

УДК 551.435.13

ЧАЛОВ Р. С.

ФАКТОРЫ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ИЕРАРХИЯ РУСЛОВЫХ ФОРМ

Анализируется связь между формами рельефа, созданными постоянными водными потоками — реками (долины, поймы, формы русла, грядовые формы руслового рельефа), и факторами руслового процесса. Устанавливается их последовательность и выявляются условия развития русловых форм второго порядка. Показана роль руслоформирующих расходов и устойчивости русла в образовании иерархии русловых форм и степени сложности рисунка русла.

Благодаря русловым процессам, основу которых составляет взаимодействие русловых потоков и грунтов, слагающих поверхность суши, образуется сложная система форм рельефа — от крупнейших речных долин, пересекающих материки, до очень динамичных форм руслового рельефа — мелких гряд (дюн, рифелей) на дне потоков, непрерывно перемещающихся и видоизменяющихся под их воздействием. Эта система может быть представлена в виде иерархической лестницы, отдельными ступенями (звеньями) которой являются: долина реки — пойма — форма русла — грядовая форма руслового рельефа. Каждая из ступеней соответствует определенному виду (или сочетанию видов) русловых деформаций (рис. 1), различающихся по отношению к направлению силы тяжести и по роли в осуществлении эрозии грунта, транспорта и аккумуляции наносов [1]. С другой стороны, эти формы отражают влияние на русловые процессы на всех этапах их развития совокупности природных факторов, отдельных их составляющих или изменений тех и других во времени. Вместе с тем в каждой ступени выделяются различные типы рельефа, состоящие из набора форм разного размера, находящихся в сложных взаимоотношениях между собой и образующих иерархические лестницы второго порядка. Количество звеньев в иерархии форм второго порядка определяется местными особенностями руслоформирования, специфическими для каждой ступени первого порядка.

Речные долины отражают конечный результат вертикальных русловых деформаций, т. е. трансформаций продольных профилей рек, обусловленных процессами автоматического выравнивания транспортирующей способности потока, изменениями удельной энергии его живого сечения по длине реки и потерями напора, вызванными затратами энергии на движение воды, транспорт наносов и эрозию грунтов ложа [1, 2]¹. Вертикальные деформации определяются колебаниями базиса эрозии, климатическими изменениями и тектоническими движениями и сказываются в направленном развитии продольного профиля реки в течение длительного времени, охватывающего исторические и геологические периоды. Скорость развития этих деформаций (врезания или накопления аллювия в русле) лишь в редких случаях составляет несколько сантиметров в год, измеряясь, как правило, миллиметрами и долями миллиметров. Вертикальные деформации протекают одновременно с горизонтальными (боковой эрозией и блужданием русла по дну долины, приводящими к постепенному расширению самих речных долин). Интенсивность горизонтальных деформаций либо соизмерима с вертикальными (если долины врезаны в скальные и трудноразмываемые породы), либо

¹ Другие процессы, влияющие на развитие речных долин, не являются предметом настоящей статьи.

на несколько порядков превышает их. Морфологический облик и строение речных долин отражают в интегральном виде изменения комплекса природных условий в пределах бассейна реки на протяжении всей истории развития речных долин и по существу не имеют уже видимой связи с современными водными потоками на их дне. Эта связь выявляется только на основе опосредствованных признаков и сказывается лишь в историческом или геологическом масштабе времени. Сами же речные долины, их склоны, террасы, за исключением пойм и русел, подвергаются воздействию многочисленных неречных факторов, зачастую полностью видоизменяющих первичный рельеф, созданный деятельностью рек.

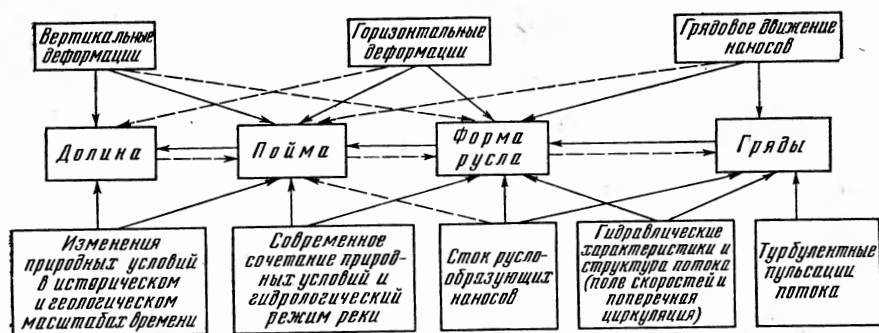


Рис. 1. Схема зависимости основных звеньев системы русловых форм рельефа от главных видов русловых деформаций и факторов руслового процесса (сплошные стрелки показывают определяющее влияние, пунктирные — второстепенное)

