



Структура руслового рельефа, ее связь с формами русла и опеределяющими факторами

Все многообразие существующих одновременно на дне речной долины форм русла и руслового рельефа различных размеров определяет структурный подход к анализу морфологии речного русла. Практика использования рек требует учета (а в некоторых случаях даже устранения) русловых форм, характеризующихся определенными размерами и скоростями передвижения. В результате возникла необходимость выделения групп русловых образований, близких по морфологическим и динамическим свойствам, их изучения и определения степени влияния на них других форм руслового рельефа и на этой основе разработки методов выправления русла.

Подытоживая основные представления о номенклатуре и структурной организации форм руслового рельефа, Н.Е.Кондратьев

сформулировал положение о дискретности руслового рельефа и его структурных уровнях. К настоящему времени выделены главные структурные уровни руслового рельефа, намечены основные критерии для отделения одного уровня от другого, получены их морфологические, динамические, а в ряде случаев и режимные характеристики (Кондратьев и др., 1982).

Объективный способ определения количества структурных уровней русловых форм и границ между ними – спектральный анализ рядов отметок дна. Для охвата всего диапазона размеров русловых форм необходимо подбирать реализации отметок дна разной длины и с разным шагом квантования, чтобы по длине реализации укладывалось 20–100 характерных длин волн. Обычно на комплексных функциях спектральной плотности выделяется несколько областей длин волн, к ним приурочена относительно большая доля дисперсии процесса. Эти области разделены узкими диапазонами длин волн, которым соответствует относительно меньшая доля дисперсии.

На графиках связи спектральной плотности отметок дна с величинами длин волн, построенных в логарифмическом масштабе, области повышенной дисперсии отчетливо выделяются как ступени функции спектральной плотности. Такая ступень характеризует некоторый класс русловых образований, имеющих примерно одинаковый объем (площадь) и резко отличающихся по этому признаку от другого класса. Каждый класс русловых образований можно соотносить со структурными уровнями руслового рельефа. В результате на функциях спектральной плотности выделяются все основные структурные уровни морфологии речного русла: 1) частицы наносов; 2) ультрамикроформы; 3) микроформы; 4) мезоформы; 4) макроформы, соответствующие формам русла; 6) мегаформы. Если первый уровень соответствует отдельным частицам наносов на дне потока, то последний объединяет серии форм самого русла реки; промежуточное положение занимают различные формы грядового рельефа дна русла. Внутреннее содержание структурных уровней составляют более компактные группы русловых форм – структурные ячейки. Так, в пределах формы I ранга – свободных меандр (собственно формы русла) находятся формы II ранга – побочки, которые на более узких и устойчивых участках русла замещаются соответствующими по размерам ленточными грядами, на более широких – осередками; на побочках в свою очередь выделяются формы III ранга – песчаные волны. Даже в неразветвленном русле по его ширине укладывается более двух песчаных волн. При понижении уровня воды ниже их гребней поток разбивается на отдельные протоки. Песчаные волны в свою очередь усложняются формами IV ранга – шалыгами, шалыги – застругами (V ранг). На застругах выделяются формы VI ранга – дюны. При дальнейшем усложнении руслового рельефа на дюнах

появляются рифели и рябь и число рангов увеличивается до восьми. Количество структурных ячеек русловых форм определяет степень сложности руслового рельефа.

