

УДК 551.435.1

СЕЗОННЫЙ РЕЖИМ ДЕФОРМАЦИЙ ПЕРЕКАТОВ РАВНИННЫХ РЕК¹

© 2012 г. Р. С. Чалов

*Московский государственный университет**119991 Москва ГСП-1, Ленинские горы*

Поступила в редакцию 19.02.2010 г.

Рассмотрены различные схемы внутригодовых переформирований перекатов от половодья к межени и осенним паводкам. Показано, что они проявляются в смещении их корыта от верхнего побочня к нижнему, в накоплении наносов в одну фазу водного режима и размыве гребней в другую, а также в надвигании на седловину переката грядовых микро- и мезоформ руслового рельефа. Выявлены различия в режиме перекатов, сложенных песчаными и галечно-валунными наносами, специфика режима перекатов на реках криолитозоны и перекатов, осложненных скальными выступами на дне.

Ключевые слова: перекаты, сезонные деформации, аккумуляция, размыв, половодье, межень, корыто и седловина переката, мезо- и микроформы руслового рельефа.

Перекаты на равнинных реках представляют собой крупные, сложно построенные и очень динамичные формы руслового рельефа, определяющие, в первую очередь, возможности эксплуатации рек как водных путей. В 30–60-е гг. XX в. перекатам была посвящена обширная литература, в которой рассматривались особенности их переформирований как в многолетнем, так и в сезонном масштабах времени и обосновывались принципиальные схемы трассирования прорезей для обеспечения требуемых в навигацию (гарантированных) глубин [4, 6, 8–10, 13, 18]. Последние публикации этого периода наносятся к началу 1970-х гг. [3, 11, 19]. В дальнейшем проблема перекатов отошла на второй план, поскольку с конца 1960-х и до начала 1990-х гг. акценты в исследованиях русловых процессов на судоходных реках сместились на изучение деформаций форм самого русла (серий излучин, разветвлений) для разработки проектов коренного улучшения водных путей. Однако происшедшее с середины 1990-х гг. резкое сокращение дноуглубительных работ привело к восстановлению на реках их естественного руслового режима и бытовых глубин на перекатах. В этих условиях на первый план вновь выдвинулись задачи изучения переформирований перекатов и оптимизации на основе выявленных особенностей их многолетнего и особенно сезонного режима трассирования землечерпательных прорезей.

Цель предлагаемой статьи – на основе обобщения материалов многолетних исследований перека-

тов на судоходных реках России показать многообразие сезонных режимов деформаций перекатов, выделить основные их типы и определить условия, в которых они проявляются. Важность этого возрастает в связи с происходящими и прогнозируемыми изменениями водности рек, как естественными, так и вследствие регулирования стока гидроузлами, – главного активного фактора русловых процессов.

ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕКАТОВ В СИСТЕМЕ ВЕРХНИЙ ПОБОЧЕНЬ–СЕДЛОВИНА–НИЖНИЙ ПОБОЧЕНЬ

Морфологически каждый перекат представляет собой крупное скопление наносов между глубокими плесовыми ложинами, имеющее вид большой гряды – макроформы, протягивающейся под некоторым углом от одного берега до другого, или серии последовательно надвинувшихся друг на друга гряд, также составляющих мелководную перемышку между плесами. В пределах перекатов выделяются верхний, нижний побочни и седловина между ними [5]. В межень побочни обсыхают, и поток, сосредотачиваясь на седловине переката, формирует вдоль стрежня корыто – более глубокую ложбину, по которой в маловодный период на судоходных реках проходит фарватер. Во время половодья побочни затоплены, ширина водной поверхности возрастает в 1.5–2 раза, а стрежень потока часто располагается над побочнями. В результате происходит смещение верхнего побочня вниз по течению, его удлинение или рост косы в устье с образованием затонины на месте верхней части нижней плесовой ложины (рис. 1а). Корыто переката вследствие этого оттесняется в сторону нижнего побочня. Одновременно в подвалье переката возникает подзатружное тече-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 05-09-00221) и программы Президента РФ поддержки ведущих научных школ (проекты НШ-790-2008.5 и НШ-3284.2010.5).

ние, направленное от ухвостья верхнего побочня к нижнему. Благодаря ему в этом же направлении перемещаются наносы, способствующие обмелению корыта переката по мере его смещения к нижнему побочню. В итоге снижение уровней на спаде половодья оказывается меньшим, чем возможный размыв гребня переката при образовании корыта на его седловине. Возникающая относительно мелководная перемычка оказывает подпорное воздействие на поток в верхней плесовой ложине. Между ней и верхней частью нижней плесовой ложины или затонской частью переката возрастает поперечный уклон, наибольшие значения которого наблюдаются вдоль ухвостья верхнего побочня. Во время осенних паводков, когда уровни воды в реке увеличиваются, в направлении наибольшего поперечного уклона водной поверхности смещается стрежень потока, происходит размыв гребня переката, и здесь, возле верхнего побочня вновь располагается корыто переката. Нередко это сопровождается отторжением ухвостья побочня, образованием осередка на седловине переката и полной ликвидацией затонины. Если мощность потока во время паводков недостаточна, то это происходит на следующий год во время половодья. Образовавшийся осередок в дальнейшем причленяется к нижнему побочню, вызывая увеличение его размеров.

