

Санкт-Петербургский государственный университет

На правах рукописи

Кондратьев Александр Николаевич

**ДВУХФАКТОРНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ
РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ РАВНИННЫХ РЕК НА ОСНОВЕ
ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОТОКА**

Специальность 25.00.25. – "геоморфология и эволюционная география"

Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук

Научный руководитель:
д.п.н., профессор А.И. Жиров

Санкт-Петербург – 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Обзор современного состояния изучения русловых процессов	10
1.1 Обзор главы	10
1.2 Типы русловых процессов	10
1.3 Типизации русловых процессов	18
1.4 Руслоформирующие факторы	20
1.5 Однофакторные классификации русловых процессов	28
1.6 Многофакторные классификации русловых процессов	30
1.7 Выводы	31
2 Относительная транспортирующая способность потока как один из руслоформирующих факторов	32
2.1 Общие положения	32
2.2 Относительная транспортирующая способность потока	32
2.3 Транспортирующая способность потока	34
2.4 Поступление наносов	36
2.5 Расход наносов	36
2.6 Эксперимент по определению расхода наносов	40
2.7 Проявление дисбаланса поступления наносов и транспортирующей способности в изменении типа русловых процессов	46
2.8 Виды изменений транспортирующей способности потока и поступления наносов	48
2.9 Примеры влияния относительной транспортирующей способности на изменение типов русловых процессов	52
2.10 Классификация видов воздействия по степени влияния на изменение типов русловых процессов	62
2.11 Выводы	63
3 Двухфакторная классификация русловых процессов равнинных рек	65
3.1 Общие положения	65
3.2 Морфологический ящик природы	65
3.3 Существующие многофакторные классификации русловых процессов	67
3.4 Предлагаемая двухфакторная классификация русловых процессов	71
3.5 Другие возможные многофакторные классификации	76
3.6 Выводы об объединении руслоформирующих факторов и о многофакторных классификациях	78
Заключение	81
Список литературы	85

Введение

Объекты исследования

Объектами исследования являются русла равнинных рек и их деформации. Обусловлено это тем, что деформации речных русел часто вызывают нежелательные ситуации в различных отраслях хозяйства.

Последнее время особенно остро этот вопрос стоит для подводных переходов трубопроводов. Например, на реке Иртыш размыв вогнутого берега может достигать 15 м/год и более. За период эксплуатации подводного перехода (30-50 лет) река может сместиться на расстояние, равное ширине русла, или может появиться новая протока.

Изменения русел приводят к аварийным ситуациям на подводных переходах. Например, разрыв газопровода выше Астрахани в результате подмыва правого берега привёл к гигантскому взрыву и пожару на середине Волги, караваны судов выше и ниже этого места несколько дней ожидали окончания пожара.

Разрывы труб приводят к загрязнению рек нефтью, как это случилось, например, зимой 1996 года на реке Белая.

Прямой и косвенный ущерб от воздействия русловых процессов в Российской Федерации ежегодно составляет около 5 миллиардов долларов.

Краткая история изучения деформаций русел равнинных рек

Начало науки о русловых процессах относится к концу XIX века работой В.М. Лохтина. Основы науки были заложены трудами М.А. Великанова. Затем появилась первые классификации русловых процессов (К.И. Россинский, И.А. Кузьмин).

В 1950-е годы в СССР образовалось две крупные научные школы – в МГУ (Москва) Н.И. Маккавеева и в ГГИ (Ленинград) Н.Е. Кондратьева, а также несколько других.

Ими была заложены основы теории науки о русловых процессах, разработаны классификации типов русловых процессов, даны основы прогноза русловых деформаций и выпущены нормативные документы.

Современное состояние

В то же время, имеющиеся классификации типов русловых процессов не охватывают всё многообразие типов, существующих в природе. Требуется создание новых типизаций и классификаций русловых процессов.

Большинство современных классификаций являются однофакторными. Требуется переход к многофакторным классификациям.

Существующие нормативы дают возможность прогнозировать деформации русел только для тех типов русловых процессов, которые выделены в известных классификациях.

В настоящее время имеются методики прогноза русловых деформаций только при неизменности руслоформирующих факторов, а при изменении факторов таких методик нет. Требуются методические разработки по прогнозу смены типа русловых процессов.

Предмет исследования

Предметом исследования являются:

- основные руслоформирующие факторы;
- последовательности типов русловых процессов, обусловленные действием этих руслоформирующих факторов;
- классификации русловых процессов на основе руслоформирующих факторов.

