

КОНТИНУАЛЬНЫЕ И ДИСКРЕТНЫЕ СВОЙСТВА РЕЛЬЕФА РЕЧНОГО РУСЛА

А.Ю. Сидорчук



Московский государственный университет

Н.Е.Кондратьев (1953) сформулировал принцип дискретности руслового процесса, который базируется на опыте анализа морфологии и динамики конкретных форм рельефа речного русла. Несомненная плодотворность дискретного подхода оставила в тени другую важнейшую сторону руслового процесса - его континуальность. Русловые гряды и их комплексы взаимосвязаны и непрерывно изменяют тип, форму и размеры в пространстве и времени, переходя из одного типа в другой и замещая друг друга. Это является отображением в размываемом русле ансамбля макротурбулентных квазистационарных вихревых образований, развитых в русловом потоке.

Теоретическим доказательством континуальности руслового рельефа является исследование методом малых возмущений уравнений плановой гидравлики в форме, записанной Н.А.Картвелишвили (1977). Эта запись уравнений учитывает как кривизну свободной поверхности потока в вертикальной плоскости, так и кривизну линий тока в горизонтальной плоскости, что позволяет исследовать все классы неустойчивых волн на дне речного русла. Ненулевые граничные условия для возмущений гидравлических характеристик потока приводят к решению в виде спектра волн, непрерывного как по продольному, так и по поперечному волновому числу (Сидорчук, 1992).

Эмпирическим доказательством континуальности руслового рельефа являются многочисленные опубликованные одномерные функции спектральной плотности, которые указывают на существование в рельефе речного русла непрерывного ансамбля волн. Они характеризуют как весь иерархический комплекс руслового рельефа (Сидорчук, 1984), так и отдельные его части (Nordin, 1971, Никора, 1986). Хотя в большинстве случаев спектральный анализ применяется для выявления дискретных характеристик руслового рельефа, некоторые исследователи указывают на выявляемую при этом континуальность, как на его основное свойство (Carling, 1986).

В то же время и теоретические, и эмпирические исследования указывают на одновременное наличие и континуальности, и дискретности руслового рельефа. На теоретическом непрерывном двумерном спектре русловых форм выделяются

ограниченные области, которые характеризуют разные типы гряд: 1) двухмерные самые малые гряды (рифели), амплитуда которых растет с увеличением глубины потока и числа Фруда; 2) трехмерные изометричные в плане малые гряды (дюны, заструги); 3) трехмерные вытянутые средние гряды (шалыги, песчаные волны); 4) трехмерные большие гряды (побочни, осередки), амплитуда которых растет с увеличением глубины и уменьшением числа Фруда и шероховатости; 5) сильно вытянутые по потоку самые большие гряды (мегаформы). Эмпирический анализ кривых распределения параметров гряд и спектров отметок дна русла, выявляет статистически значимые максимумы плотности вероятности или спектральной плотности, которые соответствуют обособленным комплексам гряд в иерархии рельефа речного русла. При этом в одних случаях длины волн фактических русловых форм соответствуют длинам волн с хорошо выраженными максимумами на теоретических спектрах, как для рифелей и больших гряд. В других случаях эмпирически хорошо выраженные комплексы гряд (такие как дюны, заструги, шалыги, песчаные волны, побочни) не проявляются в соответствующих областях теоретического спектра, здесь он монотонный и лишен локальных максимумов.

Так как анализ уравнений плановой гидравлики методом малых возмущений был проведен в линейном приближении, можно полагать, что такого рода грядовые русловые формы, которые образуют максимумы эмпирических функций распределения и спектральной плотности, появляются в силу нелинейных эффектов. Например, такой эффект оказывает поперечный перенос наносов на изгибе русла. Если полуширина гряд в иерархическом комплексе $Wг$ меньше ширины русла B , то такие гряды с соотношением $L/Wг < 8$ (L - шаг гряды) не оказывают существенного влияния на размыв берегов русла. Если гряда достаточно велика и $Wг > B$, то такая гряда (побочень) вызывает размыв одного из берегов и формирование изгиба русла - меандры. Скорость размыва берега обратно пропорциональна шагу вызывающих этот размыв гряд. В результате континуум гряд с $Wг > B$ (или $L > 8*B$) формирует континуум меандр, из которых наибольшую выраженность (амплитуду, угол входа) при одинаковой продолжительности развития будут иметь самые малые меандры с шагом $L \sim 8*B$. Это хорошо соответствует эмпирическим данным (Леопольд, Вольман, 1960). Развитие поперечной циркуляции на изгибе русла вызывает дифференциацию глубин поперек и вдоль потока и относительное увеличение амплитуды гряд с шагом $\sim 4*B$, которые отсутствуют на теоретических спектрах, но хорошо выражены на эмпирических.