Таким образом, на протяжении одного весенне-летне-осеннего сезона на реках с неустойчивым или слабоустойчивым руслом, имеющим половодье, межень и осенние паводки, сезонные деформации перекаатов заключаются во внутригодовом смещении корыта переката от верхнего побочня к нижнему, а иногда и его возвращении в исходное положение (к верхнему побочню). На реках с более устойчивым руслом и, соответственно, меньшей интенсивностью переформирований подобные перестройки переката осуществляются в течении ряда лет и, следовательно, уже относятся к категории многолетнего режима перекаатов.

На этом фоне во время летне-осенних паводков может происходить и общее смещение побочней, которые надвигаются на узлы разветлений русла, особенно — вторичные в основных рукавах реки, вызывая миграцию стрежня потока по протокам возле небольших островов (рис. 1б), отторжение побочней от берегов, периодическое развитие в разные фазы режима проток возле осередков на сложных перекатах и т.д. На верхней Оби перераспределение стока воды в протоках вторичных разветлений русел основных рукавов происходит иногда два-три раза за одну навигацию.

АККУМУЛЯЦИЯ НАНОСОВ (ОБМЕЛЕНИЕ, НАМЫВ) И РАЗМЫВ ПЕРЕКАТОВ В РАЗНЫЕ ФАЗЫ ВОДНОГО РЕЖИМА

Во многих случаях деформации перекаатов сводятся к намыву (обмелению седловин вследствие

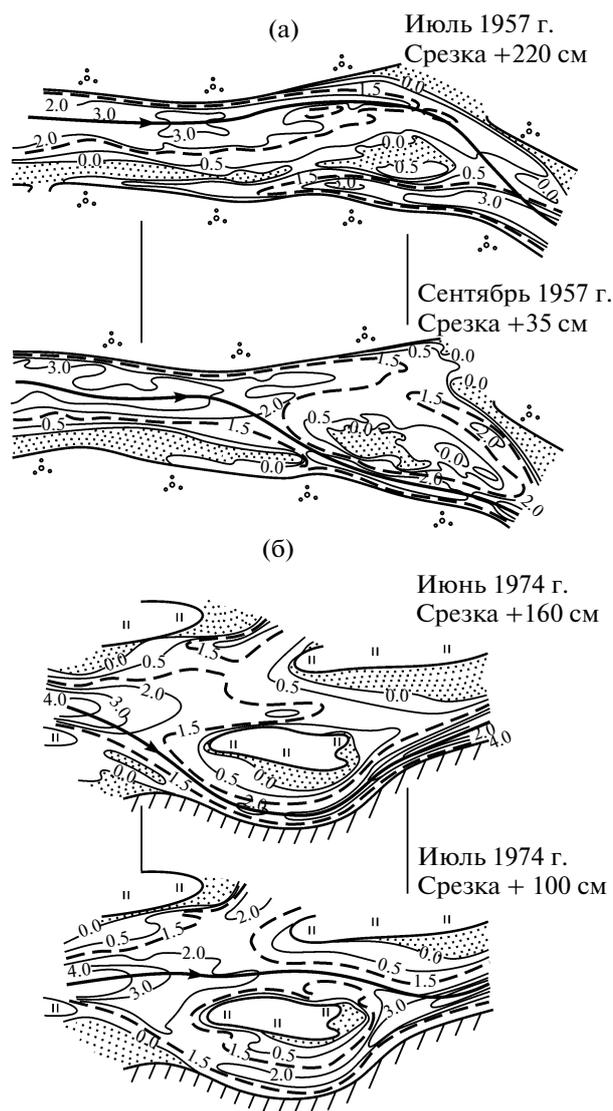


Рис. 1. Сезонные переформирования перекаатов верхней Оби. а — смещение корыта переката от нижнего побочня к верхнему (Нижний Дресвянский перекат); б — изменение положения главного течения рукава по протокам возле элементарного острова, образующего вторичное разветвление в рукаве вследствие смещения побочней (Кундышевский перекат).

аккумуляции наносов) в половодье (паводки) и размыву с образованием как самой седловины, так и корыта переката на спаде половодья и в межень (рис. 2). В половодье, при руслоформирующих расходах воды происходит образование крупных гряд руслового рельефа — перекаатов, соизмеримых с шириной и глубиной русла и представляющих собой либо формы движения наносов при большом их стоке W , либо результат снижения транспортирующей способности потока $W_{тр}$ и местной аккумуляции наносов. Благодаря этому возрастает местный уклон, происходит сжатие потока по вертикали и