Цель диссертационной работы

Целью работы является создание нового варианта классификации русловых процессов.

Разрабатываемая классификация отличается от классификаций, используемых в современных нормативных документах, по нескольким признакам:

- В ней одновременно учитываются несколько руслоформирующих факторов (ранее учитывался только один);
- Используется более широкий набор типов русловых процессов;
- Предлагаемая классификация позволяет прогнозировать смену типа русловых процессов при изменении соответственных руслоформирующих факторов (ранее прогноз был только в рамках каждого типа русловых процессов).

В диссертационной работе дано новое решение задачи, имеющей существенное значение для науки о русловых процессах: разработана двухфакторная классификация русловых процессов, которая позволяет учитывать совместное действие нескольких руслоформирующих факторов и позволяет прогнозировать смену типов русловых процессов при изменении руслоформирующих факторов.

На защиту выносятся следующие положения:

1) Теоретическое положение о том, что одним из главных руслоформирующих факторов является *относительная транспортирующая способность потока (ОТСП)*.

2) Двухфакторная классификация русловых процессов:

- одной осью этой классификации является *относительная транспортирующая способность потока*,
- другой – *относительный геоморфологический фактор образования пойменных проток*.

Актуальность настоящей работы обусловлена:

- нарушением баланса между руслоформирующими факторами под воздействием антропогенных, климатических и др. факторов;
- потребностями практики в прогнозе деформаций речных русел при нарушении баланса между руслоформирующими факторами;
- отсутствием методики прогнозирования смены типов русловых процессов.

Новизна применённых подходов и полученных результатов заключается:

- в переходе от прогноза русловых процессов в рамках одного типа к прогнозу смены типа;
- в обосновании использования в виде руслоформирующих критериев относительных параметров (в отличие от используемых абсолютных);
- в выявлении и обосновании одного из главных руслоформирующих критериев – относительной транспортирующей способности потока;
- в переходе от однофакторных классификаций русловых процессов к многофакторным классификациям по нескольким руслоформирующим критериям.

Для решения перечисленных выше задач были применены следующие **методы**:

- ретроспективно-обзорный;
- экспериментальный;
- синтетический.

Ретроспективно-обзорный метод включает в себя выявление, анализ и обобщение сведений о выделенных в настоящее время:

- типах русловых процессов;
- типизаций и классификаций русел и русловых процессах;
- руслоформирующих факторах.

Экспериментальный метод использован в виде проведения собственных экспериментов, а также основывается на анализе и интерпретации данных прочих экспериментов.

Синтетический метод понимается как:

- совместное рассмотрение нескольких типов русловых процессов;
- совместное рассмотрение различных руслоформирующих факторов;
- переход от однофакторных классификаций к многофакторным.

Структура работы. Работа состоит из настоящего введения, трёх глав, заключения и списка литературы.

В первой главе «Обзор современного состояния изучения русловых процессов»:

- делается обзор типов русловых процессов;
- рассматриваются существующие типизации и классификации русловых процессов;
- выделяются и классифицируются различные руслоформирующие факторы.

Во второй главе «Относительная транспортирующая способность потока как один из руслоформирующих факторов» доказывается первое выносимое на защиту положение о том, что одним из руслоформирующих факторов является соотношение между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов:

- описываются понятия: транспортирующая способность потока, поступление наносов, расход наносов;
- формулируется понятие «относительная транспортирующая способность потока»;
- описываются существующие методы измерения и способы расчёта транспортирующей способности потока и расхода наносов;
- приводится методический эксперимент по оценке точности измерения расхода наносов;
- приводятся натурные и модельные примеры влияния относительной транспортирующей способности потока на изменения типов русловых процессов;
- приводятся примеры извилистости и разрывов других геоморфологических объектов; показывается, что причиной существования разных типов объектов являются аналогичные относительные факторы;
- классифицируются виды воздействия по степени влияния на изменения типов русловых процессов.

В третьей главе «Двухфакторная классификация русловых процессов равнинных рек»:

- подчёркивается многофакторность русловых процессов;
- показывается способ построения двухфакторных классификаций;
- обосновывается защищаемый вариант такой классификации;
- предлагаются варианты других двухфакторных классификаций.

