

Глава VIII

ПЕРЕКАТЫ

ОБЩИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕКАТОВ И ПРИЧИНЫ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Перекаат является столь же типичной формой мезорельефа русла равнинной реки, как и излучина. Типичный перекаат представляет собой скопление аллювия, вызывающее в период низких уровней воды подпор на вышележащем участке – плесе. Нередко, впрочем, встречаются перекааты, образованные уступами коренного дна, которые лишь с поверхности покрыты более или менее сплошным слоем наносов. Такие перекааты являются переходной формой к порогам и особенно часто встречаются на участках, где глубинная эрозия проявляется относительно энергичнее.

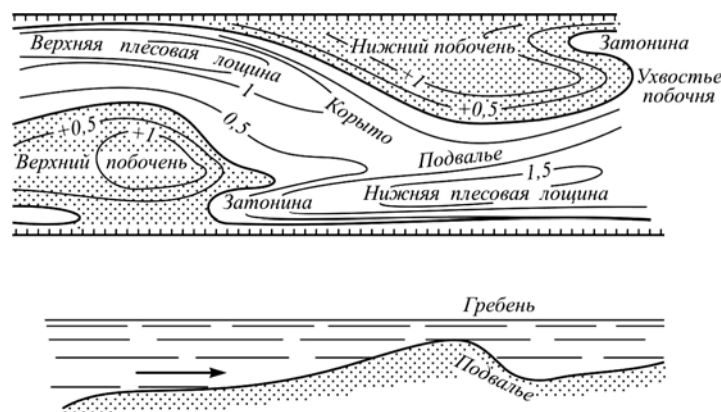
В естественной реке, русло которой обычно имеет извилины, всегда создается неравномерность глубин, т.е. разделение на перекааты и плесы. Наряду с этим образованию перекаатов благоприятствует ряд причин – неравномерность стока по длине реки и во времени, неодинаковая концентрация и различная крупность поступающего с водой притоков твердого материала и др., совокупное воздействие которых придает движению руслообразующих фракций наносов перемежающийся характер.

В русле реки образуются «забои» – скопления наиболее тяжелых частиц наносов (жилы, заструги, гряды, осередки, побочни, косы), создающие в меженном потоке неравномерность продольного профиля и поля продольных скоростей. Неравномерное движение воды, в свою очередь, является причиной возникновения весьма разнообразных циркуляционных течений: вальцов с горизонтальной осью вращения – на тыловых скатах гряд, водоворотов – в местах отрыва потока, циркуляции – в местах изгибов струй и т. п., обуславливающих весьма сложную картину местных изменений русла и способствующих значительному разнообразию форм скопления наносов.

Перекааты обычно располагаются группами, образуя так называемые перекаатные участки, где отдельные гребни перекаатов разделены лишь мелкими и короткими плесами. Перекаатные участки чередуются с плесовыми участками (на протяжении последних преобладают глубокие и устойчивые плесы и лишь изредка встречаются одиночные перекааты). Каждый из районов глубинной и боковой эрозии состоит из нескольких групп перекаатных и плесовых участков. В районах с преобладанием глубинной эрозии большую часть занимают плесовые участки, тогда как в районах с господством боковой эрозии устойчивые плесовые участки имеют меньшую длину, чем перекаатные.

Разница отметок поверхности песков, составляющих побочни перекаатов, и дна глубоких плесов (у равнинных рек) обычно не превосходит годовой амплитуды уровней. Так, у средней Волги разница отметок дна плесов и поверхности побочней перекаатов составляет около 15 м, у среднего Днепра – 7-8 м. Впрочем, эта законо-

мерность не является строгой: в низовьях рек разница отметок обычно в два-три раза и более превосходит амплитуду уровней, да и на остальном протяжении реки иногда встречаются отдельные плесы, глубина которых превышает амплитуду уровней. У рек полугорных и горных неравномерность глубин еще больше.



Фиг. 71. Элементы рельефа переката.

Принято различать следующие детали рельефа (фиг. 71) песчаного переката:

- верхнюю (считая по течению) и нижнюю плесовые лощины;
- верхний и нижний побочни (косы, пески);
- седловину (гребень) переката;
- корыто – наиболее глубокую часть седловины;
- подвалье – обращенный вниз по течению скат гребня;
- затонину – тупиковую часть нижней плесовой лощины, остающуюся вне фарватера. Если затонина сильно выражена, то такой перекат носит название «дурного».

Часто встречаются перекаты, где трудно выделить верхний и нижний побочни, а также связанные с ними плесовые лощины, поскольку эти перекаты представляют собой одну сплошную мель или беспорядочное скопление осередков, заструг и мелких островов. Такие перекаты называются *ро с сы п я м и*. Встречаются также перекаты с двумя нижними затонинами.

Перекаты обычно перемещаются по реке. В равнинных реках смещение происходит вниз по течению и лишь изредка – против течения. Несмотря на это, границы между перекатными и плесовыми участками отличаются некоторым постоянством. Так, верхняя граница участка Козьмодемьянско-Туричьих перекатов на Волге находится приблизительно возле г. Козьмодемьянска. В 70-е годы XIX в. у города существовал перекат, который в настоящее время спустился на восемь с лишним километров по реке, сохранив старое название (Козьмодемьянский). В 1910 г. против города появился новый перекат, получивший название Сенного. Теперь этот перекат уже находится ниже города, и в недалеком будущем следует ожидать возникновения нового переката у верхней границы данного перекатного участка. Образование переката в верхней части перекатного участка иногда происходит весьма быстро – в одно половодье. В других случаях предварительно в нижней части плесового участка возникает извилина фарватера, образованная парой сопрягающихся отелей. Последние постепенно, по мере смещения к границе перекатного участка, пополняются наносами, становятся выше и превращаются в побочни переката. Перекаты, которые, смещаясь, переходят нижнюю границу перекатного участка, быстро

размываются водами половодья и превращаются в перевалы или даже полностью исчезают.

А.Н. Легун (1909), проанализировав данные о перекатах Дона за 60 лет, установил, что за этот период положение перекатных участков в общем не изменилось. Н.П. Загоскин (1909) и И.А. Шубин (1927), основываясь на описаниях Олеария, утверждают, что те места на Волге, где возникли особые затруднения при проводке корабля голштинского посольства в 1636 г., являются весьма «трудными» перекатами и теперь.

Относительная устойчивость границ перекатных участков указывает на тесную связь генезиса перекатов с местными причинами: изгибами коренных берегов, расширением долины, впадением притоков и т. п.

Перекаты – форма твердого стока. Перекаты можно рассматривать как одну из форм твердого стока реки. Именно с этой точки зрения подходил к исследованию перекатов В.М. Лохтин (1897), впервые с достаточной определенностью установивший основные закономерности процесса образования и главные особенности режима перекатов.

Количество наносов, которое перемещается в виде побочной перекатов – «коллективных скоплений наносов» (Жуковский, 1917), составляет, по нашим подсчетам, на Волге и Дону от 1 до 5%, а на среднем Днепре 15-20% от общего твердого стока указанных рек.

В потоке, несущем наносы и проходящем по ложу, составленному из относительно слабо размываемых грунтов, местное увеличение скорости течения вызывает приращение количества влекомых по дну наносов лишь до известного предела. С дальнейшим приращением скорости величина расхода влекомых наносов падает, так как все транзитные наносы проходят во взвешенном состоянии, а местный размыв, достигнув некоторой глубины, затем задерживается вследствие или образования «аллювиальной мостовой», или обнажения плотных коренных пород. Эта своеобразная закономерность наблюдается в естественных потоках весьма часто, что дало повод И.А. Шадрину (1950) на основании опыта работ на Оке говорить о наличии обратной зависимости между скоростью течения и расходом влекомых наносов. Л.Г. Гвелесиани (1939), основываясь на данных по рекам Закавказья, также утверждал, что при уменьшении расходов воды (а следовательно, и скоростей течения) количество донных наносов возрастает не только в процентном отношении, но нередко даже и по абсолютной величине в связи с переходом взвешенного материала во влекомое состояние.

Образование перекатных участков приурочено преимущественно к тем участкам реки, где живая сила потока в половодье недостаточна для переноса наносов во взвешенном состоянии и где часть транзитного стока наносов осуществляется путем движения донных скоплений их. Перекаты также возникают и в межень (главным образом в результате выноса материала оврагами и притоками).

Перекаты, формируемые половодьем, более типичны для большинства судоходных рек, и поэтому их режим лучше изучен. Основные особенности режима таких перекатов: а) преобладание аккумуляции на перекатных участках в половодье за счет размыва на плесовых участках и б) постепенный размыв при низкой воде перекатных участков с одновременным заполнением наносами плесов.

Наблюдения Н.М. Усова 1929-1931 гг. на группе волжских перекатов между Сталинградом и Красноармейском показали, что здесь в половодье отлагается до 500 т наносов в сутки.

Чем больше насыщение наносами потока, тем интенсивнее идет рост перекатов в половодье (Печуров, 1950).

Скопления наносов на перекатных участках в половодье обычно не остаются неподвижными¹. Расход донных наносов здесь, как правило, увеличивается с повышением уровня воды, а скорость перемещения побочной перекаатов обычно находится в прямой зависимости от величины расхода воды в половодье. Одновременно с этим на плесовых участках расход донных наносов уменьшается за счет увеличения расхода взвешенных наносов. Здесь вследствие усиленного размыва обнажается коренное дно и скапливается крупнообломочный материал (валуны, галька, гравий), принесенный льдом или вымытый из коренных пород, оседают карчи (затонувшие отвердевшие деревья), а в отдельных омутах остаются неразмытыми линзы отвердевшего ила. Таким образом формируется «базальный» слой аллювия, в котором аллювий реки перемешан с продуктами разрушения пород, слагающих коренное дно. В среднем глубина размыва дна плеса в течение одного половодья на больших реках Русской равнины составляет 0,5-1,0 м.

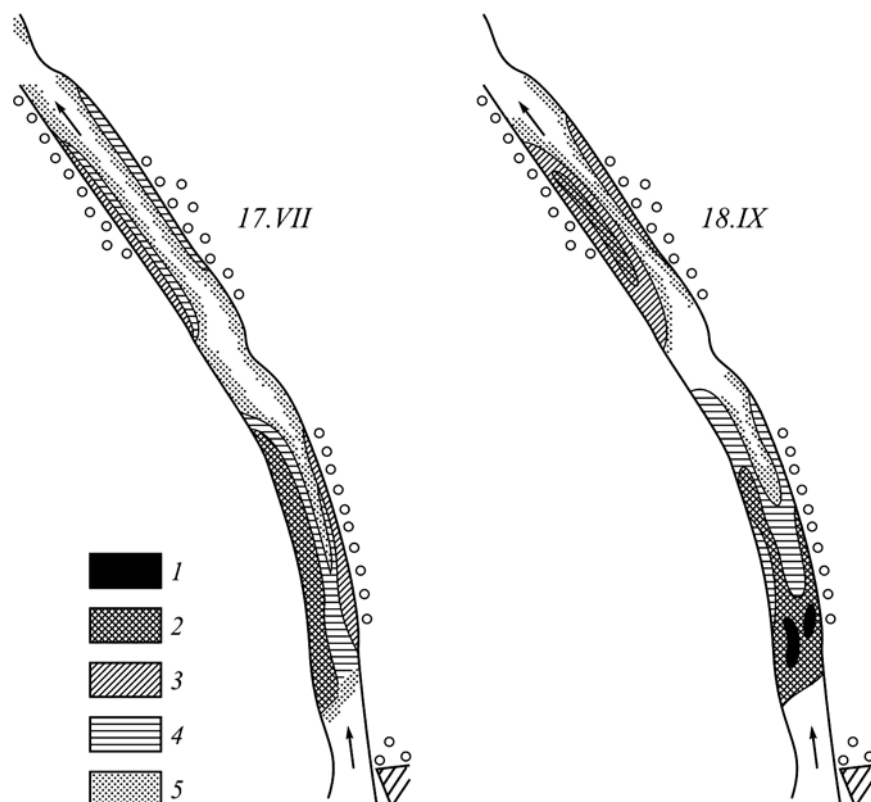
В межень, несмотря на общее снижение транспортирующей способности потока, движение наносов на перекатных участках продолжается, поскольку с уменьшением расхода воды здесь увеличивается гидравлический уклон. Так как в это время поступление наносов из плесов сокращается, то происходит размыв перекаатов. Результаты многочисленных наблюдений, проведенных русловыми изыскательскими партиями, показывают, что размыву в межень подвергаются не только гребни перекаатов, но и дно мелких плесов между ними. В начале меженного периода размыв плесовых лощин между перекатами бывает столь интенсивным, что нередко наблюдается рост отдельных гребней перекаатов. В общем же отметки перекаатного участка за период межени заметно снижаются. Величина этого снижения на больших реках Русской равнины составляет обычно несколько десятков сантиметров, достигая в отдельных случаях 1-2 м и более.