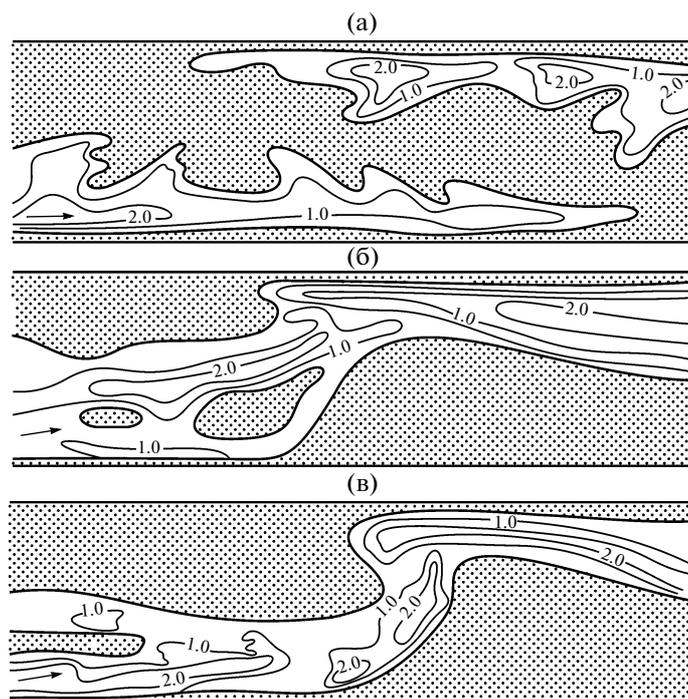


Рис. 2. Расчленение единой гряды переката, сформировавшегося в половодье (а), на спаде уровней (б) и в межень (в) на побочни и седловину [10].

восстанавливается соотношение $W = W_{тр}$. На спаде половодья (паводка) и в межень поток сосредотачивается в сравнительно узкой части русла между побочными, осуществляя размыв гребня, в котором формируется седловина, а затем и корыто переката. Однако относительная маловодность потока по сравнению с половодьем и снижение водности при переходе к межени не обеспечивают вынос всего накопившегося на перекате материала, и он сохраняется в виде мелководной перемычки между побочными, разделяющей плесовые лощины. В среднем по высоте половодье амплитуда отметок дна на перекатах больших рек составляет 1.5–2.0 м, в высокие половодья 3–4 м.

Интенсивность аккумуляции наносов на перекате во время половодья тем больше, чем больше сток наносов. В предельном случае, типичном для таких рек как Амударья или Хаунхэ, повышение отметок дна Δz следует за подъемом уровней ΔH , и $\Delta z = \Delta H$. На большинстве же рек $\Delta z < \Delta H$, т.е. повышение отметок дна отстает от повышения уровней, хотя это и приводит на перекатах к выравниванию поверхности дна в системе побочень – седловина – побочень, и отметки на седловине переката становятся близки к отметкам поверхности побочней. Однако полного выравнивания отметок не происходит, и побочни часто оказываются более высокими, чем седловина. Во-первых, это объясняется тем, что стрежень потока располагается в половодье ближе к одному из берегов; соответственно, здесь

больше удельный расход наносов, который при спаде уровней формирует более высокий побочень (это проявляется и в повышенной крупности отложений на этом побочне); во-вторых, вдоль берегов из-за взаимодействия пойменного и руслового потоков и сопротивлений со стороны берегового откоса происходит его торможение, и в половодье здесь накапливается больше наносов, чем в стрежневой зоне (в этом случае побочни характеризуются пониженной крупностью отложений по сравнению со стрежневой зоной потока); в-третьих, при наличии даже слабой извилистости русла побочни, располагаясь у выпуклых берегов в нижних крыльях излучин, оказываются в зонах замедления скоростей потока и привноса наносов циркуляционными течениями.

При условии $\Delta z = \Delta H$ прирост глубины на гребне переката Δh с ростом высоты уровня воды H не происходит; при повышении уровня воды $\Delta H > \Delta z$ кривая связи $H \sim h$ имеет на графиках угол с осью абсцисс (рис. 3), т.е. глубина h на перекате растет, но меньше по сравнению с уровнем воды из-за происходящей на нем аккумуляции наносов. Причина накопления наносов на перекатах (их намыва) кроется в следующем: при подъеме уровней воды происходит затопление побочней, вследствие чего на перекате растет площадь живого сечения, уклоны водной поверхности уменьшаются, а скорости течения V , соответственно, оказываются меньше, чем в

пределах вышележащей плесовой ложины; в результате на перекате аккумулируются наносы.

На спаде половодья (паводка) и в межень ситуация на перекате меняется. При этом начинает сказываться подпорное воздействие переката [10]. Уклоны на гребне переката становятся больше, скорости течения растут, на гребне переката происходит размыв, формируется корыто переката. При этом зона размыва по мере спада уровней сокращается не только по ширине из-за снижения водности потока, но и по длине, сосредотачиваясь в узкой пригребневой части гряды (рис. 4а).

Существенное влияние на сезонные изменения рельефа переката оказывает подзаstrужное течение, которое в подвалье перемещает наносы от верхнего побочня к нижнему, о чем говорилось выше. Кроме того, при низких уровнях в результате изгиба динамической оси потока возле побочня наносы в придонных слоях направляются в верхней части седловины переката в сторону верхнего побочня, в нижней — к нижнему побочню, что обуславливает разнонаправленную реакцию корыта переката на верховом склоне и на гребне переката: в первом случае — обмеление в верхнем положении, во втором — в нижнем.