В заключении делаются выводы по работе. Среди них основные:

- существующие *краткие* типизации русловых процессов требуют расширения;
- в предлагаемой двухфакторной классификации использовано большее количество типов русловых процессов, чем принято во многих других классификациях (в частности, в нормативных документах);

- предлагаемая *двухфакторная классификация* учитывает совместное действие двух факторов – относительной транспортирующей способности потока и затопляемости поймы;
- *относительная транспортирующая способность потока* (соотношение между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов в реку) является одним из руслоформирующих факторов;
- относительная транспортирующая способность потока изменяется в таком *порядке* типов русловых процессов: русловая многорукавность, побочневый тип, неразвитое меандрирование, развитое меандрирование;
- предлагаемая классификация позволяет *прогнозировать* смену типа русловых процессов при смене соответствующего руслоформирующего фактора;
- для учёта других руслоформирующих факторов требуется создание *других* многофакторных классификаций.

Апробация результатов, выносимых на защиту в настоящей диссертации.

Представленные защищаемые положения, их обоснование, иллюстрации и примеры приведены в следующих работах, опубликованных в рецензируемых журналах:

- *Кондратьев А.Н.* Соотношение транспортирующей способности потока и стока наносов как условие формирования русел рек разных типов // Геоморфология, 1999, № 3, с. 14-18.
- *Кондратьев А.Н.* Причина образования извилистости: меандрирование рек и других природных потоков // Известия АН. Серия географическая, 2000, № 4, с. 42-44.
- *Кондратьев А.Н.* О гипотезах причин формирования русел // Водные ресурсы, т. 28, № 5, 2001, с. 628-630.
- *Кондратьев А.Н.* О проявлении принципа Ле Шателье – Брауна в русловых процессах // Известия РГО, 2005. Т. 137. Вып. 6. С. 41-45.
- *Лобанов В.А., Кондратьев А.Н., Анисимов О.А., Ванденберге Д.* Оценка чувствительности типов речных русел к возможным изменениям климата на севере Европейской России // Метеорология и гидрология, 2006, № 6, с. 88-96.

- *Лобанов В.А., Кондратьев А.Н.* Статистические методы классификации русловых процессов // Геоморфология, 2007, № 1, с. 33-44.
- *Бадяй В.В., Кондратьев А.Н.* О необходимости перехода к многофакторным классификациям в русловедении // Литология. 2007, № 1(26).
- *Шмакова М.В., Кондратьев А.Н.* Математическая модель движения воды и наносов в открытых руслах // Метеорология и гидрология, 2008, № 6, с. 81-88.

Также защищаемые положения докладывались и обсуждались:

- на семинарах отдела русловых процессов ГГИ (Санкт-Петербург, 1997, 1998);
- на XXIV (Краснодар, 1998) и XXIX (Ижевск, 2006) собраниях Геоморфологической комиссии РАН;
- на семинаре Проблемной лаборатории эрозии почв и русловых процессов МГУ (Москва, 1998);
- на заседаниях геоморфологической комиссии Русского географического общества (Санкт-Петербург, 1998, 1999, 2001, 2003);
- на V (Москва, 1999) и VI (2004) конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей»;
- на конференции молодых учёных национальных гидрометслужб стран СНГ (Москва, 1999);
- на годовичном собрании секции русловедения Академии проблем водохозяйственных наук (Санкт-Петербург, 1999);
- на круглом столе «River runoff: minima and maxima» (Санкт-Петербург, 2001);
- на Сессии Учёного Совета ГГИ (2004);
- на VI Всероссийском гидрологическом съезде (Санкт-Петербург, 2004);
- на Сессии Учёного Совета РГГМУ (2005);
- на заседании кафедры геоморфологии СПбГУ (2005).

1 Обзор современного состояния изучения русловых процессов

1.1 Обзор главы

В главе приводится краткий обзор существующих теоретических положений русловедения, связанных с защищаемыми положениями.

Рассмотрены типы русел и русловых процессов, выделяемые в основных научных школах.

Сделан обзор основных руслоформирующих факторов, используемых в настоящее время в русловедении, и дана их типизация.

1.2 Типы русловых процессов

1.2.1 Общие сведения о типах русел и русловых процессов

Н.И. Маккавеев подразделил реки на горные, полугорные и равнинные [56].

В настоящей работе рассмотрены только **равнинные** реки, в которых уклоны долины и водной поверхности малы, течение спокойное, и реки развиваются в аллювиальных отложениях.

В настоящей работе обосновывается, что для равнинных рек правомерно в качестве одного из руслоформирующих факторов использовать *относительную транспортирующую способность потока*.

Тип русла – это форма речного русла в плане.

Например, извилистые, прямые, разветвлённые и другие типы русел.