Вследствие малых скоростей течения в межень на плесовых участках транспорт наносов иногда сокращается до ничтожных величин. Например, на плесовом участке Волги у г. Ярославля при высоких уровнях средняя скорость течения составляет около 1,4 м/сек, а насыщение потока наносами около 50 г/м³, в межень же средняя скорость падает до 0,3 м/сек, а средняя мутность до 3 г/м³. В результате аккумуляции наносов дно глубоких плесов в межень постепенно поднимается. Так, в 1931 г. плес у Барбашиной поляны (Волга) имел глубину (считая от навигационного нуля) в июле 10-11 м, а в декабре того же года 9-10 м, т.е. в течение лета и осени дно плеса поднялось в среднем на 1 м (Маккавеев, 1949а). С.А. Несмеянов (1950), производивший наблюдения на участке Оки около г. Орла, включающем перекаат и плес («бочаг»), установил, что, несмотря на большое поступление наносов из городских сточных магистралей, отложений на перекаате в межень не наблюдалось, тогда как в плесе в это время слой наносов достиг 0,5 м и более. Слой отложений имел наибольшую мощность в верхней части плеса, где наблюдалось сплошное заиливание дна, тогда как в остальной части плеса отложения сконцентрировались в прибрежных зонах (фиг. 72).

Слой тонкого ила всегда скапливается во время межени в затонских частях перекаатов, а иногда покрывает сплошной пеленой прирусловые пески на всем протяжении плеса. Особенно часто такие заиленные плесы встречаются у малых рек, где вследствие неравномерности стока разница в характере течения на плесах и перекатах в межень особенно велика: плесы представляют собой, по существу, слабопроточные озера, а перекаатные участки имеют вид мелких ручейков с быстрым течением.

¹ За исключением участков, попавших в зону глубокого подпора, где, наоборот, в течение половодья наблюдается почти полная стабильность рельефа перекаатов.

В осветленной на большом плесе воде меженного потока при выходе на нижележащий перекатный участок мутность постепенно увеличивается. Она обычно достигает максимума в нижней половине перекатного участка. Наряду с этим возле перекатных гребней и у размываемых берегов в плесовых ложинах создаются местные максимумы мутности. Эта особенность перемещения наносов на перекатном участке, наглядно подтверждающая наличие поступательной эрозии, существенным образом сказывается на режиме отдельных перекатов.



Фиг. 72. Отложение наносов в плесе в период межени (Несмеянов, 1950).
Мощность отложений: 1 – около 75 см; 2 – около 50 см; 3 – около 20 см;
4 – около 10 см; 5 – около 5 см.

Особенности образования перекатов в различных условиях. Описанный выше режим перекатных участков характерен для больших рек Русской равнины с их относительно устойчивым руслом, довольно слабой насыщенностью наносами, мощным половодьем и продолжительной меженью. Изменения рельефа перекатов в других условиях могут быть иными.

В реках, русло которых мало устойчиво, четкого разделения на плесовые и перекатные участки, как правило, не наблюдается, потому что здесь влечение наносов в половодье и в межень происходит по всей длине реки, а не с перерывами, как на реках с относительно устойчивым руслом. На эту особенность рек с неустойчивым руслом, ссылаясь на примеры Вислы и Аму-Дарьи, указывал еще В.М. Лохтин (1897).

В реках, вытекающих из озер, типичные перекаты появляются лишь на большом расстоянии от истока. В той части реки, где сказывается регулирующее влияние

озера, режим перекатов весьма своеобразен. При высоких уровнях очищенный от наносов сток озерной воды размывает гребни перекатов. Пополнение перекатов наносами происходит преимущественно в межень, в периоды летних дождей, когда в реку поступает много наносов со склонов и из притоков. Рост гребней в течение межени с достижением максимума отметок гребня к осени характерен, например, для ряда перекатов Сухоны. Наоборот, в половодье многие гребни перекатов этой реки размываются. На перекатах Реченские Борозды р. Сухоны отмечена весьма любопытная особенность отложений наносов: начало аккумуляции приурочено ко времени спада половодья, отлагается в это время мелкий песок; аккумуляция продолжается всю межень и особенно усиливается осенью, причем наносы заметно укрупняются – песок перекрывается мелким и крупным гравием.

Причины образования перекатов. Образованию перекатов особенно благоприятствует процесс выравнивания транспортирующей способности потока путем аккумуляции (например, при выходе горной реки на равнину). В местах аккумуляции нередко образуются сплошные перекатные участки в несколько десятков километров длиной.

Изобилуют перекатами реки в местах пересечения современных прогибов земной коры. Так, в районе описанной выше «внутренней дельты» Днепра в среднем на каждые 1,4 км длины русла приходится один перекат, тогда как на расположенном выше участке от г. Черкассы до с. Стайки один перекат приходится на 2,6 км речного пути.

В зонах приустьевых спадов больших рек перекаты образуются редко. Примером может служить низовье Сев. Двины выше впадения Пинегы, где на протяжении около 100 км перекаты почти отсутствуют.

Чередование волн подпора и спада по длине речного потока особенно отчетливо сказывается на расположении перекатных участков. Там, где в период половодья устанавливается зона выклинивания подпора (вызванная местным сужением, впадением притока или другими причинами), перекаты – обычное явление. Это связано с тем, что здесь происходит выпадение взвешенных наносов в половодье, а динамическая ось потока резко меняет свою конфигурацию при спаде воды, когда участок выходит из зоны подпора. Поскольку распространение подпора зависит от ряда переменных (глубины, скорости течения, расхода паводка, притока и т.д.), интенсивность наращивания гребней перекатов неодинакова в разные годы. Например, на Шашкарских перекатах Волги (находящихся перед местным стеснением долины) в годы с высокими половодьями пополняются наносами гребни Верхнего и Среднего Шашкарских перекатов, а в годы с низкими половодьями – лежащие ниже (находящиеся ближе к горловине) Сосунихинский и Верхне-Боровский перекаты.

Наряду с подпором, вызванным сужениями долины, не менее частой причиной образования перекатов является уменьшение удельного расхода воды в местах расширения потока. Вследствие уменьшения удельного расхода скорости течения убывают, происходит выпадение наносов и образуется перекатный участок.

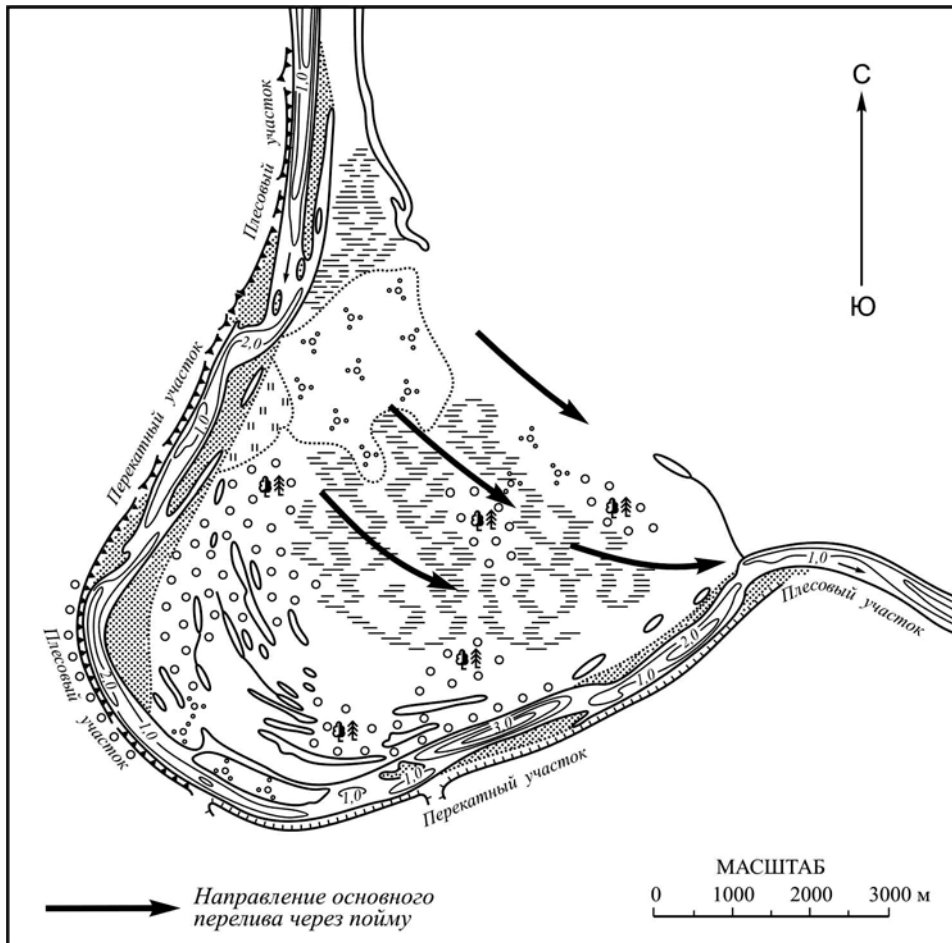
На образование перекатов в значительной мере влияют все причины, вызывающие местное перенасыщение наносами потока: впадение притоков с большой мутностью воды, интенсивный размыв берегов и др.

В этих случаях перекаты могут возникать и на таких участках, где уклон потока в половодье больше, чем на плесовых участках, так как впадение притоков, несущих много наносов, нередко создает местное увеличение крутизны продольного профиля главной реки.

По данным А.С. Семиколонова (1938), выносами р. Чир в паводок 1937 г. средняя глубина Дона на участке гидрометрической станции (расположенной ниже устья р. Чир) уменьшилась на 0,45 м.

Особенно резкое влияние оказывают горные потоки, впадающие в равнинную реку. Так, судя по описаниям Г.И. Мешкова (1926), Черный Иртыш до впадения р. Бурчум имеет вид типичной равнинной реки со спокойным плавным течением. Непосредственно ниже впадения горной реки Бурчум русло Черного Иртыша представляет собой сплошной перекаточный участок, где глубина в межень уменьшается в два-три раза по сравнению с вышележащим участком.

Обычно как на больших, так и на малых судоходных реках в районе узла слияния с крупным притоком располагаются перекаточные участки. На Волге, например, отличается обилием перекаотов и неустойчивостью глубин участок, имеющий протяжение в несколько десятков километров как выше, так и ниже впадения Оки.



Фиг. 73. Перекаточные и плесовые участки на излучине р. Вятки.

Овраги и балки нередко приносят в русло реки материал настолько крупный, что он размывается весьма медленно, особенно при меженных скоростях течения. Так как вынос материала из оврагов наиболее велик во время летних ливней, то полное перекрытие русла конусом овражного выноса – явление нередкое даже для судоходных частей степных и лесостепных рек. В мае 1915 г. возле Мамоновского переката Дона конус выноса оврага в течение двух часов полностью перегородил русло реки, имевшее здесь ширину 200 м. Вместе с песком было вынесено около

300 деревьев, армировавших естественную запруду (Легун, 1917). В августе 1931 г. после ливня фарватер среднего Днепра на Селищенском перекате был полностью перекрыт мощным слоем песка, причем работавший здесь землечерпательный снаряд оказался в середине мели и для его освобождения пришлось производить специальные землечерпательные работы.

Переменный уровень воды в реке сказывается на изменении общего характера поля скоростей течения. Динамическая ось потока не сохраняет одного и того же положения при разных уровнях воды. Это обстоятельство нередко является основной причиной образования не только отдельных перекатов, но и целых перекатных участков.

Несовпадение положений динамической оси потока при разных уровнях воды отчетливо проявляется на любом более или менее извилистом участке русла. Весенний поток, направление которого пересекает побочни перекатов, оставляет следы размыва в виде выбоин и ложбин, ориентированных по хордам дуг меженного русла. Одновременно с этим участки русла, оказавшиеся в зонах замедленного течения, пополняются наносами.

При подъеме уровня выше поверхности поймы в местах перелива из русла в пойму резко ослабляется транспортирующая способность основного потока. В свою очередь, сливающиеся с поймы в русло воды создают подпор потока в меженном русле. В районах концентрированного перелива, на некотором расстоянии вниз по течению, а также непосредственно выше места слива образуются перекатные участки (фиг. 73). Такого типа участки часто встречаются на больших излучинах русла, расположенных в расширениях поймы. Непосредственно ниже мест, где в русло сливаются относительно осветленные пойменные воды, нередко образуются глубокие плесы.

РЕЖИМ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЙ И ГИДРАВЛИКА ПЕРЕКАТНЫХ УЧАСТКОВ

Несмотря на обилие факторов, влияющих на образование перекатов, все же наблюдается некоторая связь между общими гидравлическими характеристиками потока и частотой перекатов по длине реки.

Так, среднее расстояние между перекатными участками и отдельными перекатами равнинных рек находится в прямой зависимости от расхода воды и в обратной – от величины продольного уклона. Например, на Волге среднее расстояние между перекатами составляет 5,2 км на участке г. Щербаков – г. Горький, 7,4 км на участке г. Горький – устье Камы и 15,5 км на участке устье Камы – Астрахань.

