

## СООТНОШЕНИЕ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОТОКА И СТОКА НАНОСОВ КАК УСЛОВИЕ ФОРМИРОВАНИЯ РУСЕЛ РЕК РАЗНЫХ ТИПОВ

Расход наносов – количество наносов, проносимых потоком [1] (за единицу времени). Транспортирующая способность потока – предельный расход наносов, который способен транспортировать поток [1]. Из этих определений видно, что расход наносов не всегда равен транспортирующей способности потока. Транспортирующая способность потока (по отношению к несомым им наносам) определяется гидравлическими характеристиками потока на конкретном участке реки и не зависит от количества приходящих наносов с расположенного выше участка реки. Поэтому необходимо четко разделить три понятия: *поступление наносов* на рассматриваемый участок реки с расположенного выше участка; *транспортирующая способность потока* (сколько наносов может перемещать поток); *расход наносов*, который представляет собой результирующую величину от поступления наносов и транспортирующей способности потока.

Независимо от транспортирующей способности потока поступление наносов может быть малым (мал), средним (ср) или большим (бол). В то же время транспортирующая способность потока может быть независимо от количества поступающих наносов также малой (мал), средней (ср) или большой (бол) (рис. 1, а).

Результатом сочетания поступления наносов и транспортирующей способности потока является расход наносов. Запишем в таких же условных знаках (мал, ср, бол) получаемые величины расхода наносов. Расход наносов может быть больше поступления наносов сверху лишь при эрозии – размыве русла. Иначе дополнительному количеству наносов просто неоткуда взяться. С другой стороны, расход наносов не может быть больше, чем транспортирующая способность потока (по определению) и если поступающее количество наносов больше ее, происходит аккумуляция наносов. Таким образом, получаем значения расхода наносов при различных сочетаниях поступления наносов и транспортирующей способности, показанные на рис. 1, б.

На рисунке 1, в выделяются три характерные части: 1) диагональ, на которой поступление наносов, транспортирующая способность потока и расход наносов совпадают; 2) треугольная часть рисунка выше этой диагонали, в которой транспортирующая способность потока меньше поступающих наносов, а расход наносов равен транспортирующей способности; 3) часть ниже диагонали, в которой транспортирующая способность больше подачи наносов, а расход наносов равен поступлению наносов.

Косыми линиями поле разделено на пять характерных частей, в которых в овалах указаны значения отношения транспортирующей способности к поступлению наносов. Диагональ, на которой транспортирующая способность, поступление наносов и расход наносов равны, соответствует ленточно-грядовому типу руслового процесса.

Верхний треугольник соответствует случаю, когда транспортирующая способность меньше поступления наносов, т.е. поступление наносов с расположенного выше участка большое, а транспортирующая способность потока на этом участке не достаточна для нормального транспорта этих предложенных реке наносов. Тип руслового процесса, соответствующий такому случаю – русловая многорукавность.

Нижний треугольник показывает, что транспортирующая способность больше поступления наносов. Все наносы, которые поступают сверху, перемещаются рекой, и этого по сравнению с транспортирующей способностью оказывается даже мало. В этом случае река начинает переносить влекомые наносы в виде побочной. Затрачивая лишь часть своей энергии на транспорт поступающих сверху наносов, она еще начинает дополнительно деформировать берега, и поэтому – меандрировать (рис. 1, г). Та-

