

В.К. Дебольский, И.И. Грицук

РАЗВИТИЕ УЧЕНИЯ О РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССАХ

V.K. Debolsky, I.I. Gritsuk

DEVELOPMENT OF THE SCIENCE OF RIVER-BED PROCESSES

Выполнен анализ развития учения о русловых процессах. Рассмотрены гидродинамический и гидроморфологические подходы к его формированию, а также подходы, основанные на применении математических моделей. Наиболее перспективный путь дальнейшего развития этого учения – теоретико-экспериментальный, базирующийся на имеющихся фундаментальных результатах и космических данных.

Development of the studies of river-bed processes is analyzed. The hydrodynamic and hydromorphological approaches and using of mathematical models are considered. It was determined that the most perspective direction of these studies are the theoretical and experimental approaches based on the fundamental scientific results and cosmic data.

Начало развития исследований и формирование учения о русловых процессах несомненно можно отнести к 50-м годам прошлого века. Достаточно сослаться на известные коллективные монографии «Русловой процесс», вышедшие под редакцией М.А. Великанова в 1955, 1958 и 1960 гг. В дальнейшем уже к середине 80-х годов можно сказать теоретически и экспериментально были обоснованы различные подходы к познанию русловых процессов. Различные в том смысле, что рассматривались разные масштабы явления. Эти подходы базировались, во-первых, на исследованиях физики процесса транспорта наносов и движения русловых форм на лабораторных установках, а, во-вторых, на анализе обширной базы данных наблюдений в природных условиях. В первом случае, поскольку измеряются в основном гидродинамические параметры руслового потока, анализируются небольшие масштабы переформирования русла и собственно транспорт наносов, а во втором рассматриваются гидрологические и морфологические параметры руслового потока, что позволяет описывать динамику русла уже очень больших масштабов.

Гидродинамические линейные масштабы для природных русловых потоков составляют от 1 см до первых метров, а временные – от 0,1 до 100 с в зависимости от размеров потока. С ними кажутся несравнимыми масштабы таких русловых процессов, как формирование побочной, осередков, излучин: линейные от 10 м до первых километров и временные от десятков часов до нескольких лет. Тем не менее, взаимодействие потока и русла, определяющее русловой процесс происходит именно на уровне гидродинамических масштабов и далее развивается в крупные переформирования, но не посредством ин-

тегрирования результатов взаимодействия, а перехода взаимодействия также на другие масштабы. То есть если в первом случае существенную роль играют параметры турбулентности потока, то во втором – параметры, определяющие течения на повороте, крупномасштабные вихри, возникающие при обтекании препятствий и т.д. Существенные особенности взаимодействия потока и русла возникают при выходе потока на пойму. Однако эти особенности благодаря обширным исследованиям Н.Б. Барышникова удалось достаточно адекватно описать с тех же позиций гидродинамики.

Из ряда предложенных для описания различных аспектов русловых процессов методов следует выделить вероятностно-статистические. При этом на гидродинамических масштабах рассмотрение процесса переноса в предположении случайного блуждания позволяет использовать для его описания уравнение Фоккера – Планка – Колмогорова. На больших масштабах параметры процесса определяются моментами их распределения и даже их спектральными характеристиками.

Необходимо отметить, что в некоторых работах, в том числе основанных на лабораторных экспериментах, утверждается неадекватность диффузионного описания переноса частиц наносов, к которому сводится указанное выше уравнение. Однако, по-видимому, более физически обоснованного предложения, чем описание переноса со случайным блужданием частиц нет и не будет. Другое дело, что параметры переноса частиц не всегда можно отождествлять с этими параметрами для жидкости. В то же время для природных условий это отождествление практически всегда дает погрешность, сравнимую с погрешностью измерений результатов переноса.

Большинство исследований, выполненных до 80-х годов прошлого века, имели цель разработать методы расчета транспорта наносов, динамики русловых форм и плановых трансформаций собственно русла. Эти методы, по существу, позволяют ответить на вопрос: что будет, если изменятся характеристики потока и русла? При этом по умолчанию считается, что в данный момент взаимодействие потока и русла «равновесно» и даже при скачкообразном изменении характеристик новое взаимодействие будет также «равновесным».

Другие исследования направлены на прогнозирование развития руслового процесса, т.е. перехода от одной его стадии к другой в соответствии с разработанными к настоящему времени классификациями этих стадий и последовательностью перехода от одной к другой. При этом предполагается, что гидрологический режим водотока, включая его сезонные и межгодовые колебания, остается неизменным. Часто для составления таких прогнозов используются водотоки-аналоги, для которых имеется ряд наблюдений.

Вообще, краткосрочный, не более чем на год, прогноз развития руслового процесса возможен на основе статистического совместного анализа динамики русла и гидрологического режима водотока за возможно более длинный ряд лет. Такие исследования проводятся, и их результат в отличие от рассмотрен-

ного выше метода прогнозирования уже дает количественную оценку, а не качественную.