Средняя скорость перемещения перекатов (в районах боковой эрозии) вниз по течению определяется приблизительно следующим выражением:

$$V_n = 0,05 \frac{Q}{\gamma},$$

где V_n – скорость перемещения (в м/год), Q – расход воды в половодье (средний многолетний максимум в м³/сек), γ – число Лохтина.

Эта формула является весьма ориентировочной и не учитывает еще ряда факторов, от которых зависит скорость перемещения побочней: степени неравномерности стока, режима уклонов и размера самих побочней. Влияние последнего фактора хорошо иллюстрируется процессом перемещения Аннаевского побочня на Волге у г. Куйбышева. За период с 1900 по 1926 г. побочень продвинулся вниз по течению на такое же расстояние, как и за последующие 12 лет – с 1926 по 1938 г., т.е. ско-

рость увеличилась почти вдвое, причем в процессе перемещения объем песков побочня, лежащих выше нулевой изобаты, уменьшился в четыре раза.

Вследствие постоянной изменчивости рельефа дна связь между глубиной на перекате и уровнем воды в реке обычно никогда не бывает прямолинейной. При низких уровнях воды прорезывание гребней перекатов происходит столь быстро, что глубина уменьшается значительно медленнее по сравнению со снижением уровня. В значительной мере здесь играют роль дноуглубительные работы, но практически приходится углублять землечерпательными снарядами лишь часть перекатов (обычно меньшую), а на большинстве перекатов понижение дна происходит естественным путем.

Напомним, что углубление перекатов в межень происходит за счет заполнения наносами плесов и что если бы не было этих естественных отстойников меженного потока, эрозионная деятельность последнего была бы гораздо слабее выражена.

Осенний подъем воды на реках Русской равнины обычно вызывает настолько значительное пополнение перекатов наносами, что глубина мало увеличивается. Интенсивный рост гребней перекатов в период осеннего паводка вызван двумя причинами: 1) повышенным содержанием наносов в воде реки (прибыль уровней происходит за счет дождей, а дождевые потоки насыщены наносами в большей степени, чем талые воды) и 2) наличием в плесах недавно отложившихся, неуплотненных наносов, легко приходящих в движение при увеличении скоростей течения.

Аналогичное влияние на режим перекатов оказывают летние ливневые паводки. Исследование режима перекатов в 1939 и 1950 гг. на среднем течении Днепра позволило установить, что максимум интенсивности отложений на перекатах приходится на период подъема уровня паводка. Это явление объясняется тем, что наибольшее приращение скорости течения на плесах, а следовательно, и вынос материала на перекаты, бывает при прохождении лобовой части волны паводка. Чем больше концентрация наносов в потоке, тем резче выражен этот процесс. На Аму-Дарье наращивание отметок гребней летними паводками нередко приводит к уменьшению судоходной глубины при подъеме уровня.

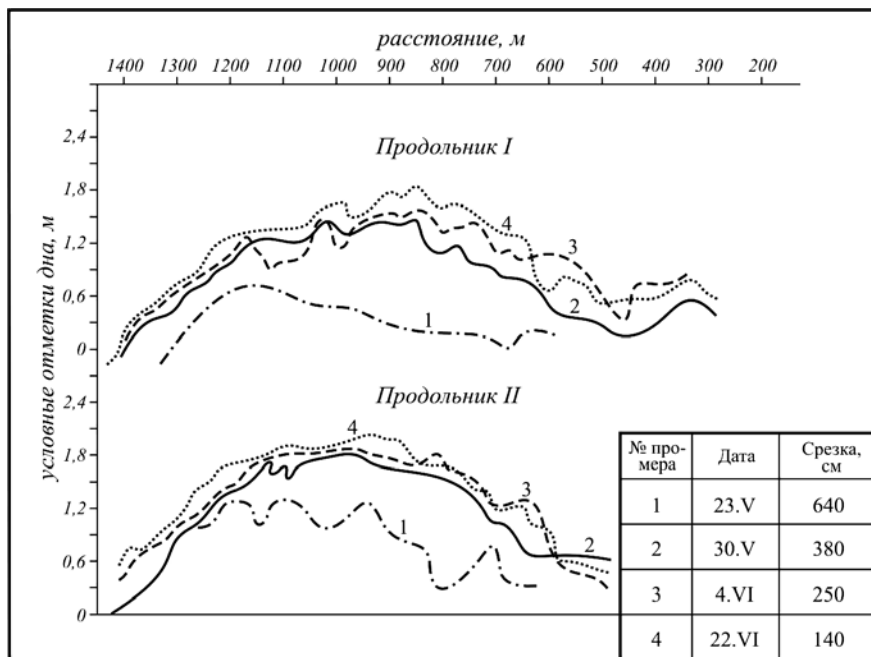
Характерной особенностью гидравлики потока на перекатных участках является рост продольного и поперечного уклонов с понижением уровня воды, поскольку перекат представляет собой затопленное препятствие, а влияние затопленного препятствия на поток возрастает с понижением уровня воды.

Например, по данным нивелировки на одном из перекатных участков Камы средний продольный уклон составлял: при уровне 2,90 м – 0,000087, при уровне 1,65 м – 0,000120, при уровне 1,05 м – 0,000145. Максимальный местный уклон при уровне 1,05 м наблюдался на нижнем перекате этого участка и достигал 0,000166.

Местные максимумы уклона при низкой воде наблюдаются на подвалах перекатов, где на относительно небольшом протяжении (порядка нескольких десятков метров) уклоны возрастают в два-три раза и более по сравнению со средним уклоном на перекатном участке.

На границе плесового и перекатного участков в низкую межень побочни верхнего переката, стесняя поток, возбуждают волны подпора. При этом на участке корыта переката наблюдается прогиб водной поверхности, аналогичный ложбине, возникающей перед мостовым отверстием. Величина прогиба на перекатах типичных равнинных рек обычно не превосходит 1-2 см. На полугорных реках величина прогиба увеличивается в несколько раз. Так, И.Б. Терехов (1945) на перекатах порожистой части р. Сухоны наблюдал прогибы порядка 10-20 см. В низовой части побочней, наоборот, отмечаются депрессии водных поверхностей, вследствие чего в нижней части корыта переката поверхность воды на стрежне несколько выше, чем у берегов.

В режиме перекатных участков больших равнинных рек имеется ряд общих особенностей, зависящих от условий питания этих участков руслообразующими наносами. Так как основная масса последних поступает на перекатный участок в половодье с вышележащего плеса, где в межень осело значительное количество еще уплотнившегося материала, то наиболее значительное повышение гребней в половодье наблюдается в верхних частях перекатного участка. Затем в течение спада половодья и межени наносы постепенно перемещаются на гребни средних и нижних перекатов каждого перекатного участка. Нередко в течение межени в верхней части прилежащего плесового участка образуются новые перекаты из продуктов размыва перекатного участка.



Фиг. 74. Продольные профили дна на участке переката р. Камы, характеризующие пополнение гребня наносами в половодье 1949 г. Первый промер проведен через 4 дня после прохождения пика половодья.

На одиночных перекатах также в первую очередь пополняется наносами лобовая (обращенная навстречу течению) часть седловины. На фиг. 74 показано изменение рельефа одного из перекатов р. Камы в 1949 г. Место наименьшей глубины на перекате сместилось за 30 дней приблизительно на 400 м вниз по течению.

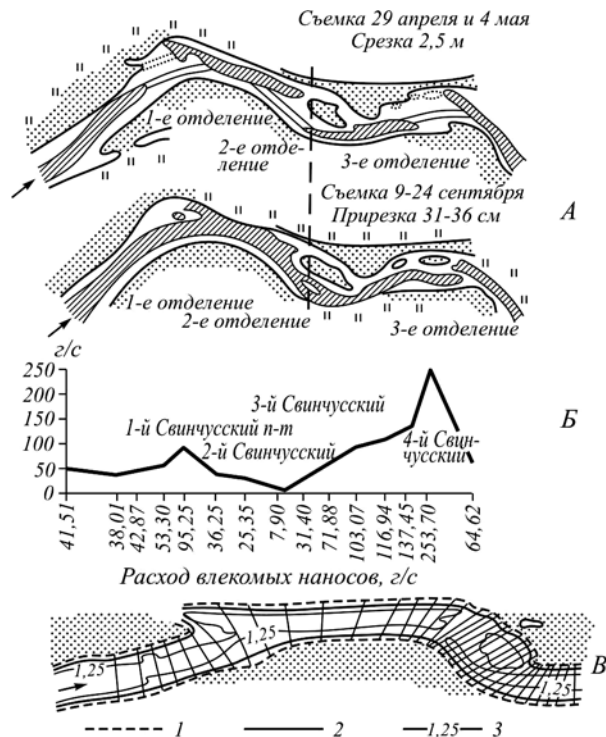
В меженный период поступающая из плеса очищенная от руслообразующих наносов вода производит размыв особенно интенсивно в верховье перекатного участка, тогда как в средней и нижней его частях резко усиливается движение влекомых наносов и размыв гребней несколько задерживается (фиг. 75).

В верхней части перекатного участка в результате преобладания размыва уклон постепенно сглаживается, а его максимальное значение устанавливается в нижней части участка (фиг. 75, В).

Возрастание уклона на перекатном участке в межень резко сказывается на увеличении крутизны извилин динамической оси меженного потока.

Корыто переката нередко получает S-образное очертание, вследствие чего судоходство испытывает значительные затруднения. Впрочем, на протяжении перека-

ного участка крутизна извилин меняется по-разному. В верхней части участка, куда поступают из плеса воды, не содержащие руслообразующих наносов, крутизна излучин обычно не увеличивается, а нередко даже уменьшается за счет размыва выпуклого берега. На рис. 75, А показаны планы перекатного участка на Днепре. На спаде весеннего половодья было произведено землечерпание на всех трех перекатах, причем дноуглубительные прорезы на каждом из перекатов испытали в межень различную деформацию; кривая судового хода на верхнем перекате стала более полой, на среднем сохранила почти тот же радиус, а на нижнем образовала двойной перегиб.



Фиг. 75. Особенности режима группы перекатов в межень.

А – уменьшение кривизны тальвега русла на верхнем перекате группы;

Б – увеличение расхода влекаемых наносов на нижнем перекате группы;

В – рельеф водной поверхности.

1 – урез; 2 – срезочный горизонт; 3 – проектный горизонт.

Горизонталы через 1 см.

Движение наносов по гребню лобового ската переката в межень идет примерно так же, как смещение песков по наветренному склону дюны; влекаемые по лобовому скату частицы, поступая в область отрыва струй на подвалье, падают под влиянием собственного веса, вследствие чего крутизна подвалья приближается к углу естественного откоса песка, т.е. 35-40°.

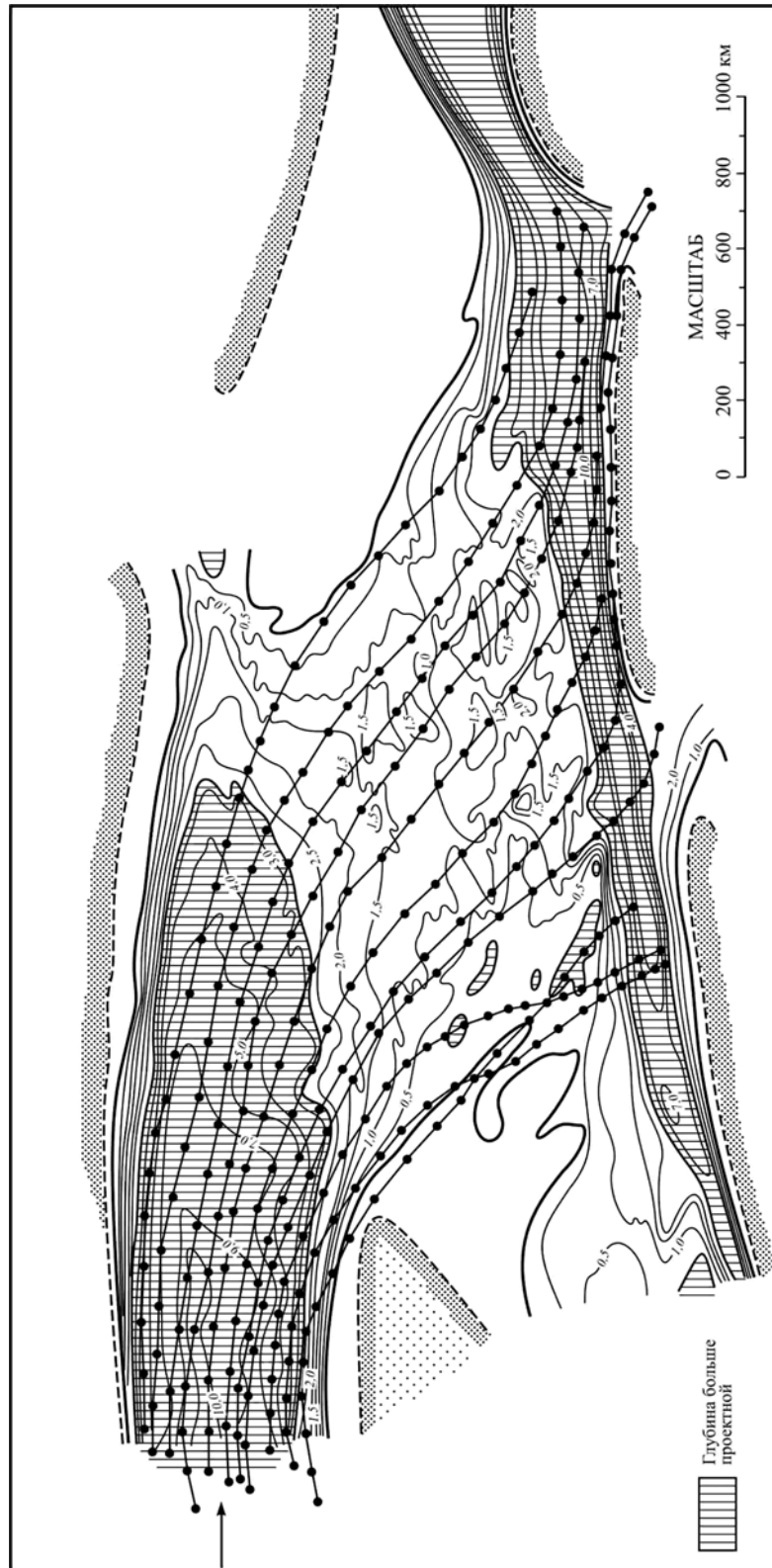
Вследствие неравномерности скорости течения по ширине русла поступательное движение отдельных частей гребня переката идет неодинаково и продольная ось гребня переката обычно не располагается нормально к главному направлению течения, а составляет с ним некоторый угол. В некоторых случаях длина продольной оси гребня переката в несколько раз превышает ширину русла реки. Наличие косо (по отношению к главному течению реки) гребня в русле, в свою очередь, вызывает местное изме-