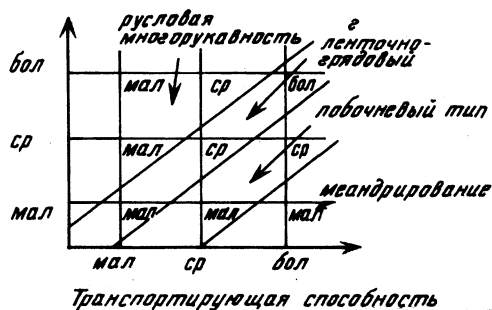
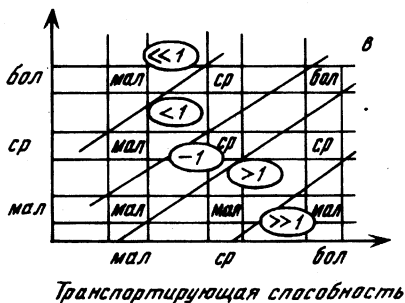
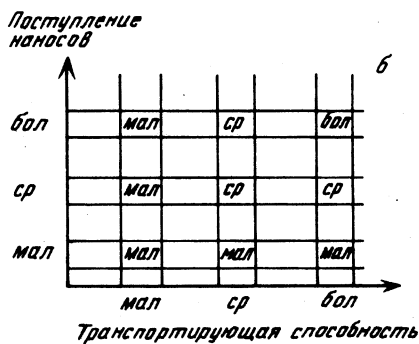
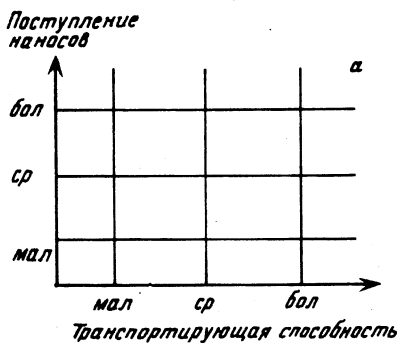


Рис. 1. Значения расхода наносов и типы руслового процесса при различном сочетании транспортирующей способности потока и поступления наносов с верхнего участка

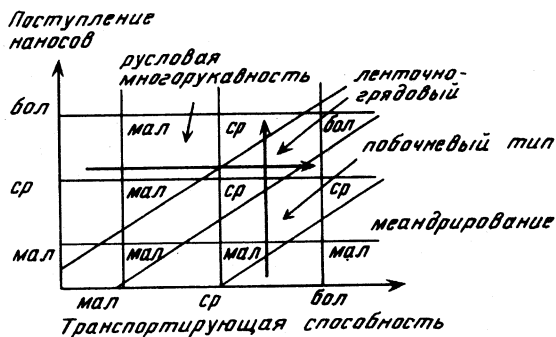


Рис. 2. Значения расхода наносов и типы руслового процесса при различном сочетании транспортирующей способности потока и поступления наносов с верхнего участка. Стрелками показано увеличение расхода наносов

ким образом, предлагаемый порядок типов русловых процессов можно связывать не с транспортирующей способностью потока и не с расходом наносов [2], а с отношением транспортирующей способности потока к поступлению наносов с расположенного выше участка реки. Такое отношение логично назвать "относительная транспортирующая способность".

Рассмотрим, каков порядок изменений типов руслового процесса при увеличении расхода наносов (рис. 2). Жирными стрелками на рисунке показано увеличение расхода наносов. Горизонтальная стрелка показывает увеличение расхода наносов при постоянном поступлении наносов, но увеличении транспортирующей способности потока. Расход влекомых наносов увеличивается, приводя к изменению типа русла от русловой

многоорукавности к меандрированию. Вертикальная стрелка показывает увеличение или постоянство расхода наносов, но при постоянной транспортирующей способности потока за счет увеличения поступления наносов. Река перегружается наносами и начинает обтекать их, транспортировать "лишние" наносы по типу русловой многоорукавности. Поэтому принимать расход наносов за определяющий фактор типа руслового процесса можно лишь с оговоркой о том, за счет чего происходит изменение расхода наносов, т.е. за счет увеличения поступления наносов через верхний створ или за счет увеличения транспортирующей способности потока (например, за счет увеличения скоростей).

Рассмотрим порядок изменения типов руслового процесса при увеличении транспортирующей способности потока. На рисунке видно, что происходит изменение типов от русловой многоорукавности к меандрированию, что противоположно выводам Н.Е. Кондратьева и И.В. Попова [2] (разрешение этого противоречия описано ниже). Направление увеличения относительной транспортирующей способности таково: русловая многоорукавность → ленточно-грядовый тип → побочневый тип → разные виды меандрирования. При русловой многоорукавности относительная транспортирующая способность минимальна. Транспортирующая способность меньше предлагаемых реке наносов. При меандрировании относительная транспортирующая способность максимальна. Транспортирующая способность больше поступления наносов (рис. 2).