Поперечные перемещения наносов на перекате происходят на фоне общего переноса материала с верхового склона гряды (или даже из верхней плесовой ложины) в подвалье, благодаря чему перекат в целом смещается вниз по течению. При высоких уровнях доминирующее значение имеет продольный поток наносов. Перемещение наносов тесно связано с гидравлическим режимом потока на перекате, который аналогичен режиму на затопленном водосливе с широким порогом. Чем ниже уровень воды, тем больше добавочное падение на перекате ($\Delta H_m > \Delta H_n$). Непосредственно выше линии свала воды через гребень переката на расстоянии l устанавливается зона спада, что проявляется в местной посадке уровня на гребне. С повышением горизонтов воды удлиняется зона спада ($l_n > l_m$). В половодье, когда динамическая ось потока спрямляется, пересекая под углом корыто переката, последнее заполняется наносами и отметка гребня повышается. Со снижением уровня и увеличением уклона стесненный побочнями поток начинает размывать корыто переката, отметка гребня понижается. При этом размыв начинается у верхней границы зоны спада. При дальнейшем понижении уровней начало зоны спада перемещается ближе к гребню переката, куда соответственно перемещается и фокус размыва. Это обуславливает формирование корыта переката, положение и глубина которого связаны как с гидравлическим режимом на спаде половодья и в межень, так и с поперечным перемещением наносов вследствие развития циркуляционных течений на изгибе потока и подзаstrужного течения в подвалье.

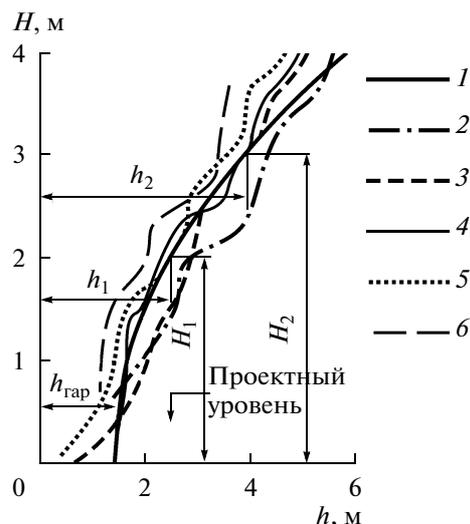


Рис. 3. Зависимость глубины потока на корыте одного из перекатов (судовом ходу) от высоты стояния уровня воды. 1 — обобщенная кривая за многолетний период; 2–6 — фактические кривые за 5 лет; $h_{гар}$ — минимальная гарантированная глубина на перекате; H_1, H_2 — уровни воды; h_1, h_2 — глубины, соответствующие уровням воды H_1 и H_2 .

В начале спада уровней интенсивность размыва превышает интенсивность предшествовавшего намыва; однако затем интенсивность размыва ослабевает, и в течение всего последующего спада уровня она остается меньшей, чем интенсивность намыва на подъеме уровня. Вследствие этого при одном и том же уровне на спаде наблюдаются повышенные отметки гребня относительно таковых на подъеме паводка, т.е. глубины на перекате, приведенные к срезочному уровню, будут при прочих равных условиях на спаде паводка меньше, чем на его подъеме.

На интенсивность намыва–размыва переката существенное влияние оказывает скорость изменения уровней воды $\Delta H/\Delta t$ на спаде половодья и при прохождении паводков: на Северной Двине размыв переката в годы с более медленным спадом уровней половодья меньше, чем в годы с резким падением уровней; наоборот, наносов на перекате накапливается больше при медленном изменении уровней и меньше — при быстром [7].

Таким образом, “с уменьшением в половодье поверхностных уклонов на перекатах... происходит отложение... наносов... При спаде воды отложения размываются, и, как правило, в межень отметка перекатов снижается...” [20]. Эта формулировка из-за типичности явления и сравнительно простого объяснения превратилась в общепризнанную схему сезонного развития перекатов, войдя в учебную литературу как единственно возможная. Однако многочисленные наблюдения, основанные на анализе материалов регулярных промерно-съёмочных работ (планов перекатов), выполняемых изыскатель-