Тип русловых процессов – это квазициклическая схема деформаций речных русел (на конкретном участке реки).

Существуют различные типы русловых процессов, например, меандрирование, русловая многорукавность, пойменная многорукавность и др.

Типы русел и типы русловых процессов связаны между собой. Например, меандрированию свойственны извилистые русла.

1.2.2 Меандрирование

Меандрирование – самый распространённый тип русловых процессов. Основоположник науки о русловых процессах М.А. Великанов [15] выделял только меандрирующие реки и считал их естественным состоянием рек.

Меандрирующая река имеет извилистое русло и изменяет свою конфигурацию с течением времени. При меандрировании излучины – или сползают вниз по долине, или разворачиваются на месте, увеличивая степень извилистости.

Периодически излучины спрямляются, прежнее русло превращается в старицу, а новое прямое русло начинает следующий цикл своего развития.

Таким образом, меандрирование – это закономерный квазициклический тип русловых процессов (т.е. схема деформаций), заключающийся в развитии и спрямлении излучин (рис. 1).

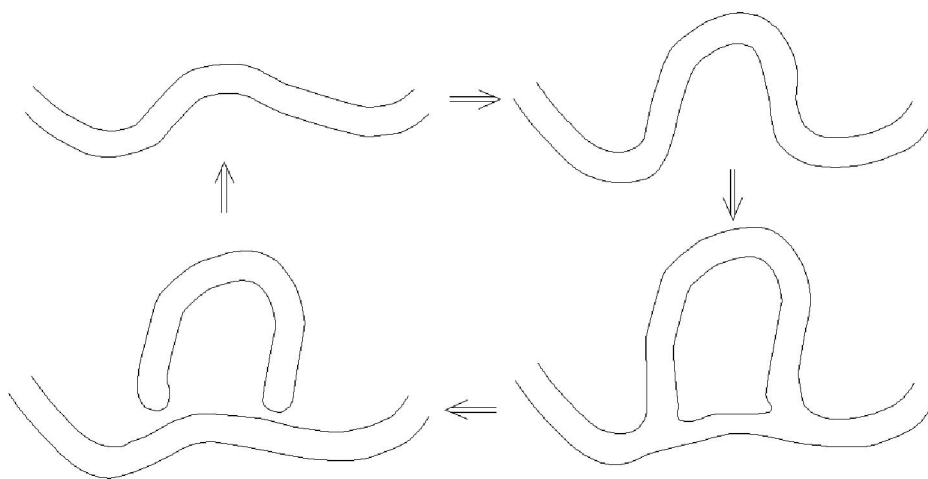


Рис. 1. Схема развития русла при меандрировании

Гипотезы образования меандрирования. Причины образования и существования меандрирования до сих пор однозначно не выяснены. В разное время исследователями предлагались различные гипотезы, объясняющие причины меандрирования.

Самыми известными из них являются: поперечная циркуляция воды в реке; принцип минимума диссипации энергии; принцип минимизации вариации некоторого параметра случайного процесса блуждания реки; структурная турбулентность; неустойчивость прямолинейного движения потока к гармоническим возмущениям; блуждание динамической оси потока; концепция энтропии; неотектоника; геология; вращение Земли, Кориолисово ускорение; «свойство потока меандрировать»; наличие случайных препятствий; транспортирующая способность потока; расход наносов; общая денудация земной поверхности; относительная ширина поймы и другие.

Наиболее признанными гипотезами причин меандрирования являются: циркуляция потока в русле [15]; неустойчивость прямого русла [26, 43], и динамическая устойчивость извилистого русла [56, 84]. Распространено объяснение, что причина кроется во внутренней гидродинамической структуре потока [17]. Разбор недостатков основных из этих теорий дан Н.Н. Федоровым [83].

Обзоры гипотез возникновения меандрирования содержатся в следующих работах советских и зарубежных исследователей: Н.И. Маккавеев [56, 57], Н.Н. Федоров [45, 83], С.Т. Yang [98], D. Knighton [93], В.И. Замышляев [27], Б.В. Матвеев [60] и др.

Верно отметил А.Н. Ляпин [55, с. 103]: *«Такое обилие гипотез говорит, с одной стороны, о важности проблемы, а с другой стороны, о том, что до сих пор не ясна физическая сторона явления».*

На наш взгляд, наиболее приемлемой может являться только та гипотеза, которая не провозглашает исключительность, уникальность или естественность меандрирования. Меандрирование, хотя и является наиболее распространённым типом русловых процессов, но никоим образом не является единственным типом. Другие типы также естественны и широко распространены в природе: многорукавные Амур, Обь, Волга и т.д.