Одновременно речные долины, создавая вертикальную расчлененность рельефа и заполняясь разнообразными аллювиальными толщами, слагающими их террасы, влияют на количество и состав поступающего в реки твердого материала — продуктов плоскостного смыва со склонов, линейных склоновых процессов и продуктов подмыва берегов. С другой стороны, форма долин в плане (чередование сужений и расширений) обуславливает характер движения потока, особенно при руслоформирующих расходах в период высоких половодий и паводков, и, следовательно, обуславливает изменение гидравлических характеристик потока по долине реки. Таким образом, речные долины, выходя (кроме пойм и русел) из сферы непосредственного воздействия современных водных потоков и не являясь уже собственно русловыми формами, создают одно из важнейших геоморфологических условий развития речных русел и современных русловых деформаций. Они занимают первое место в ряду форм рельефа, созданных реками и представляющих собой результат их руслоформирующей деятельности в геологическом масштабе времени при определяющей роли вертикальных русловых деформаций (врезания).

Следующую ступень в иерархической лестнице русловых форм занимают поймы рек, образующие днища речных долин. Они возникают в первую очередь как результат горизонтальных русловых деформаций, которые определяют как ширину самих пойм, так и основные черты рельефа их поверхности [1]. Так, гривистые поймы образуются на меандрирующих реках, ложбино-островные — на реках, разветвленных на рукава и т. д. В районах ограниченного развития русловых деформаций, где боковой эрозии препятствуют трудноразмываемые горные породы, поймы могут вообще не образовываться. Вертикальные деформации также накладывают определенный отпечаток на морфологию пойм, обуславливая их ступенчатый поперечный профиль (ступенчатые или псевдоостанцовые поймы) в случае врезания реки или формирования наложенных и обвалованных пойм в аккумулятивную фазу. Особенности развития пойм и рельефа их поверхности в ходе горизонтальных русло-

вых деформаций отражают сочетание природных условий на момент формирования соответствующего пойменного массива. Поэтому распространение различных форм первичного рельефа на старых и молодых пойменных массивах является следствием изменений отдельных компонентов природной среды за время формирования поймы. Эти же изменения проявляются и в тех чертах морфологии поймы, которые обусловлены вертикальными русловыми деформациями. С другой стороны, величина стока руслообразующих наносов — важнейший фактор руслового процесса — и характер грядового движения их как одна из трех главных разновидностей русловых деформаций определяют не только литологию поймы и степень развитости типичной русловой фации аллювия в ее строении, но в известной степени и характер первичного рельефа поймы. Например, на меандрирующих реках с одинаковой водностью, но с различной величиной стока донных наносов формируются либо гривистые поймы (за счет образования и зарастания крупных грядовых форм — побочней у выпуклых берегов), либо озерно-старичные, у которых формирование отмели у выпуклых берегов происходит благодаря скоплениям здесь мелких грядовых форм — песчаных волн, ряби и т. д., образующих пологонаклонную отмель. Наконец, затопление пойм во время половодья или высоких летне-осенних паводков, являясь функцией исключительно современных условий руслоформирования, приводит к изменениям, иногда весьма существенным, первичного рельефа благодаря накоплению пойменной фации аллювия (наилка) и образованию специфических половодных (по терминологии А. В. Чернова [3]) форм пойменного рельефа. Кроме того, в зависимости от условий затопления пойм и уровня прохождения руслоформирующего расхода Q_{ϕ} (в понимании Н. И. Маккавеева [2] и Р. С. Чалова [1]) во время половодья поймы являются либо консолидированными (неглубокое затопление пойм и прохождение Q_{ϕ} до выхода воды на пойму), либо проточными, расчлененными пойменной многорукавностью (мощное и глубокое затопление пойм, образование на поверхности поймы транзитного течения, прохождение Q_{ϕ} при затопленной пойме). Облик поймы изменяется также благодаря развитию растительности, болотных и криогенных (в зоне распространения многолетнемерзлых пород) процессов, образованию эоловых дюн и т. д.

Иначе говоря, пойму реки, с одной стороны, можно рассматривать как форму рельефа, в которой запечатлены палеогеографические условия руслоформирования в течение всего времени ее развития и которая является частью речной долины; с другой стороны, пойма представляет собой наиболее крупную русловую форму (мегаформу), поскольку она является производной русловых деформаций, а ее консолидированность или расчлененность (пойменная многорукавность) зависит от особенностей прохождения руслоформирующих расходов воды. Составляя промежуточное звено между речными долинами и русловыми формами — излучинами, узлами разветвления и т. д., поймы рек содержат в себе информацию об изменении природных условий за сотни и тысячи лет и одновременно отражают современные условия руслоформирования.

