расхода воды перемещается в правый рукав – Буорыларскую протоку [24]. Правда, это не приводит к стабилизации оголовка, равно как и ухвостья о-ва Пономарева, хотя его смещение более интенсивно (до 100 м/год), чем размывы левого берега. Это уже привело к искривлению стрежня потока, выходящего из левого рукава, – Адамовской протоки, направления его на ухвостье о-ва Пономарева и сокращения темпов смещения последнего вниз по течению (рис. 8). Очевидно, что искривление русла Адамовской протоки и изменение типа русла ниже по течению (здесь развиты чередующиеся разветвления – определенный аналог излучин, шпору которых составляет несколько островов с маловодными протоками между ними) станет причиной стабилизации ухвостья островов.

В-третьих, стабилизирующее влияние на смещение островов оказывают трудноразмываемые или неразмываемые берега как выше, так и ниже острова (или смещающихся островов). Таково, например, неизменное на протяжении столетий постоянство островов в Кыллахском разветвлении на Лене (рис. 9); выше г. Якутска

трансгрессивное смещение островов в разветвлении “разбой Рассолода” по ухвостью ограничивается сужением русла и дна долины Табагинским утесом, в то время как размывы оголовков верхних в разветвлении островов (скорость трансгрессивного отступания – до 30–40 м/год) сохраняются неизменными, что приводит к общему постепенному сокращению длины островного массива и всего разветвленного участка русла. То же наблюдается в районе г. Якутска, где оголовок островного массива Харыйалах–Хатыстах интенсивно размывается (9–10 м/год), а отмель в его ухвостье наводится на заход в левый рукав у о-ва Пономарева. Ниже слияния с Алданом (нижняя Лена) при относительной стабильности оголовка островов, находящихся за плечом правого коренного берега, происходит развитие кос в их ухвостьях, в результате чего вся система островов удлиняется. За 45 лет они сместились на 2–2.5 км, вызвав сужение русла (Белогорский перекаточный участок) между ухвостьями островов и оголовками расположенных ниже островов [25]. Очевидно, что пределом продольного

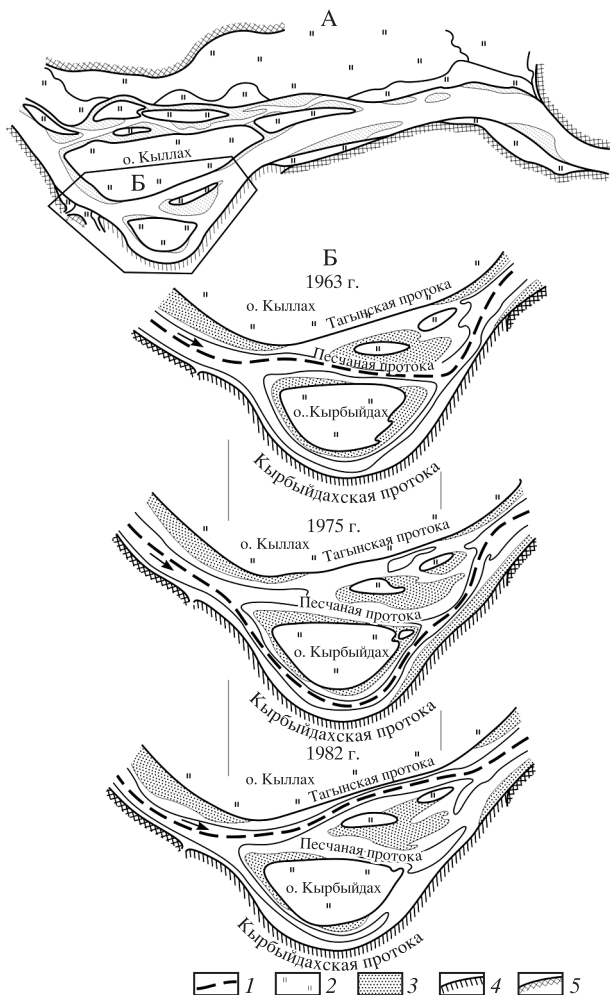


Рис. 9. Кыллахское разветвление на средней Лене – пример стабилизации острова в местном расширении русла между скальными берегами

1 – фарватер, 2 – пойма, 3 – песчаная терраса, 4 – скальные высокие берега, 5 – отмели в русле

(трансгрессивного) удлинения островов по ухвостью являются Белые горы – отроги гор Верхоянья по правому берегу реки, к которым переваливает основной поток реки из левого рукава, и условия формирования русла резко меняются.

Заключение

1. Структура потока возле островов (скоростное поле и циркуляционные течения) обуславливает размывы их оголовков и рост кос в ухвостье, вследствие чего происходит смещение островов. Однако при определенных условиях (сток наносов превышает транспортирующую способность потока) подпор, создаваемый островом при набегании на его оголовок потока, вызывает аккумуляцию наносов возле оголовка и регрессивное смещение острова.

2. Если острова находятся посередине русла, создавая симметричное его разветвление на рукава, и отсутствуют местные условия для аккумуляции наносов (подпор от слияния с притоком, сужение дна долины или русла, наличие местных источников поступления наносов и т. д.), регрессивное смещение островов отражает направленное развитие вертикальных русловых деформаций положительного знака (аккумуляция наносов на реке и повышение отметок дна русла).

3. В периферических частях русла (при односторонних разветвлениях за выступами и мысами берегов) острова, как правило, наращиваются как с ухвостья, так и с оголовка.

4. Аналогичные условия и механизмы смещения характерны для крупных островных массивов, в т. ч. представляющих собой архипелаги островов.