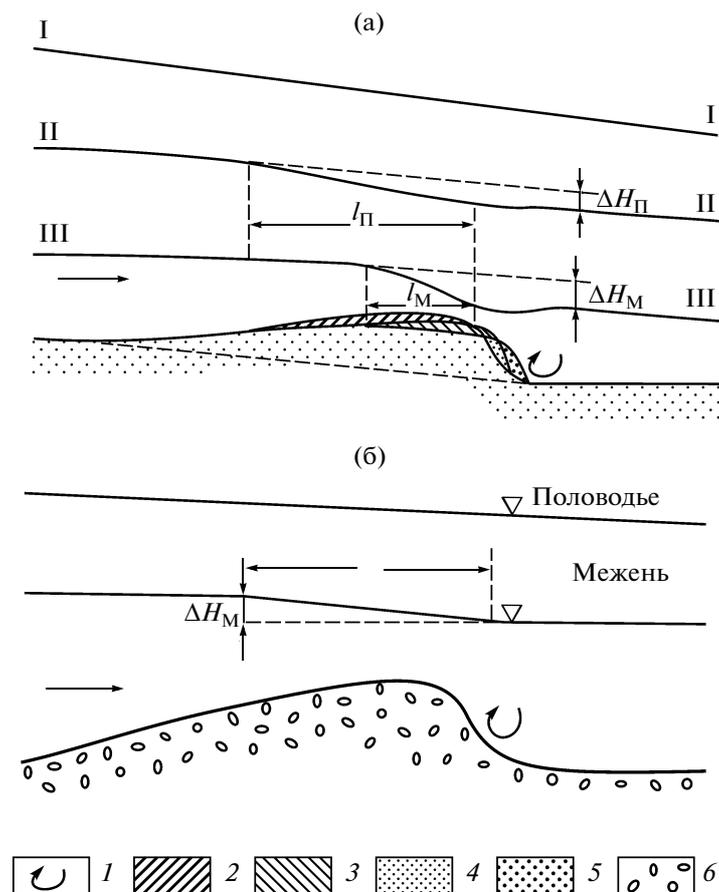


Рис. 4. Изменение продольного профиля водной поверхности на песчаном (а) и галечно-валунном (б) перекате. I—I – половодье; II–II – спад половодья; III–III – межень, м; $\Delta H_{\text{п}}$, $\Delta H_{\text{м}}$ – перепад уровней соответственно в половодье и в межень; $l_{\text{п}}$, $l_{\text{м}}$ – длина зоны спада уровней в половодье и в межень соответственно; 1 – валец в подвалье гряды; 2, 3 – слой размыва гребня песчаного переката на спаде половодья и в межень соответственно; 4, 5 – слой аккумуляции наносов в подвалье на спаде половодья и в межень [10 с дополнениями автора статьи]; 6 – галечно-валунные отложения.

скими партиями на водных путях, позволяют утверждать следующее.

Во-первых, что во внутригодовом цикле наибольшая аккумуляция наносов (намыв) на большинстве перекатов независимо от их местоположения и многолетней динамики происходит уже во время спада половодья или паводков. На подъеме уровней и на пике половодья (паводка) рост мощности потока, его скоростей и транспортирующей способности обуславливает массовое вовлечение наносов в движение, смещение побочней, причем значительная часть наносов переносится во взвешенном состоянии. С понижением уровней (и водности) половодья снижается $W_{\text{тр}}$, что обуславливает переход взвешенных наносов во влекомые, их остановку, образование гряды переката и накопление (аккумуляцию) на ней наносов. Лишь в межень, а иногда и при невысоких дождевых паводках корыта перекатов размываются и углубляются, так как поток, сосредотачиваясь на них, имеет здесь повы-

шенные уклоны. Иными словами, модель режима «перекаты намываются в половодье, размываются в межень» справедлива в обобщенном виде, осредняющем изменения за большие промежутки времени, соответствующие основным фазам водного режима (половодье в целом, межень в целом).

Во-вторых, в действительности сезонные преформирования перекатов намного разнообразнее, чем в приведенной схеме. Так, еще Г.И. Шамова [20] по режиму аккумуляции наносов и размыва предложил выделить две группы перекатов: с намывом гребня в половодье и в начале его спада и его последующим размывом, который может наблюдаться в конце спада уровней; размывающиеся в течение половодья (паводка) и намываемые в конце его спада; в дальнейшем они или размываются или на них только понижаются отметки дна. Неоднозначность сезонного режима перекатов отмечал Н.И. Маккавеев [6]. Позднее он разделил их по сезонному изменению глубин на три группы: со ста-

бильными и мало изменяющимися отметками; размываемые в половодье (паводки) и намываемые (“наращиваемые”) в межень; намываемые (“наращиваемые”) в половодье и размываемые в межень.

В-третьих, если в меженный период поток на седловине переката расплывается, то размыв корыта переката не происходит или он очень незначительный. На нижней Вычегде, например, из-за этого глубины на перекатах в межень снижаются до 0.7 м.