Горизонтальные русловые деформации, развиваясь как следствие гидравлической структуры потока, обуславливают образование основных морфологических и динамических типов русла, определяющих главные особенности руслового режима реки: извилистых (меандрирующих), разветвленных на рукава (фуркирующих), относительно прямолинейных неразветвленных. Каждому типу русла соответствует определенная структура потока, которая определяет направленность русловых деформаций в пределах каждой формы русла (излучины, узла разветвления, прямолинейного участка). С другой стороны, переформирования и морфологический облик русла зависят от сложного сочетания факторов руслового процесса — характера гидрологического режима, стока наносов, величина которого и распределение по сезонам в свою очередь зависят от развития эрозионных и денудационных процессов на территории водосбора,

геологического строения дна и берегов реки, морфологии долины². Определенное влияние на русло оказывают ледовые явления, ветер (особенно на больших реках), водная растительность, характер растительного покрова на берегах и другие факторы, имеющие локальное распространение. Горизонтальные деформации проявляются практически постоянно, а их интенсивность колеблется от нескольких сантиметров до нескольких сотен и тысяч метров в год. Они определяются устойчивостью русла, т. е. соотношением факторов, обуславливающих его размыв и транспорт наносов, и факторов, противостоящих этому размыву (состав руслообразующих наносов, литология и противоэрозийная стойкость пород, слагающих дно и берега).

Переформирования русла в ходе горизонтальных русловых деформаций сопровождаются локальными вертикальными деформациями, возбуждаемыми местными трансформациями удельной энергии сечения потока и протекающими на общем фоне развития продольного профиля реки. Так, образование излучины русла приводит к его удлинению и увеличению потерь энергии потока. Последнее до достижения определенных размеров излучины компенсируется возрастанием живой силы потока на изгибе [2]. Однако в дальнейшем потери энергии потока оказываются столь велики, что в русле происходит аккумуляция наносов, распространяющаяся на некоторое расстояние вверх по течению. Спрявление излучины вызывает увеличение кинетической энергии потока; в результате происходит местное врезание русла.

Наряду с этим образование той или иной формы русла, характер и интенсивность ее развития в определенной степени зависят при прочих равных условиях от формы грядового движения наносов. Например, перемещение в русле крупных гряд-перекатов вызывает периодическое их надвигание на выпуклый берег излучины, который в этом случае разрастается за счет закрепления растительностью побочня переката, попавшего в зону замедления течения, и отклоняет стрежень потока к противоположному вогнутому берегу, способствуя резкой активизации его размыва. Напротив, наличие в русле только мелких грядовых форм — песчаных волн сопровождается очень медленным накоплением наносов у выпуклого берега излучины и соответственно незначительными размывами вогнутого. В первом случае излучина развивается интенсивно, в течение нескольких лет трансформируясь из пологой в крутую; во втором — переформирования излучины протекают замедленно, и она мало изменяет свои очертания в течение десятилетий. Крупные гряды, их соизмеримость со всей шириной русла (перекаты и их побочни) или его частью (самостоятельные побочни, осередки, ленточные гряды и пр.) могут явиться причиной образования извилистого меандрирующего или разветвленного на рукава фуркирующего русла [1]. Изменение величины стока наносов, форм их грядового движения и транспортирующей способности потока обуславливает, согласно исследованиям И. В. Попова [5] и Н. С. Знаменской [6], переход от одного типа русла к другому и от одного вида русловых деформаций к другому, что создает закономерную их цепочку при изменении условий руслоформирования.

Таким образом, горизонтальные деформации и возникающие в ходе их развития русловые формы в наиболее полной мере отражают влияние всего комплекса физико-географических условий формирования речных русел. При этом в зависимости от сочетания тех или иных природных факторов возникает определенный набор русловых форм, образующих их иерархию второго порядка. Так как в различных природных условиях количество факторов и их сочетаний между собой в отношении воздействия на русла оказываются неодинаковыми, то на отдельных реках или группах рек возникают вполне определенные соотношения (иерархия) русловых форм.

Общий фон для развития тех или иных форм русла, их иерархии и интенсивности проявления русловых деформаций создают геолого-гео-

² Большое значение морфологии и уклона долины в формировании типов русла убедительно обосновано исследованиями Б. Ф. Снисченко [4].