Начиная с 80-х годов прошлого века произошло буквально взрывное развитие применения численных моделей транспорта наносов и русловых процессов. Эти модели представляют собой численную реализацию взаимоувязанных уравнений движения потока, неразрывности и/или транспорта, баланса наносов. Имеются такие модели даже в трехмерном представлении, что позволяет прогнозировать развитие руслового процесса. Конечно, стоит вопрос об адекватности этих моделей. С позиций физических представлений вообще они не вызывают возражений. Что касается деталей, то их адекватность определяется прежде всего близостью к натуре параметризации члена, описывающего сопротивление потока. Например, даже в двухмерных, не говоря уже о трехмерных, моделях безусловно должны учитываться существенные, как было показано в работах Н.Б. Барышникова, изменения сопротивлений при выходе потока на пойму, о чем говорилось выше. Однако ни в одной из предложенных моделей эти изменения не рассматриваются. В то же время эти модели «верифицируются», причем даже с использованием уникальных натуральных данных все того же ЛГМИ, но как – подгонкой значений коэффициента шероховатости. В связи с этим вызывает сомнение возможность применения этих моделей к прогнозам русловых процессов на водотоках, для которых натурные данные отсутствуют.

По поводу натуральных данных заметим, что в отличие от океанологии, развивающейся, включая теории, прежде всего за счет натуральных исследований, которые обеспечиваются аппаратурой и приборами на уровне «НИ-ТН», в гидрологии вот уже более 20 лет натурные исследования деградируют и сводятся к измерениям гидрохимических характеристик.

В перспективе вряд ли можно рассчитывать на развитие гидротехнического строительства или транспорта по внутренним водным путям в России и расширение в связи с этим гидрологических исследований. Такое расширение, по-видимому, можно связывать с необходимостью прогнозирования и смягчения последствий природных и техногенных чрезвычайных ситуаций на водных объектах, частота которых за последние годы имеет устойчивую тенденцию к возрастанию. Кроме того, все более жесткие экологические требования к эксплуатации гидротехнических сооружений особенно постройки 50 – 70-х годов прошлого века в части аккумуляции загрязнений в донных отложениях, вторичных загрязнений и береговых деформаций уже вызывают необходимость исследования различных аспектов русловых процессов. В связи с этим следует рассмотреть основные направления развития этих исследований.

Исследования транспорта наносов необходимо развивать в направлении рассмотрения нестационарного потока, наличия фильтрации в русло или инфильтрации из него, а также поступления наносов с верхового участка. Таким образом, в уравнениях неразрывности и баланса наносов должны появиться

члены в их правой части. Собственно это и даст возможность оценить, например, экологические последствия попусков в нижний бьеф гидроузла, где аккумулярованы результаты сбросов «очищенных» сточных вод или последствия «промывок» русел рек на урбанизированных территориях. Кроме того, в этих моделях нестационарного потока граничные условия поступления наносов с верхового участка также должны быть нестационарными, а наличие наносов и нестационарность должны быть учтены при параметризации сопротивлений течению и коэффициентов обмена.

Используемые в настоящее время модели транспорта наносов всего этого лишены и поэтому принципиально не могут быть использованы для решения указанных выше задач или, как минимум, должно показать, что ни наличие фильтрации, ни поступление наносов с верхового участка, ни нестационарность течения не влияют или мало влияют в количественном отношении на процесс транспорта наносов.

Параметризация характеристик течения, обмена, переноса и сопротивления возможна только по данным экспериментальных исследований и верификации этих данных по результатам натурных исследований, поскольку физическое динамическое моделирование этих процессов принципиально невозможно. Привлеченные для верификации натурные данные должны иметь возможно больший диапазон масштабов объектов. Только при этом условии возможно подтверждение физической адекватности натуре эмпирических соотношений для определения параметров процесса, полученных на основе лабораторных экспериментов.

Это крайне важно потому, что, например, для практически всех равнинных рек диапазоны изменения характеристик руслового потока невелики: глубины 1 – 10 м, скорости течения 0,1 – 2 м/с, размеры частиц наносов 0,1 – 1 мм. Плюс к этому эти характеристики, от которых зависят указанные выше параметры, входят в искомые зависимости в виде отношений и поэтому значения параметра изменяются ещё в меньшем диапазоне. Так, получив некоторое эмпирическое соотношение по данным лабораторных экспериментов, введением поправочных коэффициентов можно всегда получить хорошее совпадение рассчитанных по нему значений с некоторыми натурными данными, а предельные случаи не рассматривать. Работ подобного рода довольно много, но развитие конечно не на этом направлении.

Развитие исследований русловых процессов, по-видимому, следует связывать как с разработкой математических моделей динамики различных его форм, так и со статистическими моделями прежде всего плановых переформирований русла, связанных со статистическими моделями колебания водности потока. Весьма перспективным направлением является применение математических моделей динамики русловых форм для прогнозирования их развития при различных вариантах колебания водности в соответствии модельным рядом. Реализация этого направления наконец-то позволит установить

количественные связи между порядками, типами и видами водотоков и формами руслового процесса, а также некоего критерия, определяющего характерное время русловых переформирований разных масштабов – от смещения микроформ до формирования излучин. Важно, что в настоящее время идентификация результатов таких исследований не составляет особого труда в связи с возможностью компьютерного анализа огромного массива космической информации.

Таким образом, развитие учения о русловых процессах связывается в настоящее время в основном с обеспечением экологической безопасности жизнедеятельности человека на водных объектах, а основные направления развития – теоретико-экспериментальное, базирующееся на ранее полученных фундаментальных результатах, с использованием современной космической информации.