Качественная группировка форм руслового рельефа по признакам близости их морфологии, размеров динамики и места в иерархическом ряду наиболее проста. При наличии подробных схем русла или аэроснимков можно выявить всю систему структурных ячеек. Однако из-за близости морфологии и размеров отдельных русловых форм соседних рангов возникает определенная трудность в их типизации. Для устранения субъективизма необходимо применять методы количественной группировки объектов, однородных по одному или нескольким признакам, т.е. кластер-анализа. Для выявления иерархии русловых образований можно использовать два способа: метод усредненного связывания Кинга в сочетании с линейной детерминированной моделью распознавания образов и спектральный анализ. При спектральном анализе рядов глубин русла выделяются ленточные гряды, песчаные волны, шалыги и более мелкие формы руслового рельефа, отчетливо выраженные в изменении отметок дна, при анализе рядов кривизны русла – меандры и острова, побочни и осередки, т.е. формы, четко выраженные в плане. Эти способы в целом дают близкие результаты и дополняют друг друга. Качественная группировка в сочетании с методом Кинга позволяет представить себе русловые формы каждой выделенной структурной ячейки, установить их характерные размеры. Благодаря спектральному анализу выделяют структурные ячейки и определяют характерные размеры русловых форм при очень сложной структуре рельефа, когда качественная группировка наименее объективна.

Рябь и рифели – самые массовые формы грядового руслового рельефа на песчаных реках. Их длина не более $1000 d_{\text{ср}}$. Чаше всего они составляют структурный уровень ультрамикрорформ. На большинстве рек самые мелкие гряды – дюны, более крупные – заструги, еще более крупные – шалыги. На шалыге обычно расположены 2–3 заструги, на заструге – 2–3 дюны. Рифелей на дюне насчитывается более 6–8. Эти формы относятся к структурному уровню микроформ.

Закономерности морфологии и динамики рифелей, дюн и застрогов были изучены на примере русла Нигера. Только рифели связаны однозначными зависимостями с гидравлическими характеристиками потока. Морфология и динамика более крупных гряд и величины создаваемых ими гидравлических сопротивлений, в общем случае определяемые широким набором природных характеристик, требуют специального изучения.

Крупные формы внутрируслового рельефа, соизмеримые по длине с шириной – десятком ширин русла, чаще всего относятся к структурному уровню мезоформ. Они в основном опреде-

ляют плановые очертания русла в межень. Здесь также часто выделяются две, реже три группы русловых форм, соподчиненных по размерам и моделирующих поверхность друг друга. Наиболее мелкими мезоформами являются песчаные волны. Более крупные гряды, если каждая из них занимает всю ширину прямолинейного русла, называют ленточной грядой (в случае перпендикулярного берегам гребня) или перекастом (если гребень перекошен). При шахматном порядке расположения таких гряд вдоль берегов они называются побочными, хотя морфологически они нередко входят в состав перекастов. Часто побочни отрезаны от берега побочными потоками, более узкими, чем основное русло. В случае примерно одинаковой ширины русла с обеих сторон гряды она представляет собой осередок. Гряды, размеры которых определены соотношением их ширины и ширины русла, составляют уровень наиболее крупных мезоформ руслового рельефа.

Формы русла на реках в условиях свободного развития русловых деформаций имеют размеры, соотносимые с шириной днища речной долины. Они в большинстве случаев двумерны, их конфигурация определяет морфологический тип речного русла и вид горизонтальных русловых деформаций. Формы русла состоят как из отрезка речного русла со всем его рельефом, так и фрагмента поймы. Основные типы форм русла: прямолинейные русла, меандрирующие или извилистые русла, разветвленные на рукава русла. Чаще всего формам русла соответствует понятие макроформ (Кондратьев и др., 1982).

Сложные формы русел, состоящие из нескольких однопорядковых образований с общими и взаимосвязанными характеристиками русловых деформаций, изучены сравнительно слабо. Сложные формы русла имеют длину порядка десятков ширин днища долины. К ним относятся: пойменная многорукавность, когда река разделена на пойме на отдельные, причудливо сливающиеся и разделяющиеся рукава, которые можно иногда рассматривать как отдельные реки, хотя степень взаимовлияния их достаточно велика; дельтовые разветвления, когда пойменные рукава самостоятельно достигают приемного водоема; серии излучин — группа излучин речного русла с закономерно изменяющимися по длине реки морфологическими характеристиками (длиной, радиусом кривизны); сопряженные разветвления русла и т.д. Сложные формы русла как определенный структурный уровень предлагается называть мегаформами.