морфологические факторы руслового процесса. В районах свободного развития русловых деформаций (имеются в виду горизонтальные деформации) реки, будучи врезанными в толщу легкоразмываемых рыхлых пород, имеют широкопойменные долины, в пределах днищ которых блуждают русла, разветвляясь на рукава или меандрируя. При этом в русла поступает большое количество твердого материала, размывающая способность потока обычно выше, чем противозерозионная устойчивость грунтов, слагающих дно и берега, а крупность руслообразующих наносов ниже критической, отвечающей условиям прохождения руслоформирующих расходов. Поэтому реки этих районов отличаются наиболее полным развитием всего комплекса русловых форм. Особенно благоприятные условия для блуждания русла и размывов берегов создаются в тех случаях, когда русловой поток «скользит» по кровле связных пластичных или скальных пород, а его берега сложены песком или мелкоземом. На севере Европейской части СССР таким «экранирующим» горизонтом являются моренные суглинки, на Среднесибирском плоскогорье — траппы (для рек, которые не прорезают эти отложения и не оказываются в результате в условиях ограниченного развития русловых деформаций).

В районах ограниченного развития русловых деформаций блужданию русел препятствуют трудноразмываемые или скальные породы, слагающие берега и дно рек; русла формируются часто в беспойменных, узких, глубоковрезанных долинах. Количество руслообразующих наносов сравнительно невелико, и они даже на равнинных реках оказываются представленными галечным или галечно-валунным материалом. В подобных условиях формируются врезанные типы русел (врезанные излучины, скульптурные разветвления, прямолинейные русла), а набор форм русла и форм руслового рельефа оказывается минимальным. Транспортирующая способность потока намного превышает фактическое количество перемещаемых наносов, вследствие чего на дне осуществляется непосредственный контакт потока со скальным или связным грунтом. Разрушение последнего происходит вследствие тектонической раздробленности или трещиноватости скальных пород, химической эрозии, корразии и микробиологического субаквального выветривания, причем последнему принадлежит ведущая роль [7]. Поскольку все эти агенты наиболее активно воздействуют на коренное дно, то вся энергия потока расходуется на глубинную эрозию, тогда как разрушение берегов осуществляется весьма медленными темпами. Боковой эрозии препятствует также поступление грубообломочного материала со склонов, образующего в периферийных частях русла шлейфы из обломков, превышающих критические размеры.

Особенно ярко ограничивающее влияние геолого-геоморфологического фактора сказывается на развитии русел рек горных регионов. Большие уклоны рек в горах, на несколько порядков превышающие уклоны равнинных рек, и соответственно высокая кинетичность их потоков, а также исключительно галечно-валунный состав наносов обуславливают специфику их руслового режима, морфологии и динамики речных русел, механизма и форм транспорта наносов. Принципиальные отличия руслоформирующей деятельности водных потоков в горах и на равнинах лежат в основе выделения трех классов речных русел — горных, полугорных и равнинных [8, 9]. Чем больше уклон реки, тем ярче проявляется его доминирующая роль в формировании русла, и лишь склоновые процессы, поставляющие на дно узких ущелий и каньонов грубообломочный материал, создают ему известную конкуренцию. Горные порожиство-водопадные русла практически не испытывают горизонтальных деформаций, осуществляя только интенсивное глубинное врезание в скальные породы и при значительном участии гравитационных сил продольное перемещение крупных обломков, поступивших на дно ущелий со склонов. По мере уменьшения уклона порожиство-водопадное русло трансформируется в аллювиальное, но в определенном интервале уклонов и соответственно значений кинетичности потока (чисел Фруда) происходит безгрядовое перемещение наносов, что дает основание для выделения горных русел с неразвитыми аллювиальными формами. Лишь при сравни-

тельно небольших для горных рек уклонах в руслах формируются крупные гряды антидюнной формы, составляющие перекаты, а само русло в зависимости от ширины долины образует врезанные излучины и прямолинейные русла с одиночными разветвлениями и поймой в ущельях или сложные разветвления в пределах внутригорных котловин. В последнем случае русло блуждает по сравнительно широкому дну долины, образуя довольно сложную иерархию русловых форм. Таким образом, горные русла с развитыми аллювиальными формами, а также русла полугорных рек по условиям руслоформирования и разнообразию активно проявляющихся в русловом режиме факторов руслового процесса приближаются к равнинным рекам.