На реках с галечными и галечно-валунными наносами вследствие формирования отмостки на спаде уровней перекаты превращаются в практически жесткие водосливы, на которых понижение уровня воды сопровождается дополнительной их посадкой и снижением глубин (рис. 4б). Стрежень потока избирает при этом на таких перекатах наиболее короткий путь в направлении нижней плесовой ложины, часто по нормали к оси русла. Линии тока на перекате спрямляются, здесь устанавливается максимальный продольный уклон, местные уклоны водной поверхности достигают 2.0‰ и более против 0.1‰ в плесовых ложинах, происходит местное увеличение скорости, но гребень переката при этом вдоль стрежня меженного потока не размывается, так как скорости его V_{ϕ} оказываются меньше, чем у неразмывающих V_n для галечно-валунных наносов, слагающих отмостку [1]. Поэтому размыв отложенный, слагающих перекат, не происходит. При подъеме уровней, когда $V_{\phi} > V_p$ (здесь V_p – размывающая скорость), происходит разрушение отмостки и размыв гребня переката, начинается интенсивное перемещение наносов, в том числе поступающих с вышележащих участков. На пике половодья (паводка) ширина активного перемещения наносов максимальна, в предельно возможном случае охватывает весь перекат вместе с побочными. На нижней Катуни [12] размыв гребней галечно-валунных перекатов наблюдается уже в низкое половодье, при расходах воды 1500–1800 м³/с. На Козловом перекате средние скорости течения при руслоформирующем расходе воды (1750 м³/с) составляют 2.05 м/с, максимальные – 3.0 м/с. Зона смещения наносов при этом достигает 0.6–0.7 b_p , а массовое разрушение отмостки происходит в полосе 0.15–0.2 b_p . При меженных расходах (500 м³/с) скорости течения уменьшаются до 0.99 м/с, что значительно меньше неразмывающей для галечников (1.36 м/с). Происходит резкая остановка наносов и обмеление перекатов. Амплитуда изменения отметок гребней перекатов от половодья к межени достигает 1.5 м. На Нижнем Смоленском перекате в 1978 г. в половодье (при расходе воды $Q = 1450$ м³/с) глубина от проектного (срезочного) уровня превышала 2 м, в межень (600 м³/с) она уменьшилась до 0.5 м.

Рассмотренные случаи, при которых не происходит размыв гребня переката в межень, определяются спецификой гидравлического режима потока, и уменьшение глубин оказывается связанным не с

аккумуляцией наносов (намывом), а со стабилизацией отметок дна, особенно на галечно-валунных перекатах. На песчаных перекатах с веерообразным расщеплением потока и снижением удельных расходов воды на их седловине это сопровождается накоплением наносов, поступивших с верхового склона гряды, и повышением отметок дна в конце спада уровней и в межень.

Режим сезонных деформаций перекатов (обмеление в половодье – размыв на спаде уровней – частичное обмеление в межень и при летне-осенних паводках) характерен для верхних перекатов в каждой паре смежных перекатов в пределах перекатных участков. Иная ситуация складывается на следующем ниже по течению перекате, на что впервые обратил внимание Н.И. Маккавеев, отметивший наращивание в межень гребней нижних в цепочках смежных перекатов. Аккумуляция наносов во время руслоформирующих расходов воды на верхнем перекате создает дефицит наносов на нижележащем, где в этот период $W < W_{тр}$. Поэтому смежный нижележащий перекат размывается вплоть до полного его исчезновения. Однако по мере размыва верхнего переката соотношение между W и $W_{тр}$ меняется на противоположное, во-первых, из-за поступления сюда продуктов размыва, а во-вторых, из-за искривления потока по мере снижения его водности и образования на перегибе между побочными зоны замедления течения. В итоге здесь аккумулируются наносы, поступающие с вышележащего переката, которые вновь формируют перекат, представляющий уже гряду меньшего размера между побочными двух больших макроформ руслового рельефа. Ниже по течению на следующих перекатных участках схема повторяется.

Обмеление перекатов в межень иногда наблюдается на реках с разветвленным руслом, если происходит перераспределение стока воды между рукавами от половодья к межени, особенно при выполнении рукавом наносотсасывающих функций. Перекаты, находящиеся на заходе в рукав, водность которого по мере понижения уровней уменьшается, мелеют; в половодье же, когда в этот рукав направляется все большая часть расхода воды, перекат размывается. Во втором рукаве наблюдается противоположная картина, которая усиливает проявления «нормального» хода вертикальных деформаций переката: обмеление в половодье, размыв в межень.

Н.И. Маккавеев [10] отмечал размыв перекатов в половодье и аккумуляцию на них наносов в межень на реках с зарегулированным стоком (естественным – у рек, вытекающих из озер (Нева), искусственным – в нижних бьефах водохранилищ). Размыв перекатов в половодье и рост отметок гребней с падением уровней характерен для приплотинного участка Оби ниже Новосибирской ГЭС. Это явление наиболее четко проявлялось в первые 20 лет после сооружения плотины, особенно в мно-

годовые годы; отметки Бугринского переката с падением уровней в многоводном 1973 г. возросли почти на 1.5 м; размыв в половодье в 1970-е гг. отмечался на перекатах участка длиной 60–70 км ниже плотины (Чаусском, Дрегуновских и др.). Почти все дноуглубительные работы на судовом ходу здесь проводились в августе–сентябре, при меженных уровнях. В 1990-е гг. подобный режим сохранялся на ряде перекатов на участке длиной 30–40 км от гидроузла. Например, отметки Мочищенского переката в 1998 г. с падением уровней на 2.5 м возросли на 40–80 см. Размыв перекатов в половодье объясняется дефицитом наносов на приплотинном отрезке русла Оби из-за задержки наносов в водохранилище. До сооружения ГЭС все перекааты на этом отрезке имели «обычный» режим вертикальных деформаций.

