

ГРЯДОВЫЙ РЕЛЬЕФ РЕЧНОГО РУСЛА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СЕЗОННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПЕРЕКАТОВ

Изучение перекатов и их деформаций имеет более чем вековую историю. Повышенный интерес к этому вопросу, проявившийся в период бурного развития речного транспорта (с конца XIX в.), связан с тем, что перекаты представляют собой главный фактор, ограничивающий судоходство. Проблема поддержания гарантированных габаритов судового хода на перекатах осложняется общим свойством аллювиальных речных русел — деформациями руслового рельефа, которые в зависимости от длительности своего цикла делятся на многолетние и сезонные.

Наибольшие трудности для навигации представляют сезонные деформации перекатов, состоящие в циклическом изменении рельефа дна. Многочисленные исследования этого явления в основном подтверждают установленную В. М. Лохтиным закономерность: повышение отметок гребня переката во время половодий и паводков и понижение его в межень [1—3]. Вместе с тем в ряде работ отмечено существование перекатов с противоположным режимом сезонных вертикальных деформаций [4, 5]. Сложная картина сезонных переформирований наблюдается на перекатах рек с паводочным режимом — состояние переката в конце паводочного сезона определяется суммарным воздействием прошедших паводков [6].

Периодическое изменение высоты дна на перекатах связывается с неодинаковым приращением уклонов (скоростей течения) на плесе и сопряженном с ним перекате при колебании уровня водной поверхности, т. е. с изменением транспортирующей способности потока на участке плёс — перекат [1]. Такие различия гидрологических условий на плесах и перекатах объясняются особенностями морфологии русла в их пределах [2, 7].

Следует отметить, что при анализе сезонных деформаций перекатов, как правило, не учитывается сам механизм изменения отметок дна. Повышение их отождествляется по традиции с намывом (отложением руслообразующего материала из взвеси), а понижение — с размывом (переходом донных наносов во взвешенное состояние). Таким образом, упускается основная форма движения руслообразующего материала — в виде гряд, образующих микрорельеф аллювиального ложа реки. Сравнительно немногие работы, рассматривающие деформации перекатов в связи с движением гряд, подтверждают перспективность этого подхода при оценке сезонных переформирований перекатов и для разработки методики прогнозирования [7, 8].

Ведущая роль грядового движения наносов в сезонных переформированиях русла равнинных рек определяется тем, что во все фазы гидрологического режима преобладающая часть руслообразующего материала перемещается во влекомом состоянии, т. е. преимущественно в форме гряд; например, содержание песка диаметром 0,2—0,5 мм (руслообразующая фракция) в составе взвеси во время половодий и паводков на нижнем Днестре (гидропост Бендеры) не превышает 2—4%. Размеры и форма гряд изменяется от половодья (паводка) к межени в соответствии с изменением гидравлических характеристик потока и его транспортирующей способности. При этом сезонные изменения руслового рельефа обуславливаются прохождением гряд той категории, за счет которой происходит основной сток руслообразующих наносов в данную фазу гидрологического режима. Повышение или понижение отметок дна плесов и перекатов объясняется соответственно наличием или отсутствием этих гряд, а средняя высота гряд определяет амплитуду колебаний отметок дна в годовом цикле.

Анализ сезонных деформаций перекаатов в связи с особенностями грядового движения проведен по материалам русловых исследований на р. Чулым в районе г. Ачинска. С этой целью были установлены средние параметры преобладающих на данном участке гряд, определены гидродинамические условия, благоприятные для их развития, и выполнено сравнение полученных данных с гидрологоморфологическими условиями и на конкретных перекатах в различные фазы гидрологического режима.

Исследованный участок русла протяженностью 50 км расположен в среднем течении Чулыма. Средний уклон русла составляет 0,19%, среднегодовой расход воды — 184 м³/с. Река протекает по широкопойменной долине (средняя ширина поймы 4—5 км, максимальная — до 6,5 км), образуя преимущественно свободные излучины и относительно прямолинейные, неразветвленные отрезки в пойменных берегах. Местами русло подходит к левому коренному берегу, формируя несколько адаптированных излучин, а также один протяженный относительно прямолинейный отрезок с односторонней поймой. Кроме того, имеется несколько одиночных русловых разветвлений.