Наиболее полно влияние факторов руслового процесса на морфологию и переформирования русел равнинных рек проявляется в районах свободного развития русловых деформаций, где степень сложности русла и его горизонтальных деформаций определяются набором активно воздействующих факторов. Главные различия в особенностях развития речных русел в разных условиях особенно четко устанавливаются при анализе количества и обеспеченности руслоформирующих расходов (в понимании Н. И. Маккавеева) и степени устойчивости русла (в понимании В. М. Лохтина и Н. И. Маккавеева). Руслоформирующие расходы, определение которых основывается на связи стока воды и наносов, учете кинематического эффекта при затоплении поймы и величины потерь напора через уклон русла, служат интегральной характеристикой комплекса физико-географических условий формирования речных русел. Степень же устойчивости русла, определенную как отношение крупности грунтов к уклону, можно рассматривать как показатель влияния геолого-геоморфологического фактора на специфику горизонтальных русловых деформаций. Чем меньше устойчивость русла, тем в большей мере сказывается влияние руслоформирующих расходов. Количество последних, определенных в многолетнем разрезе, обуславливает «ступенчатость» русла, т.е. иерархию вложенных друг в друга русловых форм, развитие которых происходит в разные фазы гидрологического режима (рис. 2). Иными словами, руслоформирующие расходы при прочих равных условиях определяют степень сложности иерархии русловых форм и условий переформирования каждой ее составляющей в определенные фазы гидрологического режима.

На реках со свободноеандрирующим руслом количество интервалов руслоформирующих расходов и их соответствие различным уровням воды определяют степень сложности конфигурации излучин. При прохождении Q_{ϕ} только одного интервала возникают излучины наиболее простой формы, при которой динамическая ось потока в целом повторяет очертания излучины. Если на реке проходят руслоформирующие расходы двух или трех интервалов, то возникает все более сложная иерархия излучин: сложные излучины, состоящие из нескольких смежных излучин с меньшим шагом и радиусом кривизны, которые в свою очередь осложнены извилинами динамической оси потока, огибающей побочни перекатов. А. А. Зайцев [10], используя для анализа формы русла функции спектральной плотности его кривизны, установил наличие на спектрах двух-трех экстремумов, соответствующих количеству максимумов на эпюре руслоформирующего расхода. А. Ю. Сидорчук [11] установил соответствие всех структурных звеньев русловых форм (на примере излучин) количеству турбулентных вихрей, которые он назвал макро-, мезо- и микровихрями. С другой стороны, особенности прохождения на реках руслоформирующих расходов во многом определяют характер спрямления излучин. Спрявление излучин при достижении оптимального соотношения $l=1,575 L$, т.е. длины русла по излучине l и ее шага L осуществляется, если руслоформирующие расходы проходят в условиях затопленной поймы. При этом развитие излучин сопровождается пойменной многорукавностью. Условием для развития крутых петлеобразных излучин, спрявление которых происходит путем размыва вогнутых берегов на смежных излучинах с образованием серповидных

старниц, является прохождение руслоформирующих расходов до выхода воды на пойму, т. е. отсутствие верхнего интервала Q_{ϕ} . Пойменная многоорукавность для таких рек, как правило, не характерна.

Основная причина образования разветвленного русла — возникновение в нем осередков или отторжение от берегов побочной перекатов, которые в последующем покрываются растительностью и превращаются в пойменные острова. Морфологический облик разветвленных русел, переформирования рукавов и причины, их обуславливающие, распределение расходов воды по рукавам в различные фазы гидрологического режима весьма разнообразны. Можно выделить по крайней мере семь

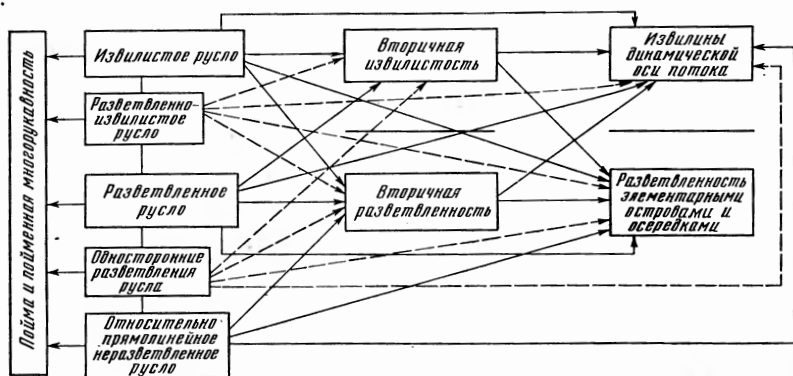


Рис. 2. Схема иерархии русловых форм

основных разновидностей разветвленных русел, общей характерной особенностью которых является образование изгиба потока, огибающего каждый остров, и, следовательно, возникновение в нем гидравлической структуры, присущей излучине русла [1]. Однако в отличие от извилистого русла возле каждого острова либо возникают две излучины, вершины которых находятся у противоположных берегов, либо с самого начала развивается излучина со спрямляющим ее рукавом.

Помимо основного изгиба рукавов между оголовком и ухвостьем разделяющего их острова они при достаточно большой длине и небольшой общей кривизне могут сами меандрировать, образуя самостоятельную серию излучин. При наличии, кроме того, побочной перекатов возникает закономерная последовательность излучин, развитых внутри разветвленного русла: сложные излучины, соответствующие основным рукавам; вторичные излучины, которые образует русло каждого рукава; извилины динамической оси потока. Такое соотношение является аналогом иерархии излучин меандрирующего русла, и его структура определяется количеством интервалов руслоформирующего расхода.