Морфологически однородный участок выделяют на основании неизменности по его длине расходов воды и наносов, уклонов русла и долины. Для него характерны один морфологический тип русла и вид русловых деформаций, но он может включать в себя, например, несколько серий излучин, несколько систем сопряженных рукавов и т.д. В его выделении в первую очередь учитывают именно комплекс форм русла.

Единство вида связи для морфометрических характеристик всех русловых форм с гидравлическими факторами можно проиллюстрировать влиянием на них основного гидрологического фактора – водности реки. В широком диапазоне расходов воды и размеров русловых форм линии, соединяющие точки, относящиеся к русловым формам одинаковых рангов, параллельны друг другу. Разброс точек объясняется влиянием неучтенных факторов и стохастической природой явления (рис. 15).

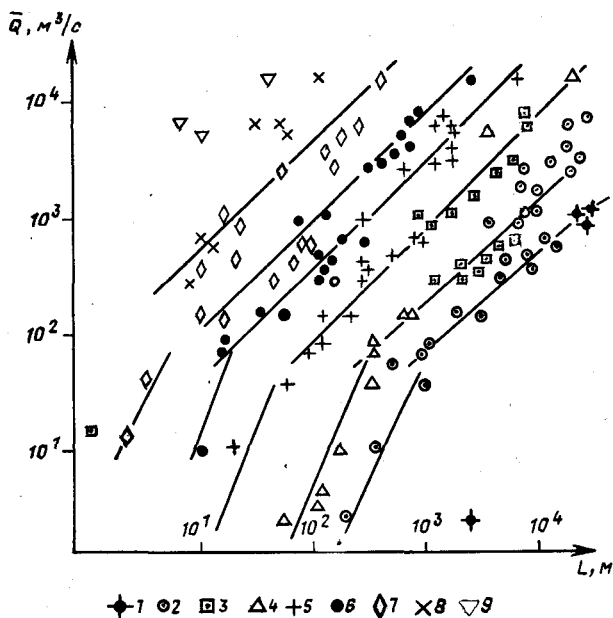


Рис. 15. Изменение размеров русловых форм различных рангов в зависимости от расхода воды: 1 – сложные излучины, 2 – излучины, 3 – побочни, 4 – ленточные гряды, 5 – песчаные волны, 6 – шалыги, 7 – заструги, 8 – дюны, 9 – рифели

Степень сложности структуры руслового рельефа увеличивается с ростом водности реки. Усложнение происходит за счет возникновения при некотором пороговом расходе воды русловых форм все меньших абсолютных размеров. Абсолютный размер частиц наносов ограничивает "снизу" сложность руслового рельефа (количество структурных уровней и структурных ячеек), так как не может образоваться форма руслового рельефа размером, равным или меньшим размера частиц аллювия. Видимо, существует предел и для соотношения размеров самой малой гряды в системе руслового рельефа и крупности аллювия. Так, на Алдане при d_{cp} 70–80 мм самые мелкие гряды имеют шаг 60–100 м, на р.Киренге ($d_{cp} \sim 30$ –40 мм) – 10–20 м, на р. Нигере при крупности донных грунтов 0,6–0,8 мм на дне формируется рябь с шагом 0,4–0,6 м, на р. Тереке (d_{cp}

0,25 мм) шаг ряби не превышает 0,2–0,3 м. Таким образом, критическое число λ/d_{cp} колеблется в пределах 400–1000.

Второй фактор, ограничивающий сложность системы русловых форм "снизу", – кинетичность потока. Для низовой р. Терека периода межени в русле отмечены все формы рельефа русла и формы русла. Однако при увеличении расходов воды до среднегодовых и соответствующем росте числа Фруда расположенные на застругах дюны размываются. При руслоформирующих расходах воды размываются также и заструги. Во время катастрофических паводков происходит размыв всех гряд, меньших по размерам, чем побочни. В высококинетичных горных потоках наблюдается полностью бесструктурное русло, составляющее определенный тип горного русла.