нение направления течения в межень: струи потока на участке слива принимают почти нормальное по отношению к гребню положение (фиг. 76). Общее направление струй в верхней части переката принимает вид веера (Н.С. Лелявский). Поскольку удельный расход воды на гребне переката резко уменьшается (расход распределяется на ширину большую, чем нормальная ширина русла), транспортирующая способность потока здесь, несмотря на значительное увеличение уклона, может быть меньше, чем в плесовой ложине. Перекаты, имеющие такие гребни, носят название «дурных», так как в межень глубина на них падает особенно сильно.

Характерной особенностью структуры потока на участке «дурного» переката является наличие «подзаstrужного» течения, идущего на некоторой глубине вдоль подвала. Это глубинное течение имеет почти нормальное направление к поверхностным, сбегаящим с гребня струям главного потока. Скорость подзаstrужного течения нередко довольно значительна и иногда даже больше скорости на поверхности потока. Подзаstrужное течение является аналогом течения на низовом откосе препятствия, исследованного в лаборатории А.И. Лосиевским и А.С. Образовским (см. главу IV). Оно переносит некоторый объем наносов в поперечном направлении, вследствие чего побочные перекаты смещаются не только вниз по течению, но и по направлению длинной оси побочной. Впрочем, объем наносов, перемещаемых подзаstrужным течением, лишь в редких случаях достигает значительной величины. Для морфологического режима переката большее значение имеет массовое перемещение песков на поверхности побочной по направлению потока половодья.

Скатывающиеся по откосу подвала переката частицы наносов сортируются по закону расположения материала осыпей: наиболее крупные и тяжелые частицы располагаются у подошвы откоса и формируют донный слой отложений. На сортировку наносов оказывает также влияние подзаstrужное течение, которое как бы «отвеивает» и выносит мелкие наносы, падающие с гребня переката. Этот процесс сортировки склоновой осыпи является одной из причин формирования упоминавшегося выше «базального» слоя аллювия. Впрочем, гряда переката может перемещаться не только по коренному дну, но и по слою аллювиальных отложений. В последнем случае данная сортировка служит одной из причин крупной слоистости аллювиальных свит. Крупные наносы слагают также поверхность лобового ската переката. Это так называемая «аллювиальная корочка» («мостовая»), о свойствах и происхождении которой мы уже говорили. Таким образом, толща песков, слагающих перемещающийся перекал, как бы заключена в чехол из более крупных наносов.

В толще песков, слагающих вал переката, нередко заметна слоистость второго порядка: чередование прослоек мощностью от долей миллиметра до нескольких миллиметров; эти прослойки обычно наклонены на 30-40° к плоскости горизонта. Образование тонкой косой слоистости в основном связано с наличием ряби на лобовом скате переката. Каждая маленькая гряда ряби, подобно гребню переката, у подошвы и на поверхности составлена относительно крупным песком. Подходя к подвалу переката, грядка ряби обрушивается силой сливающихся струй и рассыпается по откосу, причем наличие сортировки в теле гряды неизбежно должно вызвать некоторую сортировку в материале, отлагающемся на откосе подвала: слой песка, смытый с вершины грядки, покрывается более мелким песком основной толщи гряды, последний покрывается крупным песком базального слоя гряды ряби и т.д. Там, где вследствие очень больших или очень малых скоростей течения не образуется ряби, тонкая слоистость в толще песков переката обычно не прослеживается. Очень часто приходится наблюдать в разрезах аллювиальных отложений большие линзы песка без следов косой слоистости. Образованию мелкой слоистости также способствует постоянная пульсация уклонов и скоростей течения, а следовательно, и твердого расхода потока.



Фиг. 76. Веерообразное течение на "дурном" перекате.

Линиями с черными кружками показано направление поплавок. Съемка проведена 24. VI 1951 г. при срезке 246 см.

В предыдущем изложении, говоря об особенностях режима переката при низких уровнях воды, мы подразумевали период летней межени. В зимнюю межень создаются несколько иные условия для развития рельефа перекатов – прекращается поступление наносов, приносимых дождевым стоком, и речной поток на плесовых участках имеет почти совершенно чистую воду. Заметное содержание наносов в воде отмечается только на перекатных участках. Отмелье участки русла промерзают до дна, и ширина потока сокращается. Размыв перекатных участков в зимнюю межень продолжается; чем ниже уровень ледостава и чем толще лед, тем значительно снижаются отметки гребней перекатов. Однако общее уменьшение скорости течения, вызванное увеличением смоченного периметра живого сечения, способствует сильному замедлению преобразования русла, и, как показывают зимние съемки перекатов, в большинстве случаев рельеф последних мало изменяется в течение зимнего периода. Исключением являются участки, где живое сечение сильно стеснено заторами и зажорами; здесь наблюдаются иногда весьма значительные изменения, следы которых не всегда сглаживаются половодьем (см. главу IV).

ТИПЫ ПЕРЕКАТНЫХ УЧАСТКОВ

Перекаты, формирующиеся половодьем, можно разделить на два основных типа.

I тип – перекаты, образующиеся в районах глубинной эрозии. Поток характеризуется здесь большим уклоном в половодье, чем в межень; пойма узкая. На протяжении районов глубинной эрозии только крупные фракции транзитных наносов переходят во влекомое состояние в потоке половодья, поэтому перекаты здесь встречаются редко и их формы отличаются сравнительной стабильностью, особенно в межень.

II тип – перекаты, образующиеся в районах боковой эрозии. Уклон здесь меньше в половодье, чем в межень; пойма значительной ширины. Крупность наносов, слагающих большинство перекатов, меньше, чем в районах глубинной эрозии. Рельеф перекатов отличается неустойчивостью.

Благодаря стабильности рельефа перекаты первого типа легко выправляются землечерпанием, и исследование их режима не представляет практического интереса, да и наблюдения затруднены крайней медленностью изменений. В дальнейшем эти перекаты не рассматриваются, тем более что их режим освещен в одной из наших предыдущих работ (Маккаев, 1949а).

Перекатные участки в районах боковой эрозии можно разделить на следующие разновидности: 1) участки в областях выравнивания транспортирующей способности потока путем интенсивной аккумуляции – «внутренние дельты»; 2) участки в районах расширяющейся поймы – «внутренние бары»; 3) участки в зонах подпора, вызванного сужением долины или другими причинами; 4) участки в излучинах русла; 5) перекаты в местах разделения русла на рукава; 6) участки в устьях притоков.

Внутренние дельты. Внутренние дельты образуются на участках реки, где происходит выравнивание транспортирующей способности потока за счет интенсивной аккумуляции в областях современного опускания земной коры; в областях, прилежащих к горным массивам, недавно поднявшимся (альпийская складчатость); на территориях, освобожденных отступившим приемным бассейном, если уклон такой территории меньше, чем гидравлический уклон реки; в местах, где происходит большая потеря воды.

Во всех перечисленных случаях река «дичает», разделяясь на многочисленные рукава. Характерной особенностью внутренних дельт является постоянная изменчивость фарватера. Та система рукавов, в которую направляется главное течение реки, служит одновременно и местом наиболее интенсивной аккумуляции наносов,

вследствие чего дно здесь постепенно поднимается над уровнем дна в других параллельных системах рукавов. Создавшаяся разница отметок способствует образованию прорывов из главного русла в боковые рукава, которые более или менее постепенно привлекают все большие массы воды. Главное течение переходит в другую систему рукавов, и процесс повторяется.

Выше внутренней дельты обычно располагается серия плесовых участков с большими глубинами, образование которых связано с распластыванием волны высокого половодья на пространстве внутренней дельты, а также с наличием подпора потока в межень массивами отложений дельты.

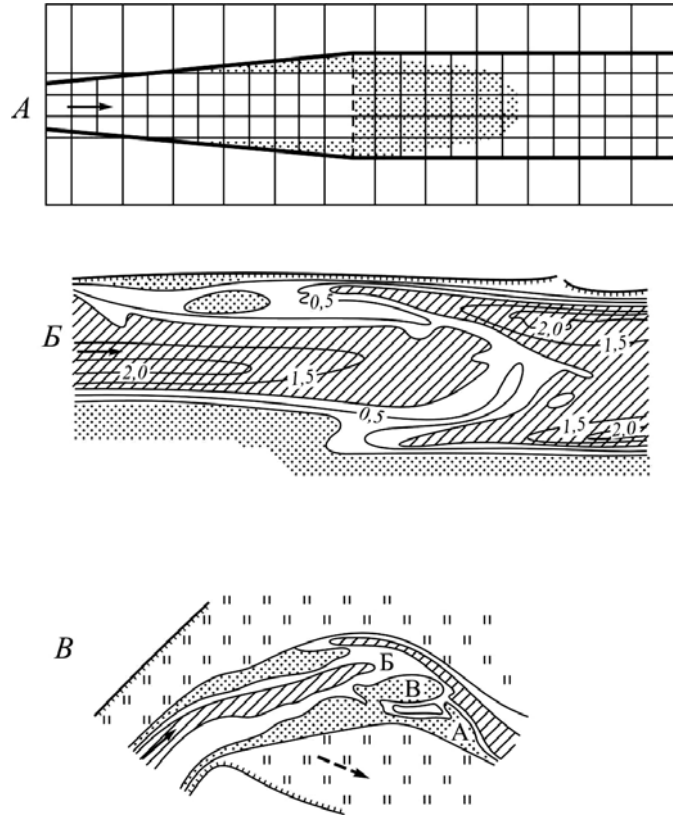
Единственным методом борьбы против образования внутренних дельт (создающих огромные затруднения для судоходства, мелиорации и дорожного строительства) является пока искусственное повышение транспортирующей способности потока посредством «собирания» реки в одно русло, спрямления последнего и иногда обвалования. Таким образом были улучшены судоходные условия и проведена мелиорация пойменных угодий ряда рек Германии, Австрии, Венгрии и других европейских стран. Однако, как показал опыт подобных работ, регулирование русла с целью повышения транспортирующей способности потока приходится затем производить на значительном протяжении реки ниже внутренней дельты, иначе непосредственно прилежащие к ней участки становятся областями интенсивной аккумуляции наносов, вызывающей постепенный подъем уровней и затопление поймы. По-видимому, при регулировании внутренних дельт нет нужды полностью прекращать естественный кольматаж на ее территории. Следует лишь умело распределить наносы так, чтобы они заполняли преимущественно второстепенные системы рукавов, не заиливая главного фарватера. Результаты исследований механизма перемещения наносов на участках разделения русла позволили разработать ряд способов для «отсасывания» наносов из того рукава, который желательно сохранить от заиливания. Использование таких «наносоотсасывающих» устройств в соединении с регулированием русла, несомненно, сможет обеспечить некоторую устойчивость фарватера на участках внутренних дельт без неприятных последствий для нижележащих участков реки.

Перекатные участки в местах расширения поймы – внутренние бары. Формы перекатов, возникающих на участках расширения поймы, зависят от конфигурации коренных берегов и яров.