Надо искать такую гипотезу, которая одновременно объяснит набор нескольких генетически связанных типов русловых процессов.

Гипотеза автора. Автором настоящей работы [40] выдвинута гипотеза о том, что причиной образования меандрирования является относительная транспортирующая способность потока. Эта же причина объясняет формирование не только меандрирования, но и нескольких других типов русловых процессов – прямых; разветвлённых (по типу русловой многорукавности) и промежуточных между ними.

Это утверждение в настоящей работе является первым защищаемым положением: одним из главных руслоформирующих факторов является относительная транспортирующая способность потока, и порядок типов при разной степени проявления этого фактора таков: «меандрирование – прямые русла – русловая многорукавность».

1.2.3 Прямые русла. Побочневый, ленточногрядовый и осередковый типы русловых процессов

Прямые русла. Заблуждение о «естественности» меандрирования привело к тому, что первоначально на извилистые русла и было направлено основное внимание исследователей, а прямые русла изучались мало.

Слабая изученность прямых русел также связана, во-первых, со слабыми плановыми деформациями и, во-вторых, с тем, что сущность русловых процессов в прямых руслах заключается в деформациях на уровне крупных гряд.

В прямых руслах выделяются три основных типа русловых процессов: побочневый, ленточногрядовый и осередковый (рис. 2).

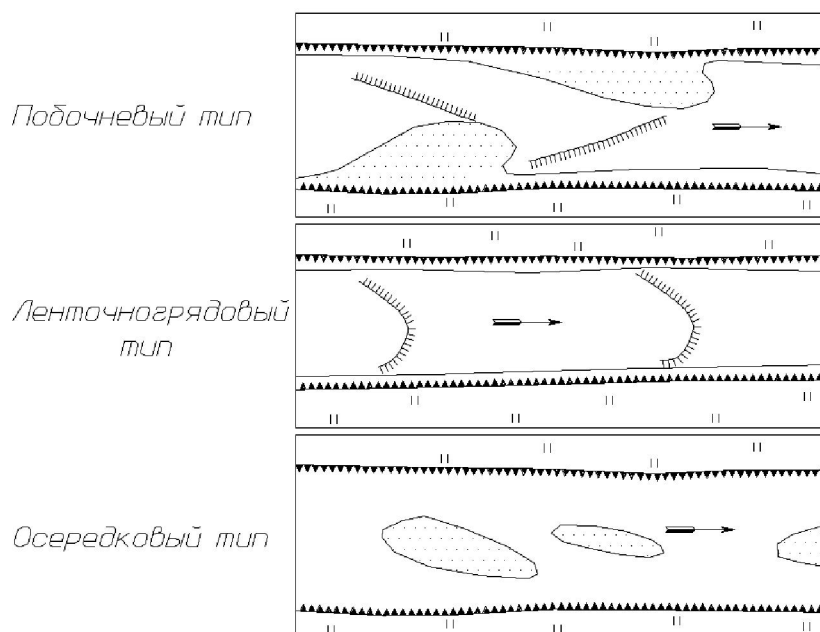


Рис. 2. Типы русловых процессов в прямых руслах.

Побочневый тип русловых процессов характеризуется наличием в русле крупных гряд (побочней), расположенных в шахматном порядке у противоположных берегов русла. Русловые деформации при этом типе сводятся к сползанию побочней вниз по течению.

Ленточногрядовый тип русловых процессов характеризуется тем, что крупные гряды расположены почти симметрично относительно оси русла и с правильными расстояниями между ними. Гряды сползают вниз по течению. Этот тип относительно редко встречается в природе.

Осередковый тип характерен скоплениями наносов неупорядоченно распределённых в русле в виде разнообразных по форме и размеру русловых форм,

которые обычно не выступают из воды. Они смещаются вниз по течению. Осередковый тип является промежуточным типом между прямыми руслами и русловой многорукавностью, поэтому его часто изучают в связи с причинами образования русловой многорукавности.

Плановые деформации берегов в прямых руслах при всех типах русловых процессов, как правило, несущественны.

Связь прямых русел с меандрированием. Распространено мнение, что побочни являются причиной меандрирования и его начальным этапом.

Это утверждение не выдерживает критики. Так как, если бы побочни являлись причиной меандрирования, то побочней бы уже не существовало – они все превратились бы в меандрирование.