При меандрировании происходит уменьшение транспортирующей способности потока за счет того, что уменьшается уклон поверхности потока из-за удлинения русла. Представим некое прямолинейное русло, в котором транспортирующая способность относительно велика. Разность между слишком большой транспортирующей способностью и малым поступлением наносов приводит к развитию меандрирования, удлинению русла и уменьшению транспортирующей способности. Причинно-следственная цепочка образования меандрирования такова: транспортирующая способность потока велика по сравнению с поступлением наносов → избышек энергии → деформация берегов → образование меандрирования → уменьшение уклона водной поверхности → уменьшение транспортирующей способности → уравнивание транспортирующей способности и поступления наносов → меандрирование реки при динамическом равновесии.

При русловой многоорукавности из-за увеличения фронта перемещения наносов транспортирующая способность потока увеличивается. Представим прямолинейное русло, в котором транспортирующая способность потока относительно мала, затем разность между малой транспортирующей способностью и относительно большим количеством поступающих наносов приводит к образованию осередков, распластыванию русла и уменьшению транспортирующей способности. По внешнему виду это начальное русло будто бы ничем не отличается от рассмотренного выше русла при образовании меандрирования.

Русловая многоорукавность (по сравнению с тем гипотетическим руслом, из которого она получилась) имеет относительно большую транспортирующую способность. В реальном устойчивом русле, развивающемся по типу русловой многоорукавности транспортирующая способность потока должна быть равна поступлению наносов. Значит, в прямолинейном виде в этом случае транспортирующая способность потока была меньше поступления наносов, т.е. относительная транспортирующая способность – маленькая (меньше единицы). Причинно-следственная цепочка при образовании русловой многоорукавности такова: поступление наносов превышает транспортирующую способность потока → энергии на транспортирование всех наносов не хватает → образование осередков из "лишних" наносов → распластывание русла → увеличение фронта транспорта наносов → увеличение транспортирующей способности → уравнивание транспортирующей способности и поступления наносов → русловая и осередковая многоорукавность при динамическом равновесии. Ленточно-грядовый тип руслового процесса соответствует первоначальному равновесию поступления наносов и транспортирующей способности. Трансформации русла не происходит.