В прямых участках с симметричным расширением на формирование верхнего (граничащего с плесовым участком) вала переката значительное влияние оказывают расходящиеся от фарватера к берегам донные течения. Под их влиянием отлагающееся на некотором расстоянии от горловины скопление наносов приобретает форму «перевернутого бархана», т.е. полумесяца, выпуклость которого обращена вниз по течению. Такую форму можно наблюдать и в лаборатории и в природе (фиг. 77, *A* и *B*). Перекат имеет две плесовые лощины, располагающиеся у обоих берегов. В межень сливающиеся с вала переката струи направлены под углом к берегу, где образуется сбой и наблюдается довольно интенсивный местный размыв берегов, вследствие чего меженное русло в месте нахождения таких перекатов обычно расширяется. В части переката, лежащей на середине русла, скопление наносов достигает наибольшей мощности; здесь обычно образуется осередок, а иногда и остров, постепенно разъединяющий русло на два рукава.

В случае несимметричного расширения поймы (фиг. 77, *B*) форма мели существенно меняется. Почти всегда такое расширение сопровождается изгибом русла, и плесовая лощина, прилегающая к выпуклому берегу, частично заполняется отложениями. Фарватер обычно располагается у вогнутого берега, где лощина имеет большую глубину. Осередок или остров в середине русла (*B*) обычно сохраняется и

при несимметричном расширении. Динамическая ось потока в половодье располагается, однако, ближе к выпуклому берегу (Лелявский, 1896).



Фиг. 77. Перекаты, образующиеся на участках расширений.

A – скопление наносов на расширении лотка (опыт А.И. Лосиевского);
B – пережат р. Днр на участке симметричного расширения поймы;
B – пережат р. Днепр на участке с несимметрично расширяющейся поймой.

Положение фарватера может «периодически» изменяться, так как в годы с высокими половодьями размывается преимущественно плесовая ложина у выпуклого берега (*A*), которая при более низких уровнях заполняется наносами.

Одиночный пережат на участке расширения – явление сравнительно редкое. Обычно непосредственно ниже «головного» пережата располагается цепочка из двух-трех и более пережат. Их происхождение легко установить, если проследить историю изменений русла на участке расширения за достаточно длительный ряд лет. Н.С. Лелявский (1896), проведя подобное исследование для одного участка расширения долины р. Днепр, часть которого показана на фиг. 77, *B*, пришел к выводу, что пережаты возникают на определенном расстоянии от горловины и затем перемещаются вниз по течению. По мере смещения вниз пережат обычно перестраивается, причем одна из нижних плесовых ложин заполняется наносами. Не успеет спустившийся бар пройти эту стадию переформирования, как снова на старом месте начинает появляться новое скопление наносов, дающее начало новому пережату.

На расширениях, имеющих небольшую длину, нередко наблюдается периодическое перемещение русла то к одному, то к другому берегу (фиг. 78). Последовательность этого процесса следующая: а) находящийся у одного из берегов (на фиг. 78 – у левого берега) побочень подмывается не только сверху, но и снизу сбойным течением у выступающего берега; б) постепенно образуется глубокая промоина у «сбойного» берега, отторгающая побочень; последний причленяется к пескам противоположного берега; в) с вышележащего участка спускается скопление наносов (коса или побочень), перемещающееся вдоль левого берега, снова вызывающее рост левобережного побочня, интенсивный спуск, а затем отторжение правобережного побочня.

Следовательно, периодические изменения фарватера в данном случае вызваны, во-первых, периодическими поступлениями идущих то вдоль правого, то вдоль левого берега скоплений наносов и, во-вторых, образованием сбойных течений возле берегов в нижней части расширения.

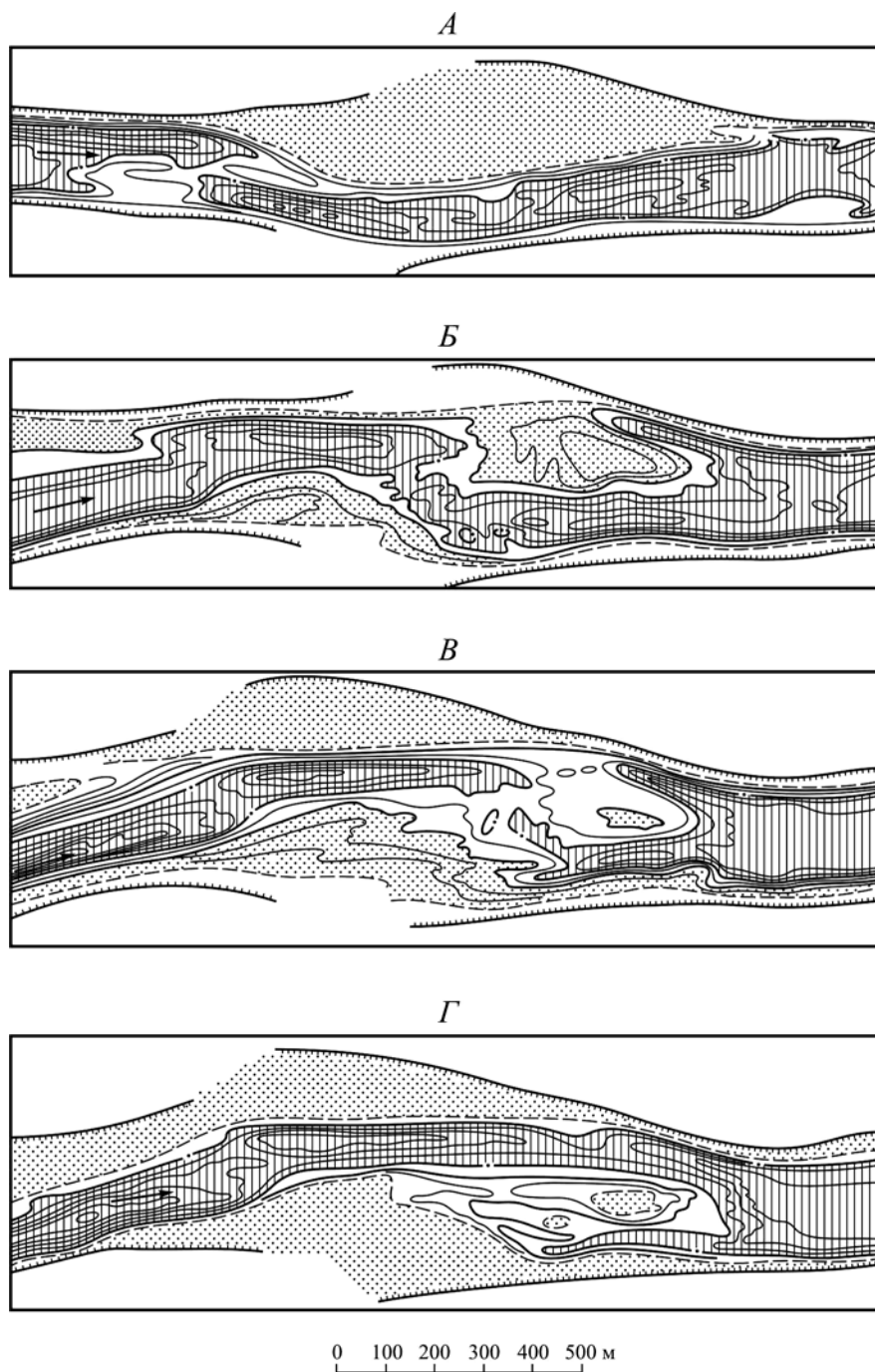
Перекатные участки в зонах подпора, вызванного сужениями долины. На режим перекатов, образующихся на участке реки выше сужения поймы, оказывают влияние: 1) переменный подпор, вызванный сужением потока половодья и сливом воды с поймы в русло; 2) поступление «осветленных» в пойме вод; 3) направляющее действие коренных берегов, сказывающееся на положении динамической оси потока.

Перечисленные факторы оказывают противоположное воздействие на преобразование русла: переменный подпор способствует изменению направления динамической оси потока при разных уровнях воды, тогда как направляющее действие коренных берегов при высоких уровнях содействует стабилизации динамической оси потока в нижней части участка (в горловине); подпор потока в половодье усиливает аккумуляцию наносов, тогда как добавление воды из поймы в русло способствует размыву отложений. Вследствие этого перекатные участки данной разновидности отличаются большой изменчивостью рельефа.

Слив пойменных вод часто служит причиной образования длинных песчаных кос, возникающих вдоль линии встречи пойменной и русловой водных масс и, очевидно, обязанных своим существованием возникающему по границе встречи двух потоков динамическому подпору. Непосредственно ниже косы образуется глубокая плесовая лощина, периодически углубляемая пойменной водой в годы с высокими половодьями.

Подпор, вызванный сужением, в зависимости от высоты половодья, распространяется не одинаково. Аналогичным образом изменяет свою длину и зона спада в горловине долины. В связи с этим места аккумуляции и размыва наносов ежегодно меняются (см. главу IV).

По мере перемещения каждого из отдельных перекатов вниз по течению в его режиме происходят значительные изменения. Образуюсь возле верхней границы перекатного участка, куда волна подпора распространяется только в высокое половодье, перекаат затем попадает в область, где подпор наблюдается все чаще и чаще. В связи с этим изменчивость рельефа и неустойчивость глубины судового хода прогрессивно возрастают, и перекаат становится все более и более серьезным препятствием для судоходства. Однако в нижней части перекатного участка условия существенно меняются, так как сюда достигает (при очень высоких уровнях) зона спада и сюда собираются осветленные воды с поймы, а кроме того, направление динамической оси потока в половодье становится относительно постоянным, будучи определено конфигурацией приближающихся к руслу высоких берегов. Корыто перекаата обычно спрямляется, глубина на нем увеличивается, и перекаат переходит в перевал, а иногда совершенно исчезает.



Фиг. 78. Блуждание русла на участке небольшого расширения пойменных берегов (р. Сура).

А – по промерам 9 июня 1937 г., срезка 35-32 см; Б – по промерам 2-3 июня 1945 г., срезка 215-190-175 см; В – по промерам 15-17 мая 1948 г., срезка 540-520-500-480 см; Г – по промерам 28-29 июня 1949 г., срезка 55 см.

Примером может быть Нижний Безводнинский пережат, находящийся в начале узкой горловины долины Волги у с. Безводного. В конце XIX века и начале XX этот пережат был одним из наиболее трудных для судоходства на средней Волге. В 1900-е годы он представлял собой типичный «дурной» пережат с крутым изогнутым корытом, весьма неудобным для движения судов и требующим постоянного углубления землечерпанием. Осенью 1904 г. была проведена работа по углублению пережата на новом прямом фарватере у корня верхнего побочня. Сам речной поток углубил и расширил новый фарватер, и пережат постепенно перешел в перевал. Затруднения для судоходства начались снова с 1936 г., когда спустившийся Верхний Безводнинский пережат занял то же место, которое занимал Нижний Безводнинский пережат в конце прошлого века. Интересно, что спустившийся пережат принял почти ту же конфигурацию, что и Нижний Безводнинский пережат 40 лет назад.

Пережаты на излучинах русла. Общие закономерности образования и режима пережатов на излучинах русла были рассмотрены ранее. Здесь мы остановимся только на некоторых особенностях преобразований таких пережатов.

Большая песчаная грядка, протягивающаяся обычно на извилистом участке от одного выпуклого берега к другому (фиг. 79), перерезается меженным потоком по нормали к линии ее гребня. Борозда (корыто пережата), прорезанная в песчаной грядке меженным потоком, не остается в постоянном положении по отношению к берегам. Вдоль грядки при высоких уровнях воды происходит интенсивное движение наносов. Пески, лежащие выше корыта пережата, постепенно на него наступают, а пески, составляющие низовую кромку корыта, сдвигаются в сторону нижнего побочня. Таким способом все корыто пережата смещается в сторону нижних песков и постепенно подходит почти вплотную к берегу, где под влиянием циркуляционных течений (привлекающих наносы к выпуклому берегу) корыто быстро заносится. Запруживаемый поток прорезывает новое корыто в средней части русла или ближе к верхним пескам, а затем снова начинается процесс спуска корыта в сторону нижнего побочня. В годы с высоким половодьем корыто, лежащее у нижнего побочня, обычно не заполняется наносами и нередко даже значительно углубляется, так как чем выше уровень, тем ближе к выпуклому берегу приближается динамическая ось потока. Наоборот, в годы с низким половодьем наблюдается заполнение наносами корыта у нижних песков. На Волге и Оке полный цикл изменений корыта пережата длится обычно в течение 10-15 лет, на Сев. Двине, Дону, Днепре он вдвое-втрое короче.

Во многих случаях песчаные скопления не занимают постоянного положения в излучине, а перемещаются вдоль нее. Особенно часто это явление наблюдается на участках с односторонней поймой, где извилин, в строгом смысле этого слова, нет, а можно лишь говорить о выпуклостях и вогнутостях коренного берега. Спускаясь по излучине, побочни пережата последовательно попадают в различные условия, способствующие то их пополнению наносами и замедлению движения, то, наоборот, размыву и относительному ускорению движения побочня. На процесс перестройки рельефа побочня пережата, перемещающегося по излучине, влияют расположение (при формирующем расходе воды) зон ускорения и замедления течения, зон сбоя и зон с различным направлением придонных течений.