Подобно развитию излучин разных рангов у разветвленного русла, извилистое русло может характеризоваться наличием островов и осередков на крыльях и в верхних крыльях излучин, составляющих русловые формы более низких рангов. В тех же случаях, когда шпору излучины русла составляют острова, образование которых у выпуклого берега определяет процесс меандрирования, тип русла называется разветленно-извилистым. Более распространена, однако, не вторичная извилистость основных рукавов разветвленного русла, а их разделение небольшими островами на сеть относительно коротких протоков. Благодаря этому рисунок разветвленного русла внешне нередко представляет собой запутанный лабиринт рукавов и протоков. Генезис, морфология и режим переформирования разветвлений второго порядка в целом идентичны главным узлам. Одиночные разветвления второго порядка встречаются в начале или в конце основных рукавов; в первом случае остров образуется, если рукав является наносоотсасывающим, а отвлечение части расхода воды во второй основной рукав вызывает снижение в нем транспортирующей способности потока; во втором случае причиной образо-

вания острова является подпор, который испытывает поток при слиянии со вторым, более прямым основным рукавом. Оба острова — в начале и в конце рукава — могут составлять единую цепочку с островами, развивающимися внутри рукава и образующими вместе с ним сопряженную систему разветвлений второго порядка. В свою очередь каждая протока второго порядка может разделяться небольшим элементарным островом или осередком на протоки третьего порядка. Таким образом, подобно извилистому руслу, возникает иерархия разветвлений, каждый порядок которой соответствует определенному интервалу руслоформирующего расхода. Наиболее сложно построенные разветвления характерны для рек, у которых наблюдаются три интервала Q_4 .

Относительно прямолинейные неразветвленные русла (или русла с односторонними разветвлениями как переходная форма между ними и разветвленными руслами) могут также при определенных условиях характеризоваться вторичной разветвленностью. В этом случае на реке, непосредственно ниже выступов коренных берегов, образуются отдельные острова (формы второго ранга), отстоящие друг от друга на большом расстоянии и не влияющие на общий морфологический облик русла. По существу это — разновидность одиночных разветвлений как типа русла в классификации Р. С. Чалова [12]. В свою очередь в рукавах такого узла разветвления могут сформироваться осередки побочни, являющиеся уже русловой формой третьего ранга. В зависимости от количества интервалов и уровней прохождения руслоформирующего расхода второе или третье звено в иерархии русловых форм может отсутствовать. Тогда в пределах излучин, узлов разветвлений и относительно прямолинейных неразветвленных участков можно обнаружить извилины динамической оси потока, огибающие побочни, или протоки, образовавшиеся благодаря появлению в русле осередков.

Излучины, узлы разветвления и соизмеримые с ними по длине относительно прямолинейные неразветвленные участки как формы русла могут объединяться в серии, состоящие из нескольких сопряженных излучин, систем сопряженных рукавов и довольно протяженных по длине прямолинейных участков. В подобных сериях в каждом звене происходит закономерное изменение параметров русла — радиусов кривизны, шагов излучин, длины отдельных узлов разветвления и т. д. [1, 13]. Начало каждой новой следующей вниз по течению серии сопряженных форм фиксируется или повторением величин параметров или изменением типа самого русла. Обычно количество звеньев в подобных сериях колеблется от двух до пяти. А. Ю. Сидорчук [11] также обнаружил соответствие серий русловых форм наиболее крупным вихревым структурам турбулентного потока — инфравихрям.

С другой стороны, извилины динамической оси потока и протоки возле осередков отражают развитие наиболее крупных форм руслового рельефа, связанных с грядовым движением наносов. Гряды в русле — наиболее универсальная форма проявления русловых процессов, развивающаяся в условиях, когда живая сила потока недостаточна для переноса наносов во взвешенном состоянии и часть стока осуществляется путем движения их донных скоплений. Формирование гряд — явление, наиболее автономное по отношению к природным факторам руслоформирования, причем чем меньше размер гряд, тем более опосредствованной становится связь между ними. Макроформы грядового рельефа (перекаты) связаны с формой русла, образуясь в местах перегиба русла между смежными излучинами, в узлах разделения русла на рукава и т. д., т. е. там, где наблюдается местное снижение транспортирующей способности потока. Таким образом, они среди всей иерархии форм грядового рельефа в наибольшей степени испытывают влияние факторов руслового процесса. Грядовые микроформы (песчаные волны, рифели), возникая как отражение кинематической структуры турбулентного потока [6], практически не зависят от природных условий. Единственным, хотя и очень важным видом связи между ними, а также с формами русла является количество и состав твердого материала (из которого слагаются

сами микроформы), поступающего с территории водосбора, со склонов и в результате размыва берегов и дна. В частности, галечно-валунные гряды, характерные для горных и полугорных рек, а также для равнинных рек, протекающих в условиях низко- и среднегорного рельефа в глубоковрезанных долинах (т. е. в условиях ограниченного развития русловых деформаций), имеют только одну, максимум две генерации — макроформы, соизмеримые с шириной русла, и мезоформы, представляющие собой крупные галечные косы, составляющие их часть. Микроформы в таких условиях вообще не возникают.