Перекааты, связанные с выходами в русле скал (Хромовский, Дрегуновский, Верхний Дубровинский на Оби, Олекминский на Лене) также отличаются тем, что аккумуляция наносов на них происходит в межень, когда в наибольшей мере сказывается подпор от скальных перемычек. Их размыв происходит обычно в половодье или, реже, при уровнях низкой межени, когда перекааты превращаются в водосливы с широким порогом, на которых возникает кривая спада уровней. На Дрегуновском перекаате р. Оби в половодье 1988 г. размыв дна превысил 2.5 м. В межень, с падением уровней на 3 м, рост отметок дна составил 0.5–2.0 м, но в глубокую межень вновь начался размыв корыта переката [14].

Размыв перекатов в половодье и аккумуляция на них наносов в межень характерен для рек криолитозоны [15]. Вследствие промерзания побочной и мелких частей русла, где лед ложится зимой на дно, во время половодья поток оказывается недонасыщенным наносами, и поток, у которого $W_{тр} \gg W$, размывает только те части русла, где мерзлота отсутствует: плесовые лощины и корыта перекатов, располагающиеся между промерзшими отмелями. Возникновению условия $W_{тр} \gg W$ способствует также малое поступление в это время наносов в реку с водосборов, в пределах которых сток воды осуществляется по еще неоттаявшим грунтам. В межень и особенно при прохождении летне-осенних паводков, когда в русле и на водосборе деятельный слой достигает наибольшей толщины, поток насыщается наносами и аккумулирует их на перекатах. Этому способствует большая кривизна извилин динамической оси потока, огибающей побочки, которые в значительной мере формируются в зимнюю межень подо льдом и отличаются большой кривизной. На спаде половодья и в летнюю межень радиусы кривизны стрежня потока больше, чем у подледного потока зимой. Вследствие этого меженный поток спрямляет существующую углубленную ложбину, она оказывается вне основного течения, и в ней на корыте переката происходит ак-

кумуляция наносов [15]. Подобные явления характерны для средней и нижней Лены, Яны, Индигирки, Колымы — рек с широкопойменным, в значительной степени промерзающим песчаным руслом.

ДВИЖЕНИЕ ДОННЫХ ГРЯД КАК ФАКТОР ОБМЕЛЕНИЯ ПЕРЕКАТОВ

Существенную роль в сезонной динамике перекаатов играет смещение грядовых форм руслового рельефа. К.В. Гришанин [3] придавал большое значение грядам длиной порядка ширины русла. Их образование и перемещение по перекаату обуславливают резкие колебания отметок гребней перекаатов, которые происходят независимо от хода уровня. Такие различия в характере связи хода уровня и отметок дна на перекатах в разные фазы гидрологического режима связаны с особенностями движения гряд. На Днестре при высоких уровнях воды на перекатах формируются крупные гряды, длина и высота которых составляет соответственно 300–800 м и 1.0–1.6 м. Скорости смещения этих гряд незначительны и на отметках дна и глубинах сказываются только в многолетнем плане. При низких уровнях в межень на дне формируются микроформы руслового рельефа длиной 15–25 м и высотой 0.3–0.7 м, скорость смещения которых составляет в среднем 0.5 м/ч. За сутки каждая гряда смещается примерно на свою длину, вызывая в каждой точке соответствующие изменения глубин. Такие гряды, перемещающиеся по верховому склону переката в направлении от верхней плесовой лощины к гребню, вызывают колебания отметок дна до 0.70 м, которые оказываются соответственно выше и ниже на 0.15–0.35 м относительно средней линии (рис. 5). Повышение по отношению к ней отметок дна создают эффект обмеления переката в межень. Колебания отметок дна вследствие формирования, перемещения и размыва гряд в разные фазы водного режима (как в половодье, так и в межень) в зависимости от формы поперечного сечения русла описал Л.А. Турыкин [16] на р. Чулыме. На перекатах с широкими побочными перемещение в половодье по верховому склону и гребню переката наносов в виде песчано-гравийных и песчаных гряд сопровождается повышением максимальных отметок на величину, равную высоте гряд — 0.2–0.4 м. С падением уровня и в межень на гребне переката скорости течения растут, гряды разрушаются, отметки дна понижаются на величину, равную высоте гряд. При прямоугольном поперечном сечении в половодье при больших скоростях течения наносы на гребне переката перемещаются в гладкой фазе, и гряды-микроформы формируются при понижении уровня воды и уменьшении скоростей течения, вызывая соответствующее повышение (на 0.2–0.4 м) осредненных отметок дна. Таким образом, в половодье разрушение гряд на перекаате вызывает эффект его размыва; в межень их формирование аналогично по своей результатив-

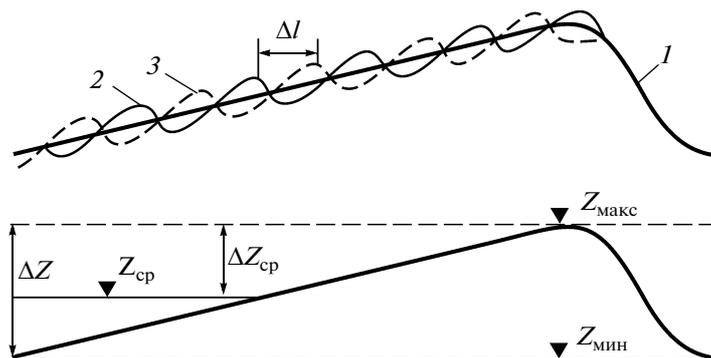


Рис. 5. Колебание отметок дна на верховом склоне переката из-за смещения гряд-микроформ (а) и амплитуда отметок дна на перекаате в пределах отдельной гряды-микроформы (б). Отметки дна: $z_{\text{ср}}$ – средние, $z_{\text{макс}}$ – наибольшие, $z_{\text{мин}}$ – наименьшая, Δz – их амплитуда, $\Delta z_{\text{ср}}$ – величина превышения наибольшей над средней; Δt – величина смещения гряды за время t . 1 – осредненный профиль переката, 2 – исходное положение гряд на перекаате, 3 – положение гряд через интервал времени Δt .