Современный русловой аллювий представлен разнообразными типами наносов — от тонкозернистого песка до средней гальки. В целом пески (в основном средние и крупные с примесью гравия и гальки) покрывают 52% общей площади русла, галька (в основном мелкая), залегающая в виде отмостки, занимает 47% площади русла и, кроме того, подстилает пески.

На участке находится 23 переката. Большая часть из них расположена в извилистом русле — в верхних крыльях и в вершинах излучин. Перекаты на относительно прямолинейных отрезках приурочены к расширениям русла, местам впадения ручьев и пойменных проток. Все перекаты характеризуются стабильным в многолетнем отношении положением в русле. По геологическому строению они делятся на два типа: 1 — цокольные, в основании которых находится выступ коренного ложа, т. е. коренные трудноразмываемые грунты (глины) залегают на глубине меньшей, чем средняя по участку глубина плесовых лощин (2,0—2,3 м); 2 — аллювиальные, целиком сложенные русловым аллювием.

Сезонные переформирования русла Чулыма связаны с прохождением по галечной отмостке подвижных, быстро трансформирующихся в зависимости от расхода воды песчаных и песчано-гравийных гряд. Их размеры на перекатах во все фазы гидрологического режима составляют: высота — 0,2—0,4 м, длина — 3—5 м; в плесовых лощинах в межень имеют высоту 0,2—0,5 м, длину — 2—5 м, в половодье размеры гряд несколько больше — высота 0,4—0,7 м, длина 4—7 м. Средние скорости смещения этих гряд — 0,4 м/час, а их вклад в общий расход песчаного материала достигает 80%¹.

Для определения гидродинамических условий существования гряд были рассчитаны средние по живому сечению скорости течения $V_{\text{ср}}$ на отрезках русла с грядами и без них:

$$V_{\text{ср}} = \frac{Q}{\omega},$$

где ω — площадь живого сечения, определяемая графически по плану русла; Q — расход воды, при котором установлено распространение гряд в русле по данным продольного эхолотирования. Этот расход составил 100 м³, причем его постоянство на протяжении длительного времени (около 2 недель) перед промерами дает основание считать, что обнаруженные гряды соответствуют гидрологическим условиям времени наблюдения, а не являются реликтами предыдущей фазы водного режима.

Статистический анализ рассчитанных таким образом данных для 85 участков позволил определить минимальные и максимальные значения средних по живому сечению скоростей течения, благоприятных для существования гряд

¹ Расчет выполнен Н. И. Алексеевским.

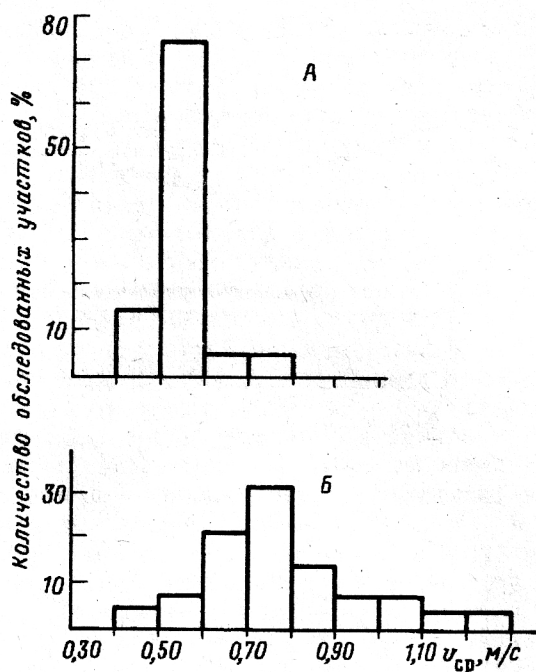


Рис. 1. Распределение средних по живому сечению скоростей потока на участках русла с грядками — А, без гряд — Б