Наличие донных наносов, образующих иерархию грядовых форм руслового рельефа, в известной мере влияет на развитие вертикальных и горизонтальных русловых деформаций. По отношению к первым, это проявляется в том, что при большом стоке наносов и хорошо развитом донно-грядовом их движении отсутствует контакт потока с коренным ложом реки, что снижает интенсивность врезания русла; при малом стоке наносов верхние слои разрушенных коренных пород непрерывно удаляются потоком, коренное ложе постоянно экспонируется и вновь подвергается разрушающему воздействию потока. По отношению ко вторым: развитие гряд в русле способствует при прочих равных условиях интенсификации блуждания русла по дну долины (поперечному и продольному смещению излучин, развитию и отмиранию рукавов и т. д.), поскольку, накапливаясь в определенных зонах русла (например, в зонах замедления течения на излучинах), они усиливают эффект отклонения динамической оси потока к противоположному берегу, способствуя тем самым его размыву.

Взаимодействия потока и русла — процесс непрерывный, однако определяя руслоформирующий расход, можно устанавливать те этапы, при которых в силу максимального сосредоточения в это время воздействия на русло факторов руслового процесса осуществляются наиболее существенные горизонтальные деформации, образование и смещение форм донно-грядового рельефа. Характерно, что количество интервалов руслоформирующих расходов и их обеспеченность, определенные по методике Н. И. Макавеева для полугорных рек Западного Закавказья [8], оказались такими же, как и рассчитанные В. В. Ромашиним [14], положившим в основу анализа соотношение критических скоростей размыва и крупность руслообразующих наносов, а также многолетние натурные стационарные наблюдения за динамикой русел.

В зависимости от поставленной задачи с помощью руслоформирующего расхода можно определять как соотношение форм русла, развивающихся в разные фазы режима, так и выделять этапы активного руслоформирования и соответствующие им формы руслового рельефа в пределах отдельных фаз гидрологического режима. Например, расчеты руслоформирующих расходов для зимней межени позволяют установить определенный интервал расходов, при прохождении которых в условиях ледостава русло подвергается наиболее существенной перестройке (хотя в рамках гидрологического года эти деформации оказываются неощутимыми, а сам интервал Q_{ϕ} не отражается на эпюре Q_{ϕ} , построенной по многолетним данным) и которые находят отражение в рельефе русла в предполоводный период. В свою очередь на разных реках зимний руслоформирующий расход наблюдается при разных уровнях и имеет различную обеспеченность. На Вилюе (в/п Хатырк-Хомо) по многолетним данным в годовом разрезе выделяется до зарегулирования его стока Вилюйской ГЭС два интервала руслоформирующих расходов обеспеченностью 3,5% при затопленной пойме и 8% в пойменных бровках. Вычленение зимней межени и расчет Q_{ϕ} в эту фазу режима, выполненный Б. Н. Власовым, за многолетний период позволяет установить, что наибольшее воздействие на русло оказывают во время ледостава расходы обеспеченностью 59%. На верхней Оби (в/п Фоминское) в годовом разрезе руслоформирующим является только расход обеспеченностью 25%, наблюдающийся до затопления поймы, но выше отметок прирусловых отмелей, что при очень малой устойчивости русла обуславливает чрез-

вычайно сложный рисунок разветвления, лишенный, однако, вторичной разветвленности рукавов. В период зимней межени наибольшие размытые русла подо льдом происходят при расходах обеспеченностью 75%. С ними связано образование относительно глубоких ложбин между островами и многочисленными отмелями, которые отличаются достаточно крутой извилистостью и проявляются в рельефе русла после ледохода лишь до тех пор, пока увеличение водности реки во время половодья не достигнет основного руслоформирующего расхода и не произойдет занесения образовавшихся зимой ложбин благодаря массовому движению крупных гряд.