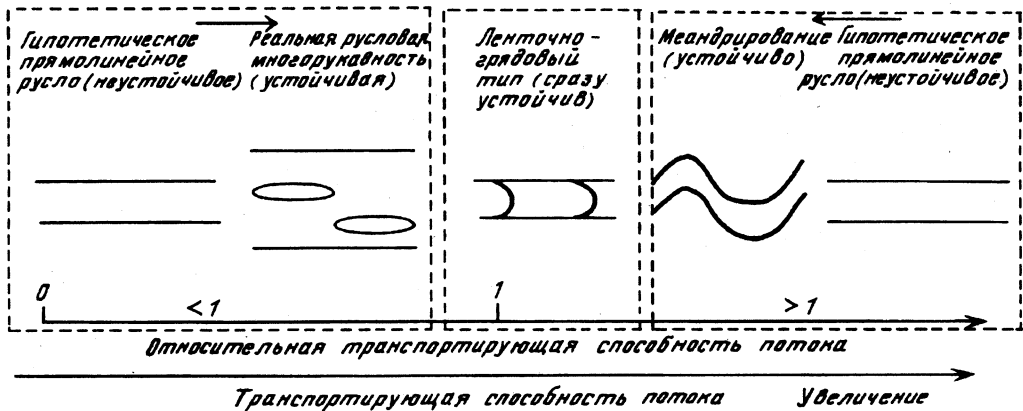


Рис. 3. Схема образования русловой многорукости и меандрирования

Теперь представим изложенные выше соображения об изменении транспортирующей способности при образовании русловой многорукости и меандрирования на едином рисунке (рис. 3). Из рисунка видно, что образование и русловой многорукости и меандрирования связано с неравновесным первоначальным состоянием потока. К образованию ленточно-грядового типа приводит первоначальный баланс между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов на участок. Меандрирование образуется при неравновесном состоянии. Оно характеризуется первоначальным превышением энергии потока над предлагаемыми ей наносами. Относительная транспортирующая способность потока мала. Равновесное состояние достигается за счет уменьшения уклона потока. Русловая многорукость образуется в случае, когда транспортирующая способность потока мала по сравнению с поступающими наносами. Относительная транспортирующая способность потока мала. Равновесие достигается за счет увеличения фронта транспорта наносов. Ленточно-грядовый тип соответствует равновесному состоянию.

Рисунок 3 показывает разрешение противоречия, состоящего в различии между направлением увеличения транспортирующей способности в типизации Н.Е. Кондратьева и И.В. Попова и описываемыми выше соображениями. Н.Е. Кондратьев считал, что при меандрировании транспортирующая способность мала и обосновывал это ее уменьшением за счет удлинения русла [2] (перемещение влево в правой части рисунка). Из уменьшения транспортирующей способности при образовании меандрирования нельзя делать вывод о малой ее величине. Скорее – наоборот (см. [3]).

Главные аргументы в пользу *большой* транспортирующей способности потока при русловой многорукости и *малой* транспортирующей способности при меандрировании на самом деле являются аргументами, доказывающими *увеличение* транспортирующей способности при образовании русловой многорукости и *уменьшение* транспортирующей способности при образовании меандрирования. Рисунок 3 показывает увеличение транспортирующей способности при русловой многорукости, потому что она была мала, а уменьшение транспортирующей способности при образовании меандрирования, потому что именно большая транспортирующая способность прямого русла относительно поступления в него наносов привела к образованию меандрирования. Именно большая транспортирующая способность привела к ее уменьшению; образовалось меандрирование.

## Выводы

При равенстве транспортирующей способности потока и поступления наносов русло сохраняется прямолинейным; разность между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов приводит либо к меандрированию (при большой транспортирующей способности), либо, наоборот, преобразуется в русловую многорукавность (при большом поступлении наносов).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чеботарев А.И.* Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 308 с.
2. *Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Смищенко Б.Ф.* Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 272 с.
3. *Маккавеев Н.И., Чалов Р.С.* Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1988. 264 с.

Государственный гидрологический ин-т

Поступила в редакцию  
12.06.98

## RELATION OF RIVER CARRYING CAPACITY AND SEDIMENT LOAD AS THE MAIN FACTOR OF DIFFERENT TYPES RIVER CHANNELS FORMATION

A.N. KONDRATYEV

### S u m m a r y

Multichanneled river bed appears when sediment load from the upper basin exceeds carrying capacity of the river in the site. Meanders appear on the converse condition. If the sediment load equals carrying capacity in the straight channel the latter continues straight (bandy-ridged).

УДК 551.4.504.06

© 1999 г.

Э.А. ЛИХАЧЕВА, Д.А. ТИМОФЕЕВ, Г.П. ЛОКШИН,  
Н.С. ПРОСУНЦОВА

## ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ<sup>1</sup>

Городская территория – это специфическая гео- и экосистема, со своеобразной структурой и составом компонентов. Это территория, где взаимодействуют природные, природно-техногенные и техногенные компоненты. Где в той или иной мере изменены все природные составляющие: рельеф, литогенная основа, гидрогеологические и гидрологические условия, климатические условия. Это территория, где формируется новый природно-техногенный комплекс, особенности функционирования которого плохо изучены. Его развитие трудно предсказуемо, что само по себе представляет опасность для людей, живущих на городских территориях. Техногенные компоненты оказывают на природные компоненты города, разнообразные по физической природе воздействия: механическое (статическое и динамическое), химическое, биохимическое, электрическое, тепловое. Техногенные компоненты (здания и сооружения,

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 98-05-64334).