(рис. 1). Эти скорости предлагается называть соответственно первой и второй пороговой скоростью. На исследуемом отрезке реки как в плесовых ложинах, так и на перекатах гряды формируются в интервале от 0,4 м/с — первая пороговая скорость — ($V_{1\text{пор}}$) до 0,8 м/с — вторая пороговая скорость ($V_{2\text{пор}}$) (рис. 1А). При этом пик распределения приходится на интервал 0,5—0,6 м/с. На участках без гряд средние по живому сечению скорости течения меняются в широком диапазоне от 0,4 до 1,3 м/с с пиком в интервале 0,7—0,8 м/с (рис. 1Б).

Распределение средних скоростей течения на обследованных участках с грядками и без них свидетельствует о том, что скоростной интервал, ограниченный первой и второй пороговыми скоростями, является необходимым условием существования гряд.

В зависимости от гидродинамических условий транспорта руслообразующих наносов перекааты можно разделить на три группы. В каждой группе перекааты при всей своей индивидуальности имеют некоторые общие черты строения и сходный режим сезонных переформирований.

1 группа. Средние по живому сечению скорости потока на гребнях перекаатов большую часть межени превышают вторую пороговую скорость ($V_{cp} > V_{2\text{пор}}$), в половодье становятся меньшими или равными ей ($V_{cp} \leq V_{2\text{пор}}$). Общая черта морфологии перекаатов этой группы — сопряжение гребня с широким побочнем. Такое строение определяет резкое приращение площади живого сечения потока при затоплении побочня в половодье по сравнению с меженью (рис. 2А). Средние скорости потока на гребне, равномерно нарастающие в начале подъема уровня, резко уменьшаются и приближаются к величине второй пороговой скорости при затоплении побочня (рис. 3А).

В соответствии с режимом скоростей при больших расходах воды руслообразующий материал, поступающий из вышерасположенного плеса, проходит по гребню перекаата в виде песчано-гравийных или песчаных гряд. Средняя

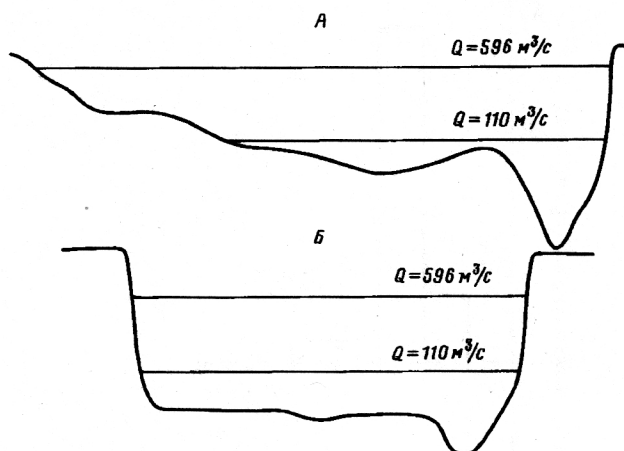


Рис. 2. Поперечный профиль русла на гребне переката I группы — А, II группы — Б

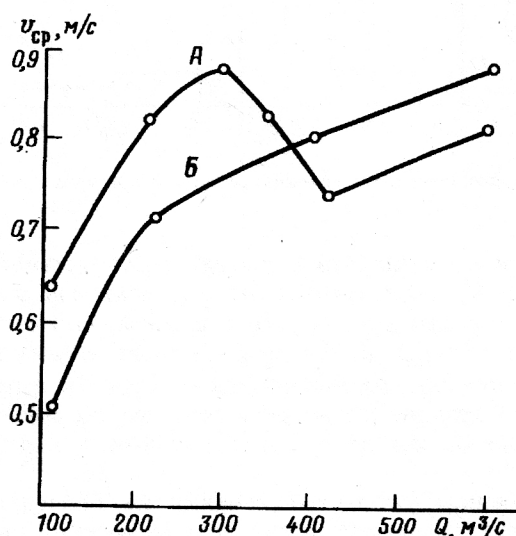


Рис. 3. Зависимость средней по живому сечению скорости потока V_{cp} от расхода воды Q на гребне переката I группы — А, II группы — Б

высота гребня повышается на величину равную высоте сформировавшихся гряд — 0,2—0,4 м. На верховом и низовом склонах переката происходит активный вынос отложений, отметки дна понижаются.