Ограничение на сложность руслового рельефа "сверху" накладывает литология бортов долины реки. Однако это в основном касается форм русла, в частности излучин. Например, свободные излучины Вычегды прослеживаются на протяжении всего верхнего и среднего течения реки. Ниже устья Выми они настолько увеличиваются по длине и выполаживаются (в соответствии с увеличением руслоформирующего расхода), что морфологически теряются в изгибах долины реки и могут быть выделены лишь условно. В низовьях рек Нигера и Енисея, судя по связи длин русловых форм с расходами воды, русловые формы I ранга вообще отсутствуют, а излучины этих рек имеют II ранг. При этом на Нигере они настолько пологи, что находятся на грани морфологического вырождения; на Енисее (ниже устья Нижней Тунгуски) излучины врезанные и частично определены структурным планом территории.

При изменении гидравлических характеристик меняется морфология отдельных элементов форм руслового рельефа каждого ранга, причем может сохраниться прежняя степень сложности всей системы. Так, в верхнем течении Вычегды в русле развиты ленточные гряды, гребни которых слегка асимметричны и перегораживают все русло реки. Ниже впадения Вишеры ленточные гряды трансформируются в побочни. Как уже отмечалось, ниже устья Выми излучины на Вычегде перестают морфологически выделяться. Однако на этом же участке побочни начинают зарастать и стабилизироваться, а русло продолжает оставаться свободномеандрирующим, но уже на уровне II ранга русловых форм. Песчаные волны, осложнявшие побочни, в свою очередь преобразуются в побочни (в сужениях русла – в ленточные гряды, в расширениях – в осередки). Соответственно меняются морфология и положение в иерархическом ряду остальных элементов руслового рельефа.

Таким образом, морфологически одинаковые русловые формы на разных реках и даже на разных участках одной и той же реки могут в ряду русловых образований иметь различный ранг.

Следовательно, они будут относиться к разным ветвям зависимости размеров русловых форм от величин определяющих гидравлических факторов. Это обстоятельство должно учитываться при составлении гидролого-морфометрических (режимных) зависимостей, широко используемых при русловом анализе.

Переход от подвижных внутрирусловых (грядовых) форм к формам русла, определяющим морфологический тип русла и качественную оценку характера русловых деформаций, также может произойти на разных реках на уровне разных элементов системы русловых форм. Этот переход обычно связан с зарастанием песчаного аккумулятивного образования, формирования на нем пойменного аллювия и некоторой его морфологической трансформацией. Интенсивность этих преобразований зависит от физико-географических факторов: гидрологического режима реки и времени субэраляльного существования формы руслового рельефа; условий для поселения растительности на аллювиальных песках, мутности воды в реке, скорости образования пойменного аллювия и др. Переход внутрирусловой грядовой формы определенного размера и ранга в форму русла определяется совокупностью гидравлических и физико-географических факторов. При этом в силу закона М.А.Великанова - Н.И.Маккавеева об ограниченности естественных комплексов одинаковые формы русла и морфологические его типы будут возникать на базе внутрирусловых форм разных рангов. Так, Терек ниже Каргалинского гидроузла, Вычегда ниже устья Выми, дельтовый рукав Нигера - Форкадос свободно меандрируют. Однако на Тереке излучины (формы I ранга) образовались из изгибов потока реки среди плавней, на нижней Вычегде - на базе побочной и имеют II ранг, на рукаве Форкадос - из узлов разветвлений, их ранг III. На многорукавных же реках чем больше ранг форм русла, тем сложнее его морфологический тип. Река Обь в среднем течении обладает руслом с простыми сопряженными разветвлениями, здесь переход к формам русла произошел на уровне II-III рангов русловых форм (побочной - осередков). На верхней Оби этот переход произошел на уровне IV-V рангов (песчаных волн - шалыг). В результате здесь русло имеет сложные сопряженные разветвления, местами оно близко к разбросанному.