5. При регрессивном смещении островов отмели перед оголовками могут отделяться от них узкими и глубокими протоками либо протоками достаточно большой ширины, вследствие чего на судоходных реках они используются для проложения трассы судового хода.

6. Среди прибрежных островов и архипелагов островов посередине русла трансгрессивное и регрессивное их смещение зависит от условий взаимодействия проток среди островов, сливов воды с поймы или оттоков ее в пределы поймы.

7. Пределы трансгрессивного и регрессивного смещения островов определяются сменой разветвленного русла извилистым или относительно прямолинейным неразветвленным, а в пределах разветвлений – другими его разновидностями; геоморфологическими условиями, обеспечивающими переход широкопойменного русла к врезанному, стеснению русла и дна долины выступами и мысами коренных берегов; развитием излучин рукавов, огибающих острова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
2. *Попов И.В.* Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеоиздат, 1955. 328 с.
3. *Чалов Р.С.* Морфологические типы русел равнинных рек, разветвленных на рукава // Водные ресурсы. 1998. Т. 25. № 2. С. 179–185.
4. *Чалов Р.С.* Сложноразветвленные русла равнинных рек: условия формирования, морфология и деформации // Водные ресурсы. 2001. Т. 23. № 2. С. 166–171.
5. *Чалов Р.С., Чалов С.Р., Алексеевский Н.И.* Структурные уровни формирования и типизация разветвленных русел рек // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2011. № 4. С. 8–15.
6. *Rosgen D.L.* A classification of natural rivers // Catena. 1994. V. 22. P. 169–199.
7. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
8. Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.
9. *Чалов Р.С.* Основные схемы регулирования разветвленных русел на судоходных реках // Современное состояние водных путей и проблемы русловых процессов. М.: Геогр. ф-т МГУ, 1999. С. 26–31.

10. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛплюс, 2001. 300 с.
11. Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М.: ООО “Журнал РТ”, 2012. 492 с.
12. *Тарбеева А.М.* Формирование и эволюция островов в русле Оби // Эрозионные, русловые процессы и проблемы гидроэкологии. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2004. С. 195–201.
13. *Маккавеев Н.И.* Регрессивные переформирования речных островов // Метеорология и гидрология. 1948. № 4. С. 44–50.
14. *Маккавеев Н.И., Чалов Р.С.* О морфологических признаках современной аккумуляции в речной долине // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1963. № 3. С. 84–89.
15. Проектирование судовых ходов на свободных реках // Тр. ЦНИИЭВТ. 1964. Вып. 36. 262 с.
16. *Чалов Р.С.* Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
17. *Маккавеев Н.И.* Теоретические и прикладные вопросы почвоведения и русловых процессов. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2003. 272 с.
18. *Чалов Р.С.* Морфологические проявления современных вертикальных русловых деформаций в речных долинах // Геоморфология. 2007. № 2. С. 28–36.
19. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: ЛКИ, 2008. 608 с.
20. *Андреев О.В.* Проектирование мостовых переходов. М.: Транспорт, 1980. 215 с.
21. *Андреев О.В., Ярославцев И.А.* Вопросы учета руслового процесса при проектировании мостовых переходов. М.: Трансжелдориздат, 1953. 40 с.
22. *Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В.* Речные излуины. М.: Изд-во МГУ, 2004. 371 с.
23. *Клауен А.Б., Виноградов В.А., Костюченко А.А.* Неравноесные процессы в формировании речных русел // Маккавеевские чтения – 2004. М.: Изд-во МГУ, 2005. С. 8–25.
24. *Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В.* Якутский водный узел на реке Лене – проблемы русловых процессов: история, современность, перспективы, возможности управления // Водное хозяйство России. 2012. № 3. С. 44–56.
25. *Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В.* Многолетние направленные и периодические деформации Белогорских перекаатов на р. Лене, их временная трансформация: подходы к выправлению // Речной транспорт (XXI век). 2014. № 2. С. 82–87.

Поступила в редакцию 19.08.2014

THE TRANSGRESSIVE AND REGRESSIVE MOVEMENTS OF THE ISLANDS AND ISLAND CLUSTERS IN THE BRAIDED RIVERBEDS AT THE WIDE FLOOD-PLAINS

R.S. CHALOV, O.M. KIRIK

Summary

The mechanism of the islands and island clusters movements is suggested. The velocity field and circulating flows usually lead to washing of their upper part and to formation of spits in their tails which result in the island's displacement. If the sediment run-off exceeds carrying capacity of the river, then backwater due to the island existence causes accumulation at the upper part of the island and its regressive displacement. Symmetrically braided river bed expresses directional development of the bed deformation (the sediment accumulation and the bottom level rising). Regressive displacement often is manifested in the formation of midstream sandbank upstream the island due to water surface inclination. The backwater appears at some distance from the head of the island and the flow is directed to the one or another braid during different phases of a regime. These flow are carrying sediments out from under the ridge, determine the midstream sandbank stabilization, and prevent its coming onto the island. Localities of the island's regressive movement were determined: in the periphery of the bed, in the zones of backwater upstream the confluence, before the valley bottom narrowing, downstream the local sources of sediments influx. Conditions of island stabilization depend on the meanders formation in the braids circumflexing the island, geomorphologic limitations (transition from the wide flood-plain to incised river-bed, constraints by bedrock coast promontories), transition from the braided bed to the wandering or relatively rectilinear not braided one. The meander bars and midstream sandbanks consecutive coming on to the point of braiding from the upstream reach is also significant.

doi: 10.15356/0435-4281-2015-2-16-27