Напомним, что на изгибе русла чередуются две зоны ускорения и две зоны замедления течения (фиг. 80, *А*). Действие зон ускорения течения и влияние сбойных берегов (фиг. 80, *Б*) на разных участках излучины в общем складываются, а действие придонных течений (фиг. 80, *В*) то складывается с первыми двумя факторами, то противоположно им.

Проследим, как отражается влияние перечисленных выше факторов на песчаное скопление, перемещающееся, например, вдоль левого берега излучины, изображен-

ной на фиг. 80, Г. На участке *a – б* придонные течения приносят к берегу наносы, но вследствие ускорения и сбоя течения вероятность отложения здесь небольшая. Побочень проходит участок *a – б*, в общем сохраняя первоначальный объем, несколько размывается в годы с высокими половодьями (когда усиливается влияние сбоя) и пополняется наносами в годы с низкими половодьями.

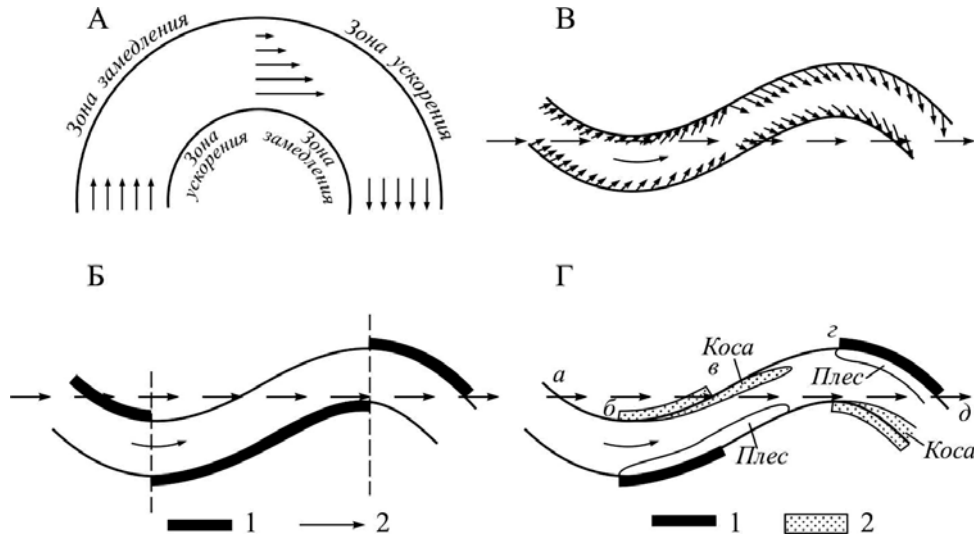


Фиг. 79. Перекат на излучине русла одной из северных рек.

На лежащем ниже участке *б – в* течения в придонном слое также направлены в сторону левого берега; поступательное движение потока здесь замедляется, а кроме того, нередко при высоких уровнях воды наблюдается отрыв струй и образование «мертвой» зоны. Побочень, спустившийся в эту зону, замедляет движение и увеличивается в объеме вследствие аккумуляции наносов. Здесь нередко образуются косы, сохраняющие довольно стабильное положение.

Еще ниже, на участке *в – г*, действие упомянутых выше факторов снова становится противоположным: придонные течения способствуют отнесению наносов от

берега, но продольные скорости течения продолжают замедляться; зона отрыва потока распространяется сюда только при высоких уровнях воды, тогда как при низких горизонтах наблюдается нередко сбой струй, переливающихся через косу. Движение побочня идет несколько скорее, чем в вышележащей зоне, но объем его изменяется мало.



Фиг. 80. Схема воздействия потока на береговые зоны в излучине.
A – векторы средних скоростей течения; *B* – расположение сбойных берегов:
 1 – прижимной берег, 2 – направление весеннего течения; *B* – направление циркуляционных течений в придонном слое; *Г* – зоны аккумуляции и эрозии:
 1 – зона преимущественной эрозии, 2 – зона преимущественной аккумуляции.

Наконец, на участке *c – d* действие всех трех факторов складывается, что обуславливает интенсивный размыв дна у берега: придонные течения удаляют наносы от берега, движение потока начинает ускоряться, вероятность сбоя сильно увеличивается. Движение побочня еще более ускоряется и объем его уменьшается. При этом нередко наблюдается «отторжение» побочня вследствие образования возле самого берега глубокой ложбины.

Цикл изменений рельефа переката характеризуется для настоящего случая: а) постепенным переходом корыта от пологого к крутому положению, при одновременном смещении в сторону верхней косы в то время, когда нижний побочень проходит верхнюю половину излучины; б) прорывом нижнего побочня вследствие образования протока возле берега в то время, когда этот побочень спустится в нижнюю часть излучины. Продолжительность цикла составляет для Волги 15-25 лет, для Днепра 3-5 лет. Данный цикл изменений рельефа противоположен тому, который был описан для переката, образованного сплошной песчаной жилой, пересекающей излучину.

Н.Н. Жуковский (1925) утверждал, что «стремление к циклическому развитию» заложено в самой природе переката, причем «законным» является цикл, состоящий в постепенном увеличении крутизны корыта и затем быстром прорыве нижнего побочня, все же остальные наблюдающиеся виды перестройки перекатов представляют собой «аномальные» явления. Если согласиться с этой точкой зрения, то в природе мы встречали бы слишком много «аномалий», так как типов циклических изменений рельефа переката может быть столько же, сколько возможно комбина-

ций расположения берегов, зон циркуляции и волн подпора спада, не говоря уже об изменениях режима, вносимых неравномерностью жидкого и твердого стока, ледоходом и другими факторами руслообразования.

Разделение русла на рукава. Можно выделить три вида разделения русла на рукава:

1. Разветвления, длина которых близка к длине изгиба меженного русла реки (т.е. к длине периметра побочня переката) – так называемые протоки. Разделяются они один от другого низкими, обычно лишенными растительности осередками.

2. Разветвления, длина которых составляет величину одного порядка с длиной излучины весеннего русла; эти разветвления мы в дальнейшем будем называть рукавами. Разделены они друг от друга островами, затопляемыми только в высокое половодье и покрытыми растительностью.

3. Разветвления очень большой длины, представляющие собой почти самостоятельные реки; режим их отличается от режима главной реки, так как наряду с питанием из главной реки они имеют самостоятельный водосбор. Разветвления последнего типа встречаются преимущественно в низовьях больших рек (например, ответвление Волги – Ахтуба, Дона – Аксай, Днестра – Таранчук и др.). Режим этих ответвлений мы рассматривать не будем, так как исследование дельт в нашу задачу не входит.

Причины образования рукавов. Наиболее частыми причинами образования разветвлений русла являются аккумуляция наносов и неравномерность стока реки.

Когда поток вступает на участок, где происходит интенсивная аккумуляция наносов, максимум наносов откладывается в том месте живого сечения, где проходит наибольший твердый расход, т.е. в стрежневой зоне. Образование осередков и островов является одним из основных признаков процесса интенсивной аккумуляции.

«Блуждание» динамической оси потока при изменении уровня воды является причиной того, что образовавшиеся разветвления приобретают известную устойчивость; поток половодья углубляет одни рукава, поток меженный – другие.

Влияние зарегулированности стока на количество рукавов обнаружил С.В. Григорьев (1932). Так, р. Выг, сток которой в отличие от большинства других рек края слабо зарегулирован озерами, выделяется обилием рукавов. При общем протяжении Выга около 150 км на нем имеется 72 острова.

Иртыш на протяжении свыше 200 км от своего истока из оз. Зайсан отличается весьма равномерным стоком; его русло здесь сильно меандрирует по равнинной степной местности, сложенной рыхлыми древнеозерными осадками, но характеризуется малым количеством рукавов.

В периоды стояния устойчивых уровней количество рукавов русла обычно уменьшается, так как часть рукавов постепенно отмирает (Андреев и Ярославцев, 1953).

На образование рукавов влияют:

а) неоднородность пород, слагающих ложе; так, на участке Днепра Кременчуг – оз. Ленина многие острова имеют в своей головной (верхней по течению) части выступы коренного скалистого дна;

б) регулярные заторы или зажоры;

в) неравномерное развитие растительности на прирусловых песках, скопления карчей на фарватере (заломы), оседание плавучих островов на перекатах;

г) размыв водами половодья оросительных и осушительных каналов на пойме, аккумуляция наносов возле затопленных судов, осевших плотов на отмелях и т. п.

Можно выделить следующие разновидности рукавов и протоков по их генезису:

1. Разделения русла, вызванные образованием осередка в результате постепенной аккумуляции в стрежневой зоне потока. Осередки подобного происхождения можно считать перекатами, потерявшими связь с берегами. Осередки вызывают подпор потока в межень тем более значительный, чем ниже уровень воды. Форма продольного профиля большинства осередков характеризуется тем, что обращенный против течения (лобовой) склон положе, чем склон, обращенный вниз по течению. По мере появления растительности на поверхности осередка его высота возрастает и нередко достигает средней отметки поймы, т.е. осередок становится островом. У острова продольный профиль поверхности обычно имеет конфигурацию, отличную от профиля осередка; лобовой скат острова круче и выше, чем скат, обращенный вниз по течению. По краям острова нередко образуются повышенные прирусловые гряды. При средне-высоких уровнях половодья, когда поверхность острова залита и над водой видны только прирусловые валы, образуются своеобразные атоллы, вход в лагуну которых обычно расположен в низовье острова (Рагозин, 1880).

2. Отрезанные косы (фиг. 81, А). Косы, расположенные в низовьях массивов поймы или за мысами коренных берегов, обычно удлиняются путем пополнения ухвостья наносами. Чем больше увеличивается их длина, тем значительнее получается разница между уровнем воды в реке и уровнем в затоне. Эта разница уровней при подъеме воды в реке, когда начинает затопляться гребень косы, способствует образованию на последнем местных быстрин. Если под влиянием усиленного течения здесь образуется борозда, то она быстро углубляется и отрезает косу или ее часть от корня.

3. Отрезанные меандры. При прорыве излучин могут иметь место два случая:

а) в прорыве, спрямляющей излучину, быстро увеличиваются глубина и ширина и в нее переходит основной расход воды; одновременно с этим в верхней части старого русла образуются массивные мели, и оно постепенно отмирает; в этом случае разветвление существует относительно недолго, так как через несколько лет от старого русла остается лишь след в виде пойменного озера или заводи;

б) в спрямляющем протоке образуются крутые излучины раньше, чем он значительно углубится и расширится; виртуальная длина протока становится равной или даже большей, чем длина основного русла; образовавшееся разветвление отличается относительной устойчивостью (фиг. 81, Б).

Характерной особенностью рукавов, недавно образовавшихся путем прорыва шеек излучин, является отсутствие отмельных берегов. У обоих берегов яры имеют «обрезной» вид: вертикальный откос с нависшими корнями деревьев, со следами свежих осыпей и подмыва.

4. Массивы поймы, отрезанные притеррасной речкой. На пойме нередко образуются вдоль основания коренных берегов узкие, но довольно глубокие рукава длиной иногда в несколько десятков километров (фиг. 81, В). В эти рукава попадает сток талых и дождевых вод с прилегающих склонов долины и с большей части поверхности поймы. В межень сток притеррасной речки пополняется в основном грунтовой водой, приток которой иногда настолько велик, что в верхних частях рукавов наблюдаются обратные течения и притеррасные речки в межень отдают воду главной реке как в устье, так и в истоке.

5. «Восьмерки» (фиг. 81, Г). На перекатных участках встречаются осередки, расположенные сериями, так что план русла напоминает цепь. Генезис и режим подобных разветвлений еще не изучены. Наиболее мелкие участки фарватера располагаются в местах «пересечения» рукавов, т.е. там, где они, сойдясь, немедленно снова расходятся. Перекаты здесь отличаются крайним непостоянством глубины в межень.

6. Сложные разветвления образуются обычно в районах «внутренних» и «устьевых» дельт. В длинных рукавах, имеющих различный расход воды, шероховатость и разную длину русла, продольный профиль водной поверхности неодинаков. Вследствие этого на одном и том же поперечнике разветвленного русла можно наблюдать различные отметки водной поверхности в каждом из рукавов. Разница в отметках водной поверхности способствует образованию поперечных протоков, перерезающих острова. В результате создаются очень сложные, запутанные системы разветвлений.

Структура потока в рукавах и режим их видоизменений. Режим перестроения рукавов и протоков в основном зависит от перераспределения расходов воды при изменениях уровня воды и характера циркуляционных течений, возникающих в местах их разделения и слияния. Названные факторы часто оказывают противоположное воздействие на развитие рукавов.