На реках с зарегулированным стоком, как известно, произошло существенное увеличение водности потока во время межени. Это повлекло за собой общее повышение обеспеченности руслоформирующих расходов нижних интервалов. Расчеты руслоформирующих расходов только для периода зимней межени на этих реках обнаруживают совпадение соответствующего им пика на эпюре Q_{ϕ} с нижним пиком на эпюре, построенной для всего диапазона расходов, и лишь обеспеченность последних оказывается несколько меньше, чем у зимнего интервала Q_{ϕ} . Например, на Волге у Козьмодемьянска нижний интервал руслоформирующих расходов имеет обеспеченность 76%, а подсчитанный за период зимней межени — 81%. Таким образом, регулирование стока водохранилищами ГЭС приводит к тому, что руслоформирующее значение приобретают в многолетнем плане меженные расходы, в том числе зимние.

К сожалению, наблюдения за русловыми деформациями в зимний период очень малочисленны. Съёмки русла обычно начинаются уже после прохождения пика половодья, когда результаты многомесячных переформирований в период ледостава практически полностью оказываются ликвидированными. Лишь для тех рек, на которых подъем уровней происходит во время половодья постепенно (верхняя Обь), можно обнаружить единичные планы русла, отражающие его состояние в предполоводный период. Среди опубликованных работ, содержащих результаты исследований русловых процессов в зимний период, известна лишь статья А. И. Ушакова [15].

Руслоформирующий расход отражает только ряд факторов, определяющих сток наносов на реках. Другие факторы, не учтенные в расчетном произведении для его определения, вносят известные коррективы в особенности русловых переформирований и развитие тех или иных форм русла. Однако их влияние легко устанавливается, если имеются данные о руслоформирующем расходе. Таким образом, анализ руслоформирующих расходов в многолетнем плане и для отдельных фаз гидрологического режима, учет остальных факторов русловых процессов, а также установление характера вертикальных русловых деформаций, определяющих собой фон развития руслового рельефа, позволяют выявлять региональную специфику развития русловых процессов и их пространственные изменения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чалов Р. С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
2. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
3. Чернов А. В. Морфология пойм равнинных и полугорных рек Сибири: Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1980. 33 с.
4. Сныченко Б. Ф. Типы руслового процесса и их возникновение. — Тр. Гос. гидрол. ин-та, 1980, вып. 263, с. 4.
5. Попов И. В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеониздат, 1965. 328 с.
6. Знаменская Н. С. Движение наносов и русловые процессы. Л.: Гидрометеониздат, 1976. 192 с.
7. Добровольская Н. Г. Особенности субаквального выветривания на равнинных и горных реках (на примере Лены и Кара-Бау, Западный Тянь-Шань). — Вестн. МГУ. География, 1980, № 2, с. 71.
8. Чалов Р. С. Некоторые особенности руслового режима горных рек. — Метеорология и гидрология, 1968, № 4, с. 70.

9. Талмаза В. Ф., Крошкин А. Н. Гидроморфометрические характеристики горных рек. Фрунзе: Кыргызстан, 1968. 204 с.
10. Зайцев А. А. Исследование процесса меандрирования способом спектрального анализа.— В кн.: Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. М.: Изд-во МГУ, 1981, с. 334.
11. Сидорчук А. Ю. Структура потока и руслового рельефа.— В кн.: Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. М.: Изд-во МГУ, 1981, с. 261.
12. Чалов Р. С. О классификации речных русел.— Геоморфология, 1980, № 1, с. 3.
13. Иванов В. В., Матвеев Б. В. Распространение и морфология излучин (на примере р. Вилюй).— В кн.: Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. М.: Изд-во МГУ, 1981, с. 293.
14. Ромашии В. В. Оценка руслового режима по морфологическим характеристикам.— Тр. Гос. гидрол. ин-та, 1972, вып. 190, с. 48.
15. Ушаков А. И. Русловые процессы в низовьях рек в зимний период.— В кн.: Тр. III Всесоюзного гидрологического съезда. Т. V. Л.: Гидрометеиздат, 1960, с. 225.

Московский государственный
университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
3.VI.1982

CHANNEL PROCESSES FACTORS AND CHANNEL FORMS HIERARCHY

CHALOV R. S.

Summary

Main landforms which are modelled by rivers and reflect their channel-forming activity are the following: river valleys; channels (meandering, braided, straight); ridge-like channel bedforms (shallows, point bars, ripples). Each landform develops due to a certain complex of channel process factors, which control also combinations of the main varieties of channel deformations; as the forms' order increases, they become less frequent and less clearly manifested. On the other hand, special features of channel-forming discharges and the channel stability makes for 2nd and 3rd order bedforms hierarchy, the channel morphology may be extremely complicate in this case. Calculations of channel-forming discharges as an integral characteristic of channel processes permit to reveal regular correlation of channel forms as well as to elucidate a significance of each phase of hydrological regime for the channel deformations.