ности аккумуляции наносов. Естественно, что возможны случаи наложения процессов размыва/аккумуляции наносов и формирования или разрушения гряд, усиливающих, ослабляющих или нейтрализующих друг друга. Это явление – повышение средних отметок гребня переката в межень из-за формирования грядовых микроформ – отметил также А.Н. Бутаков [2].

ВЫВОДЫ

Знание закономерностей сезонных переформирований перекаатов лежит в основе планирования сроков проведения землечерпательных работ на реках, эксплуатируемых как водные пути сообщения. Правильно составленный их прогноз позволяет в определенных случаях (перекат к межени размывается) отказаться от их выполнения и ограничиться своевременным перемещением береговых и плавучих знаков судоходной обстановки, сосредоточив внимание на перекатах, мелеющих в лимитирующий (маловодный) период. Вместе с тем обмеление перекаатов в половодье еще не означает необходимость его углубления, так как уровни воды растут быстрее повышения отметок дна. Таким образом, оптимизация путевых работ связана, в первую очередь, с прогнозом сезонных деформаций перекаатов. Его разработке способствует сохранение на основных водных путях изыскательских русловых партий, осуществляющих мониторинг состояния перекаатов посредством выполнения регулярных промерно-съемочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борсук О.А., Долженко Ю.А., Зайцев А.А. и др. Русловые процессы на верхнем Алдане и их учет при транспортном освоении реки // Эрозия почв и русловые процессы. 1955. Вып. 10. С. 157–188.
2. Бутаков А.Н. Гидравлика развития мезоформ речного русла. М.: Изд-во РУДН, 1999. 216 с.
3. Гришанин К.В. Сезонные деформации перекаатов // Тр. IV Всесоюз. гидрол. съезда. Л.: Гидрометеоздат, 1976. Т. 10. С. 13–21.
4. Маккавеев Н.И. Русловой режим рек и трассирование прорезей. М.: Речиздат, 1949. 202 с.
5. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
6. Маккавеев Н.И., Советов В.С. Трассирование землечерпательных прорезей на перекатах равнинных рек Европейской части СССР // Тр. ЦНИИРФ. 1940. Вып. 3. 60 с.
7. Михайлова Н.М. Типизация и сезонный режим перекаатов Северной Двины, их влияние на условия судоходства // Эрозионные, русловые процессы и проблемы гидроэкологии. М.: Изд-во МГУ, 2004. С. 145–152.
8. Петровский В.В., Сахарова Е.И. О переформировании Красноборского переката (Северная Двина) // Русловые исследования для улучшения условий судоходства. М.: Речной транспорт, 1958. С. 19–33.
9. Попков И.Ф. Классификация перекаатов // Тр. ЦНИИВТ. 1937. Вып. 179. С. 5–41.
10. Проектирование судовых ходов на свободных реках // Тр. ЦНИИЭВТ. 1964. Вып. 36. 262 с.
11. Руководство по проектированию коренного улучшения судоходных условий на затруднительных участках свободных рек. Л.: Транспорт, 1974. 310 с.
12. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ-плюс, 2001. 300 с.
13. Садовский Г.Л. Пособие по трассированию землечерпательных прорезей. М.: Речной транспорт, 1961. 183 с.

14. *Сурков В.В., Чалов Р.С.* Сезонная и многолетняя цикличность в развитии перекатов верхней и средней Оби // География и природ. ресурсы. 2002. № 4. С. 79–85.
15. *Тананаев Н.И.* Сток наносов и русловые процессы на реках криолитозоны. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2007. 27 с.
16. *Турыкин Л.А.* Грядовый рельеф речного русла и его влияние на сезонные деформации перекатов // Геоморфология. 1993. № 2. С. 82–88.
17. *Турыкин Л.А., Чалов Р.С.* Об оценке сезонных деформаций перекатов на реках с паводочным режимом // Метеорология и гидрология. 1985. № 8. С. 77–82.
18. *Чалов Р.С.* Динамика перекатов и ее количественная характеристика // Вопросы географии. М.: Географгиз, 1963. № 63. С. 100–111.
19. *Чалов Р.С.* Режим перекатов на участках сопряженных разветвлений русла // Морфология речных русел и их моделирование. М.: ГГИ, 1972. С. 30–39.
20. *Шамов Г.И.* Речные наносы. Л. Гидрометеиздат, 1959. 380 с.