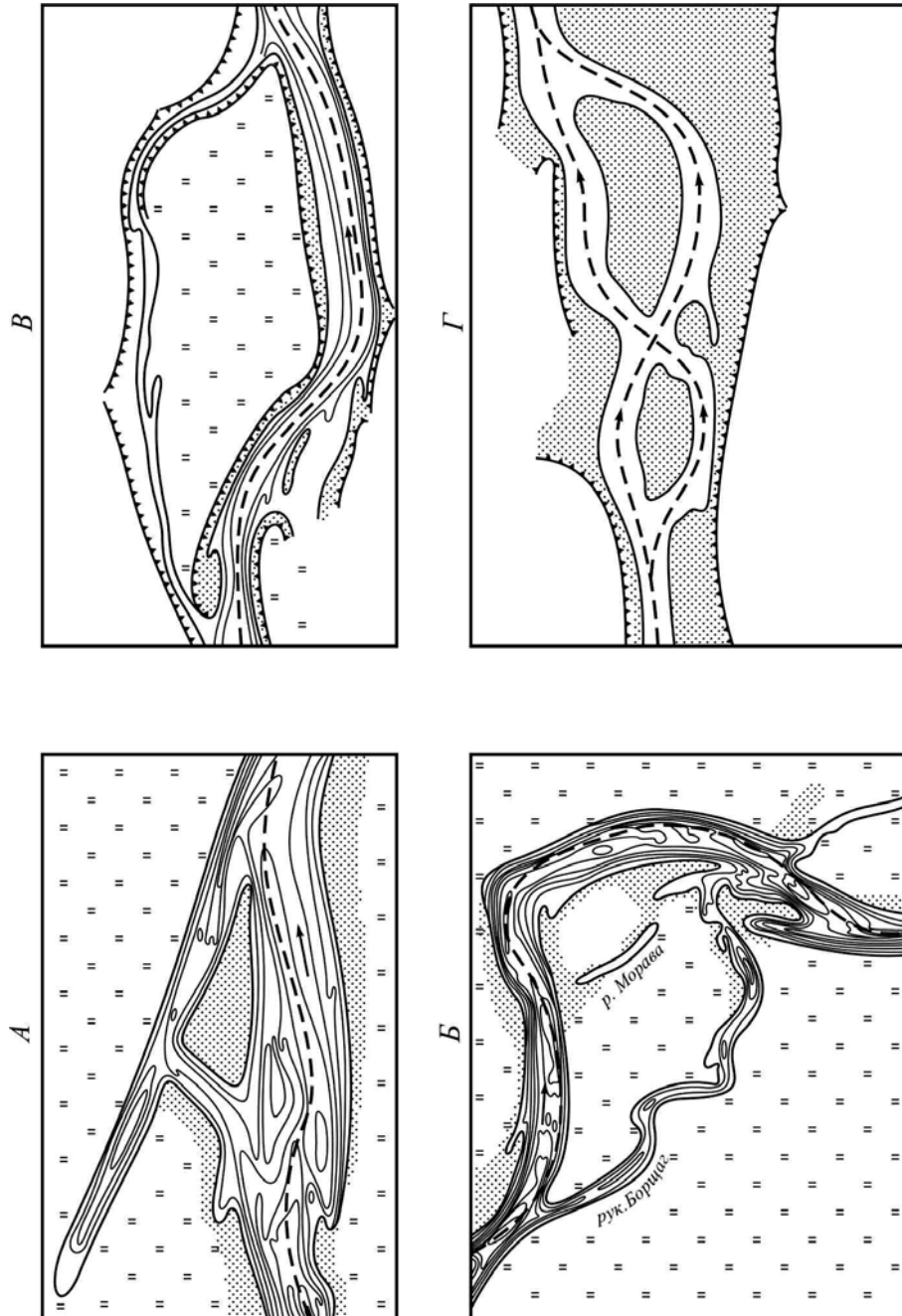
Перераспределение расходов воды между рукавами зависит от ряда условий, из которых наиболее важны форма сечения русла, характер обтекания приверха острова и положение рукава относительно динамической оси потока в половодье. Чаще всего наблюдается следующий ход явлений: в период высокого половодья (затопляющего пойму) наибольшая часть общего расхода воды концентрируется в рукавах, направление которых совпадает с основным направлением русла, т.е. в наиболее коротких и прямых; при средне-высоких уровнях, наоборот, возрастает доля расхода воды, идущая в боковые рукава; при низких уровнях воды соотношение снова изменяется и нередко главное течение реки перемещается в наиболее короткие прямые рукава, если исток их не перегороден мелями. Эту очень своеобразную зависимость распределения расхода от уровня воды обнаружил Н.М. Усов при гидрологических исследованиях р. Волги в 1930-1931 гг. Такую же зависимость мы наблюдали при исследованиях в районе Девушкиной воложки.

Циркуляционные течения в местах разделения и слияния рукавов имеют своеобразные особенности. У приверха острова, разделяющего русло, возникает подъем водной поверхности. Ему способствуют: набегание струй потока на приверх острова; поворот струй, вызванный островом (выпуклость изгиба струй в точке раздвоения направлена в сторону раздельной линии), и общий подпор потока, вызванный тем, что в результате разделения русла происходит возрастание смоченного периметра.

Наличие водного бугра на приверхе острова вызывает образование системы придонных течений, расходящихся от стрежня к берегам. Расходящиеся придонные течения способствуют размыву головы острова, которая обычно смещается вниз по течению. По образному выражению В.М. Лохтина (1879), *острова «плывут вниз по реке»*. Впрочем, в областях интенсивной аккумуляции острова могут перемещаться вверх против течения (Маккавеев, 1948).

Водяной бугор у приверха острова обычно не симметричен. Вследствие неодинаковой величины радиуса изгиба струй, ответвляющихся в каждый из рукавов, неодинаковой обтекаемости берегов и различного продольного уклона в самих рукавах крутизна склонов водного бугра неодинакова. Асимметрия бугра сказывается на системе донных течений. Преобладающее движение донных струй направляется в тот из рукавов, в истоке которого падение водной поверхности круче. Рукав, в котором наблюдается наибольшее падение водной поверхности на участке истока, собирает в себя донные струи с ширины русла большей, чем ширина его истока. Поперечные перемещения донных струй являются причиной того, что поступление в рукава наносов не пропорционально расходам воды.

Довольно часто отмечается усиленное поступление наносов в рукава, круто отходящие от основного русла. Малый радиус поворота струй вызывает на истоке та-



Фиг. 81. Формы речных островов.

ких рукавов резкий перекоп водной поверхности, усиливающийся образованием депрессии в зоне отрыва потока у плеча берега. Такой рукав *буквально «отсасывает»* наносы из главного русла (Лебявский, 1893).

Еще чаще перекоп водной поверхности создается в сторону истоков таких рукавов, средний продольный уклон которых наибольший (короткие рукава). Особенно сильное затягивание наносов в прямой рукав мы наблюдали в 1939 г. на Красноборском перекате Сев. Двины; при равенстве жидкого расхода в обоих рукавах твердый расход прямого рукава в 33 раза превосходил твердый расход в обходном рукаве.

Структура потока в местах слияния рукавов отличается еще большей сложностью и изучена пока крайне недостаточно. Непосредственно ниже ухвостья острова образуется местная депрессия водной поверхности в зоне отрыва потока, что способствует «привлечению» донных струй к ухвостью острова и пополнению последнего наносами. Однако изгиб струй в узле слияния направлен выпуклостью в сторону линии встречи потоков. Поэтому ниже депрессии зоны отрыва возникает подъем водной поверхности, вызванный изгибом струй; поверхность воды получает в общем волнообразный вид, что усложняет схему циркуляционных течений.

Общая картина местных циркуляционных течений усложняется еще и тем, что водное зеркало в зоне слияния обычно имеет перекоп в сторону одного из рукавов, т.е. отметки водной поверхности в устьях сливающихся рукавов зачастую не одинаковы. Повышенная отметка водной поверхности обычно бывает в устье того рукава, где удельный расход больше; здесь образуется типичный «бугор растекания», подобный бугру, возникающему на перекате в нижней части его корыта.

При значительном перекопе водной поверхности (возникающем обычно при большей разнице удельных расходов) донные течения в узле слияния получают преобладающее одностороннее направление, двигаясь к устью рукава с меньшими отметками водной поверхности. В результате одностороннего перемещения наносов в устье одного из рукавов нередко растет коса, перекрывающая рукав в межень почти от берега до берега.

Непосредственно ниже стрелки острова нередко наблюдается дорожка вихрей на границе между сливающимися потоками. Особенно резко эта дорожка выражена, когда рукава сходятся под углом, близким к прямому. Такую дорожку, состоящую из десятка водоворотов, с диаметром около 8 м и глубиной воронки до 0,5 м, описал Б.В. Зонов (1931).

Своеобразной особенностью гидравлического режима некоторых рукавов является наличие противотечений. Причины противотечений еще плохо исследованы, хотя они наблюдаются довольно часто. Обычно противотечения возникают в верхней половине узла разветвления, возле берега острова: течение начинается приблизительно от середины раздельного острова, огибает приверх последнего и сливается с потоком второго рукава. Такое течение, имеющее скорость до 0,6 м/сек, мы наблюдали в 1947 г. возле острова Зеленого у Сталинграда на Волге. В других, более редких случаях на всем протяжении рукава поток идет против направления течения в главном русле. Такое противотечение наблюдал С.М. Плеханов в рукаве Старый Днепр (возле г. Никополя) при уровнях воды ниже +2,03 м над нулем навигации. Наличие данного противотечения тем более удивительно, что длина рукава Старый Днепр около 5000 м, а основного русла – 5500 м.

Извилистость рукавов развивается, подчиняясь тем же закономерностям, что и извилистость основного русла: радиус извилины тем меньше, чем выше средний уклон рукава и чем меньше расход протекающей по нему воды. Характер извилины зависит и от возраста рукава: недавно образовавшиеся путем прорыва рукава имеют весьма неправильные излучины, чередующиеся с прямолинейными участками, и

лишь через несколько лет излучины получают более или менее правильный вид, согласованный с гидравлическими характеристиками потока.

Побочни перекаатов и косы, перемещающиеся с вышележащего участка реки, обычно оказывают огромное влияние на режим рукавов. Когда на остров надвигается перекаат, вначале нижний побочень последнего перекрывает исток одного из рукавов. Затем, через несколько лет, верхний побочень перекаата надвигается на исток второго рукава, вследствие чего усиливается течение по первому рукаву. Надвигание побочной является одной из причин периодического «отмирания» и «развития» рукавов, а также усложнения формы островов, береговая линия которых вследствие приращения песчаных массивов приобретает нередко весьма неправильные очертания.

УСТЬЯ ПРИТОКОВ

В устьевых участках притоков русловый режим сильно усложнен переменным воздействием со стороны главной реки. Это воздействие зависит от того, как сочетаются гидрологические и гидравлические характеристики сливающихся рек. Основными факторами, влияющими на русловый режим в устьях, являются: 1) соотношение амплитуд уровней, 2) соотношение сроков прохождения половодья, 3) соотношение мутности сливающихся потоков и крупности транспортируемого ими материала, 4) характер ледохода в обеих сливающихся реках.

Соотношение амплитуд уровней и сроков прохождения половодья может быть самое разнообразное, так как характер погоды в бассейнах сливающихся рек обуславливает каждый год различные изменения хода уровней. Все же в некоторых случаях можно выделить притоки, половодья которых проходят обычно без подпора, и притоки, половодье которых часто сопровождается значительным подпором со стороны главной реки. Назовем устья притоков с половодьем первого типа бесподпорными, а второго – подпорными.

Бесподпорные устья формируются тогда, когда в притоке половодье выше или оно наступает раньше, чем на главной реке. Волна половодья, проходя без подпора по устьевому участку, должна распластаться при выходе в долину главной реки, так как ширина и емкость русла последней превосходят ширину и емкость русла притока. При этом создается добавочный уклон (спад), способствующий увеличению скорости течения в приустьевой части притока, размыву дна и выносу наносов в главную реку. Дно притока в приустьевой зоне становится ниже, чем дно главной реки, вследствие чего в межень его поток находится в подпоре. Глубокие плесы с илистым дном – характерная особенность приустьевых участков таких притоков. Типичные примеры бесподпорных устьев можно наблюдать у притоков Невы и нижнего Амура. Переуглубление устьев у этих притоков вызвано тем, что половодье на них проходит в то время, когда уровень воды в главной реке низок. Чем ближе к верховьям Амура, тем реже наблюдается переуглубление, так как половодье на главной реке и на притоках протекает почти одновременно. Это явление послужило поводом к предположению об опускании низовий р. Амура.

Обратное соотношение наблюдается на Енисее: в верховьях реки у небольших притоков довольно часто глубина в устьях сравнительно велика (Близняк, Хрусталев и Унковский, 1914), тогда как в среднем течении и низовьях подобные по размеру притоки имеют очень малые глубины; половодья низовых притоков чаще находятся в подпоре, чем верховых. Разная высота половодья, по-видимому, сказывается на соотношении глубин в узле слияния Ангары и Енисея: глубины Енисея в том месте больше, чем в устье Ангары. Енисей имеет более высокое половодье, что и вызывает более энергичную глубинную эрозию в его устье.