С падением уровня воды поток сосредоточивается в меженном русле. Средние скорости течения на гребне становятся большими, чем вторая пороговая скорость, в то же время на верховом и низовом склонах средние скорости течения уменьшаются. В результате на гребне транспорт песчано-гравийного материала переходит в гладкую фазу — гряды разрушаются. После размыва гряд дальнейшее углубление гребня ограничивается галечной отмосткой. Понижение отметок гребня равно высоте размывшихся гряд — 0,2—0,4 м. На верховом и низовом склонах вынос руслообразующего материала, наоборот, замедляется, и отметки дна повышаются за счет формирования гряд.

II группа. Средние по живому сечению скорости потока на гребнях в межень меньше второй пороговой скорости ($V_{cp} \leq V_{2\text{пор}}$), в половодье — больше ($V_{cp} > V_{2\text{пор}}$). Все перекаты этой группы аллювиальные, расположены в

относительно прямолинейном русле. Для них характерно слабое развитие либо отсутствие побочней, в связи с чем поперечное сечение русла до пойменных бровок имеет ящикообразную форму (рис. 2Б). Такое строение русла обуславливает равномерное нарастание средней скорости потока, которая при определенном расходе воды начинает превышать значение второй пороговой скорости. Так, на перекате 318,5 км этот расход равен 160 м^3 (рис. 3Б).

В соответствии с режимом скорости течения руслообразующие наносы при больших расходах перемещаются в пределах стрежневой зоны гребня в гладкой фазе. Интенсивный вынос песчано-гравийного материала происходит в верхней и нижней плесовых ложинах, а также в прибрежных частях гребня. При понижении уровня с уменьшением средних скоростей течения в стрежневой зоне гребня формируются песчаные и песчано-гравийные гряды высотой 0,2—0,4 м, в плесовых ложинах и по периферии гребня средние скорости также убывают — соответственно уменьшается интенсивность выноса руслообразующего материала.

При таком режиме транспорта руслового аллювия в половодье поверхность дна в пределах стрежневой зоны гребня, в его прибрежных частях, а также на верховом и низовом склонах понижается. В межень, напротив, отметки дна в стрежневой зоне гребня и в его прибрежных частях повышаются. Амплитуда сезонного изменения высоты дна равна высоте гряд типичных для исследуемого участка реки (0,2—0,4 м). На верховом и низовом склонах в межень происходит аккумуляция наносов, за счет которой длина переката несколько увеличивается.

III группа. Средние по живому сечению скорости потока на гребнях перекатов как в межень, так и в половодье превышают вторую пороговую скорость ($V_{\text{ср}} > V_{2\text{пор}}$). К этой группе относятся аллювиальные и цокольные перекаты со слабо развитыми побочнями или без них, а также перекаты с развитыми побочнями, расположенные на участке с максимальными уклонами водной поверхности. Высокие скорости потока создают условия для выноса руслообразующего материала с гребней в течение всего периода открытого русла, особенно при ящикообразной форме поперечного сечения русла, где с повышением уровня скорости наиболее возрастают. Однако полному размыву перекатов препятствует либо близкое к поверхности залегание коренных пород, либо галечная отмостка, в связи с этим на гребнях в половодье могут формироваться лишь незначительные по площади и глубине ложины. Более существенный размыв в половодье происходит на верховом и низовом склонах перекатов, вследствие чего наблюдается некоторое уменьшение их длины.