Если между средним уклоном притока и главной реки нет очень большой разницы, то долина бесподпорного притока обычно суживается в приустьевой зоне¹. Здесь нередко образуется типичный район глубинной эрозии с узкой поймой и преобладанием глубоких плесов. На это явление впервые обратил внимание И.М. Крашенинников (1913), который установил, что у рек Забайкалья образование теснин в узлах слияния не зависит от особенностей геологического строения долины и характера горных пород. Причину ослабления боковой эрозии в приустьевой зоне И.М. Крашенинников связывал с образованием местной быстрины (спада) в устье.

Подпорные устья наблюдаются чаще, так как половодье на главной реке обычно имеет большую высоту, чем на притоке. Влияние подпора особенно резко сказывается на формировании устья в тех случаях, когда сроки прохождения половодья на сливающихся реках приблизительно одинаковы, т.е. подпор распространяется на приток в тот период, когда воды его несут много наносов. Переменный подпор потока в половодье способствует развитию широкой поймы.

Подпор в период половодья нередко сопровождается противотечениями. На притоках Волги такие противотечения можно наблюдать довольно часто (Рагозин, 1880). Противотечение на р. Самаре (приток Волги) достигало такой силы, что сорванные им баржи разбивались об устой моста. В низовье р. Костромы встречные течения распространяются на 60 км вверх от устья. А.Я. Бронзов (1927) наблюдал в 1924 г. течение из Волги в Мологу на расстоянии 60-70 км вверх по последней, продолжавшееся несколько дней.

В 1942 г. подъем уровня половодья на р. Урал отличался значительной интенсивностью; у г. Орска с 23 по 29 апреля уровень поднялся на 8 м. У г. Чкалова наиболее резкий подъем наблюдался с 1 по 2 мая, когда вода прибыла на 3,65 м в течение суток. В приустьевом участке Сакмары, впадающей в р. Урал в 3 км ниже Чкалова, с 30 апреля наблюдалось противотечение, продолжавшееся около 70 часов. Скорость его в створе в 2 км выше устья достигла в первые же часы 1,5-2,0 м/сек, но затем постепенно начала убывать и к концу вторых суток составляла 0,25-0,50 м/сек. Бревенчатое здание кузницы парохозяйства было перенесено вверх по Сакмаре и впоследствии найдено застрявшим в лесу. По свидетельству старожилов, подобные противотечения Сакмары за последние 50 лет повторялись трижды¹.

Встречные течения часто наблюдались в низовье р. Москвы, так как половодье на Оке обычно наступает раньше и большое расширение долины Москвы ниже Фаустова заполняется окской водой.

В реках, где подпор распространяется на период половодья, скопившиеся отложения размываются меженным потоком. Меженное русло формируется в виде узкого и глубокого канала, извивающегося среди широкой поймы. Продольный профиль на всем протяжении зоны подпора высоких вод имеет в межень выпуклую форму (с постепенным возрастанием уклона вниз по течению). Так, в р. Б. Кокшага (приток Волги), по данным Б.Ф. Добрынина (1933), уклон на участке Санчуганск – устье распределяется следующим образом:

Расстояние от устья, км	Средний уклон
177-127	0,00004
127-53	0,00019
53-27	0,00023
27-10	0,00030
10-0	0,00060

¹ Если приток имеет очень большой уклон по сравнению с уклоном главной реки, то его долина, вне зависимости от режима подпоров, в приустьевой зоне расширяется, так как резкое уменьшение уклона способствует здесь образованию внутренней дельты.

¹ Личное сообщение Ю.Я. Гурьева.

Притоки, пересыхающие в межень, так же как и небольшие овраги, имеют нередко «висячий» продольный профиль, т.е. почти вертикальный или очень крутой уступ в приустьевой части. Многие притоки рек Русской равнины имеют выпуклый продольный профиль. Наличие крутых участков продольного профиля в низовьях притоков некоторые исследователи без должного основания принимают в качестве признака новейших тектонических движений или «молодости» образования главной реки (Мордвинов, 1940; Добрынин, 1933).

Чаще всего встречаются притоки, устьевый режим которых представляет собой нечто среднее между подпорным и бесподпорным. Поэтому описанные выше типы устьев не всегда выражены с достаточной отчетливостью.

Влияние режима наносов на соотношение глубин в устьях сливающихся рек особенно отчетливо прослеживается в небольших речках, вытекающих из озер и прудов. Глубины в устьях этих маленьких речек нередко превосходят глубину главного русла. Маленькие «луговые» или «болотные» речки лесной и лесостепной зон нередко имеют глубину в устье, достигающую до 8-10 м. Различие в крупности наносов сливающихся рек оказывает влияние на конфигурацию всего узла слияния.

Образование заторов весеннего льда в низовьях притоков весьма существенно влияет на морфологию устья. Западные притоки Сев. Двины, вскрывающиеся раньше, чем главная река, в своих устьевых частях имеют мелкое, разделенное на рукава русло. Гигантские заторы, образующиеся в приустьевых частях этих притоков, способствуют обмелению основного русла и углублению боковых рукавов, прорезающих пойму. Таково происхождение серии мощных рукавов Малой Сев. Двины в районе Котласа, где образование больших весенних заторов – весьма частое явление. Наоборот, устье Вычегды, вскрывающейся позже Малой Сев. Двины и характеризующейся «спокойным» режимом ледохода в низовьях, имеет меньше рукавов и обладает относительно большей глубиной. Следовательно, более раннее половодье не всегда способствует углублению устья.

На гидрологический режим приустьевого участка нередко сильно влияет потеря воды вследствие фильтрации в наносы долины.

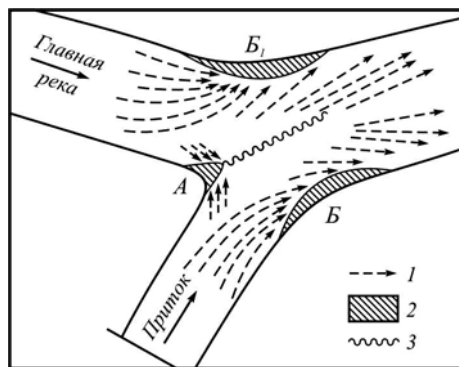
Русловый режим устья притока иногда испытывает быстрые изменения в результате блуждания русла главной реки. Вынужденные изменения длины приустьевого участка сказываются на величине среднего уклона в низовьях притока и в усилении или ослаблении эрозионных процессов.

Устья маленьких притоков могут быть на ряд лет заблокированы побочными перекатами главной реки. Например, на Волге возле г. Куйбышева Аннаевский побочный перекрыл устье Самары, что вызвало необходимость проведения огромного объема землечерпательных работ по углублению фарватера Самары.

Режим отмелей в устьевом участке характеризуется очень большой сложностью, так как эти отмели находятся под воздействием течений главной реки и притока. В зависимости от фазы гидрографа каждой из сливающихся рек, нередко значительно меняется направление течения. Раздельная коса обычно прорезается серией рукавов, по которым (в зависимости от соотношения уровней) происходит перелив то из главной реки в приток, то в обратном направлении. Поскольку русло притока нередко имеет глубину большую, чем русло главной реки, поток последней часто перерождается целиком в рукав, захватывая устье притока и принимая направление последнего ниже узла слияния. Это явление, названное В.В. Ламакиным (1951) «*втягиванием притоком русла главной реки*», некоторыми авторами считается признаком образования реки путем перехвата ряда других рек. Подобное суждение высказывал, например, А.А. Борзов (1922) по отношению к долине верхней Волги.

Если сливающиеся реки имеют приблизительно одинаковый удельный расход воды, то в пределах узла слияния образуются три депрессии водной поверхности у

береговых зон (фиг. 82). Одна из них, обозначенная буквой *A*, возникает около стрелки, где струи обоих потоков отрываются от берега. В области встречи самих потоков проходит вихревая дорожка. У берегового плеча каждой из сливающихся рек вследствие изгиба потока также возникают депрессии, обозначенные на схеме буквами *B* и *B₁*. Донные течения (показаны на схеме пунктирными линиями) привлекаются к областям депрессий, где и создаются благоприятные условия для аккумуляции наносов. В области вихревой дорожки нередко также наблюдается аккумуляция наносов, хотя дорожка проходит в области повышенных отметок водной поверхности. В зоне *A* и в области вихревой дорожки аккумулируются наносы, доставляемые обеими сливающимися реками. В зону *B* поступают наносы из притока, а в зону *B₁* – наносы из главной реки.



Фиг. 82. Схема донных течений в узле слияния речных потоков.
1 – донные течения; 2 – депрессии водной поверхности у берегов; 3 – дорожка вихрей.

Приведенная схема может сильно измениться, если при разливе одна из рек затопит устье второй, однако ее следует считать основной при определении некоторого наиболее общего направления процесса. От того, насколько интенсивно будет пополняться наносами та или иная зона, зависит темп роста отмелей, а следовательно, и общая конфигурация узла слияния. Рассмотрим два случая.

1-й случай. Насыщенность вод наносами и крупность наносов притока меньше, чем принимающей реки. Интенсивность отложений в зоне *B* значительно уступает интенсивности отложений в зоне *B₁*. Мель в главной реке растет быстрее и отжимает поток к противоположному берегу, что способствует еще большему ослаблению аккумуляции в зоне *B* и частичному размыву находящейся здесь мели. Происходит «втягивание» притоком главной реки; плечо берега в зоне *B* может быть постепенно сглажено, и главная река примет ниже узла слияния направление притока. Следует, впрочем, заметить, что чаще всего причиной «втягивания» является, как отмечалось выше, переуглубление устья притока.

2-й случай. Насыщенность воды наносами и размер их в притоке больше, чем в главной реке. В зоне *B* происходит интенсивное отложение наносов, растущая здесь отмель отжимает русло притока. Устье притока «втягивается» главной рекой и может даже занять встречное положение к течению последней. Поэтому обычно речки, стекающие с крутых склонов долины и несущие крупные наносы, впадают в главную реку под углом, близким к прямому, или принимают встречное направление. В районе плеча берега (ниже устья) образуется коса, сложенная из крупного материала, вынесенного притоком, и вдающаяся иногда далеко в русло главной реки. В Сибири такие косы называют «каргами». Они характерны для рек, долины которых имеют крутые, близко подступающие к руслу склоны.

В некоторых случаях устья небольших, так называемых «луговых» рек, прорезающих широкую, хорошо задернованную пойму большой реки, могут быть весьма стабильными и процесс роста отдельной косы никакого влияния на ориентировку устья не оказывает. Положение устья определяется характером размыва берега: в зависимости от того, какая часть излучины притока отмыта главной рекой, устье может получить различное положение, вплоть до встречного по отношению к главному течению.

В устьях подпорного типа вся зона переменного подпора обычно характеризуется обилием перекатных участков, иногда сливающихся в один сплошной участок. Режим таких участков обычно имеет своеобразные особенности. Гребни перекатов интенсивно наращиваются лишь в течение того времени, когда расход воды у притока значительный. Половодье на главной реке продолжается обычно дольше, и расход воды в притоке уменьшается гораздо быстрее, чем снижение уровня в подпертой его части. Рельеф перекатов становится все более стабильным, так как по мере уменьшения скорости течения поток приносит все меньше наносов. Последние оседают тонким равномерным слоем как на гребнях перекатов, так и в плесовых лощинах. Размыв гребней перекатов начинается только тогда, когда полностью спадает волна подпора, т.е. при низких меженных уровнях. Глубина на перекатах в это время резко уменьшается, и они буквально «закупоривают» русло. Если не производилось заблаговременно землечерпания, то даже у сравнительно крупных притоков глубина на приустьевых перекатах уменьшается в начале межени до 10-15 см, тогда как на вышерасположенных перекатах глубина в несколько раз больше.

В заключение следует отметить еще одну особенность морфологии устьев притоков, связанную с режимом потока и особенно характерную для подпорных устьев. Подпор в половодье способствует тому, что динамическая ось весеннего потока образует кривые весьма большого радиуса, тогда как меженный поток, имеющий большой уклон, формирует крутые изгибы с малым радиусом кривизны. Наличие «вложенных» меандр на р. Вар (впадающей в р. Мозель) послужило поводом Дэвису (Davis, 1896) высказать предположение о резком уменьшении расхода этой реки, случившемся в недалеком прошлом. Однако вложенные меандры встречаются очень часто в подпорных устьях притоков, изменения стока которых в недавнем прошлом не происходило. Таково, например, строение долины Волги непосредственно выше впадения р. Оки: меженное русло резко изгибается по дугам малого радиуса среди побочной перекатов, тогда как пойменные берега располагаются по отлогим кривым весьма значительного радиуса. Вложенные меандры образовались лишь в пределах зоны наиболее активного воздействия переменного подпора со стороны р. Оки (Горький – Городец), а если бы причиной этого явления было уменьшение стока, то оно, несомненно, наблюдалось бы на всей верхней Волге.