В межень на гребнях сохраняются условия для размыва русла. В то же время на низовых и верховых склонах, а также в наиболее глубоких ложинах и искусственных углублениях (прорезях, карьерах) отметки дна повышаются за счет отложения гравийно-галечного материала.

На аллювиальных перекатах, лишенных галечной отмостки, постоянная тенденция к размыву приводит в итоге к полному их исчезновению. На Айдашинском и Среднем Белоярском перекатах этот процесс, наметившийся в начале 80-х годов, закончился к 1988 г. Последний из аллювиальных перекатов, Белоярский, окончательно размыт в 1989 г. На цокольных перекатах, сложенных гравием и мелкой галькой (средний диаметр отложений 8—13 мм), галечная отмостка не формируется. Поэтому здесь также происходит постоянное углубление русла, однако этот процесс ограничивается кровлей коренных пород.

Проведенные на р. Чулым исследования показали, что сезонные деформации перекатов связаны с режимом прохождения гряд того типа, который вносит наибольший вклад в общий расход руслообразующего материала; при этом амплитуда изменения отметок дна равна средней высоте гряд.

Представление о ведущей роли грядового движения в переформировании речного русла дает возможность существенно конкретизировать анализ сезонных

деформаций перекатов. Задача сводится к выделению основного на данном отрезке русла типа гряд, определению благоприятных для их развития гидродинамических характеристик потока и сравнению последних с гидродинамическими условиями на конкретном перекате в различные фазы водности. Такой подход может оказаться перспективным для разработки надежной методики прогноза сезонных деформаций на перекатах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лохтин В. М. О механизме речного русла. СПб, 1887. 78 с.
2. Россинский К. И., Кузьмин И. А. Речное русло//Гидрологические основы речной гидротехники. М.: АН СССР, 1950. С. 85—87.
3. Шамов Г. И. Речные наносы. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 380 с.
4. Кустов Л. И. Введение в механику речного русла и методика планирования транзитного землечерпания//Тр. ЦНИИРФ. Вып. 1. Л.: Речиздат, 1940. С. 34—36.
5. Маккавеев Н. И., Советов В. С. Трассирование землечерпательных прорезей на перекатах равнинных рек Европейской части СССР//Тр. ЦНИИРФ. Вып. 3. Л.: Речиздат, 1940. 11 с.
6. Турькин Л. А., Чалов Р. С. Об оценке сезонных деформаций перекатов на реках с паводочным режимом//Метеорология и гидрология. 1985. № 8. С. 77—81.
7. Гришанин К. В. Сезонные деформации перекатов//Тр. 4 Всесоюз. гидрол. съезда. Т. 10. М.: Гидрометеиздат, 1976. С. 13—21.
8. Знаменская Н. С. Грядовое движение наносов. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 188 с.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
27.12.91

RIDGE RELIEF OF THE RIVER CHANNEL AND ITS IMPACT ON SEASONAL DEFORMATIONS OF SHALLOWS

Z. A. TURYKIN

Summary

Seasonal deformations of the shallows in the Chulym channel within the segment under study depend on the regime of movement of sandy and sandy-gravel ridges; the height of the ridges — 0,2 to 0,4 m — controls amplitudes of the shallows' crest fluctuations. Ridges of that order exist under velocities (averaged over the stream cross-section) from 0,4 m/s (the 1st threshold velocity) to 0,6 m/s (the 2nd threshold velocity).

The shallows are subdivided into three groups on the basis of average flow velocity (at different discharges) as related to the 2nd threshold velocity; the groups differ in the character of seasonal deformations of the channel.

УДК 551.435.36

© 1993 г. В. М. ШИРОКОВ

ПРОБЛЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ БЕРЕГОВ МАЛЫХ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Практика многолетних комплексных стационарных исследований берегов малых водохранилищ в разных регионах (в Прибалтике, Белоруссии, Украине) позволила выявить наиболее общие особенности их развития в равнинных условиях. Было установлено, что формирование берегов происходит в тесной взаимосвязи с внутриводоемными процессами, эволюцией побережья и чаши водохранилищ.