Прямые русла и извилистые русла независимо существуют в природе. Нельзя считать, что одно из них более естественно или более устойчиво, чем другое.

Ни побочни не есть причина меандрирования, ни меандрирование (извилистость) не есть причина их образования.

Причина существования побочней и побочневого типа русловых процессов.

Возможно, что в природе есть общая причина, которая привела к формированию и существованию как меандрирования, так и побочневого типа русловых процессов. В таком случае: небольшая извилистость – это атрибут побочного типа, а большая извилистость – атрибут меандрирования при разной степени проявления этой причины.

Автором настоящей работы [40] выдвинута гипотеза, что причиной образования ряда типов русловых процессов (в том числе, – и разных видов прямых русел) является *относительная транспортирующая способность потока*.

При разных её значениях формируются различные типы русловых процессов. В том числе – побочневый тип, ленточногрядовый и осередковый типы русловых процессов. Подробнее речь об этом идёт во второй главе настоящей работе.

1.2.4 Разветвления

Кроме извилистых и прямых типов русел в природе распространены *разветвления*. Они бывают двух основных видов: русловые и пойменные.

Разветвления русловые и пойменные. Оба вида речных разветвлений связаны с образованием островов. *Остров* – участок суши, окружённый водой.

По генезису формирования различают острова русловые и пойменные. Соответственно, и *протоки* делятся на русловые и пойменные.

Русловые острова формируются в результате скопления наносов в русле, пойменные острова образуются в результате разработки на пойме новых рукавов (рис. 3).

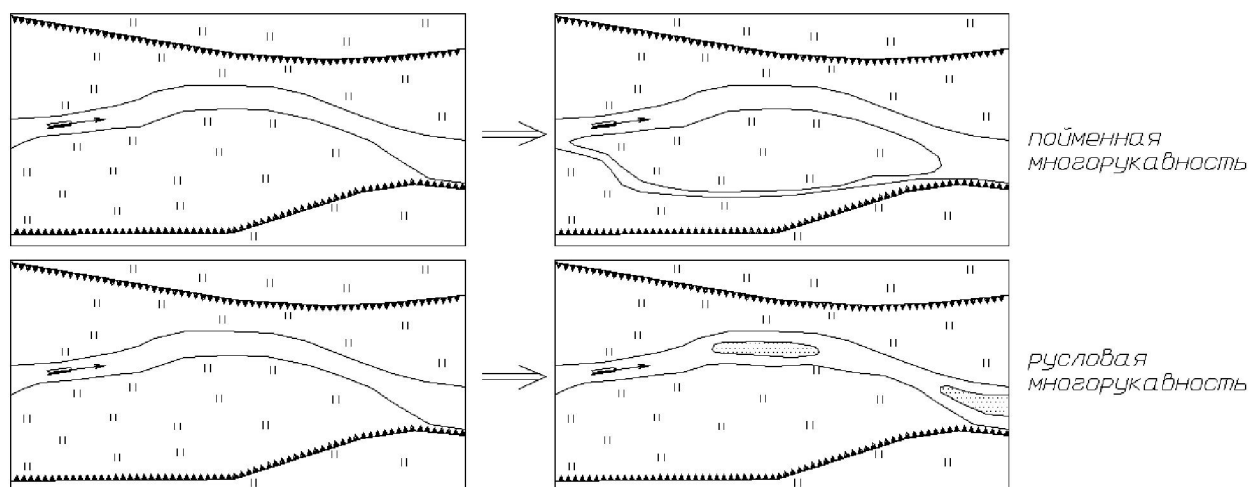


Рис. 3. Схема образования русловых и пойменных разветвлений.

Причины формирования пойменных разветвлений.

Среди исследователей нет больших расхождений в причинах формирования пойменных проток и пойменных островов. Требуется сочетание нескольких условий: с одной стороны, должен быть значительный водный поток по пойме, с другой – достаточная для этого потока податливость поверхности поймы к размыву.

Р.С. Чалов причиной формирования пойменных разветвлений считает превышение отметки руслоформирующего расхода воды (в трактовке Н.И. Маккавеева [56]) над отметкой поймы [84].

Другой фактор – податливость поверхности поймы размыву – требует дальнейшей детализации. Критерием будет соотношение между движущей силой воды по пойме и сопротивлением поверхности размыву.

При пойменных разветвлениях формируются рукава, каждый из которых может формироваться по любой из схем деформаций, свойственных неразветвлённым руслам.

Р.С. Чалов пришёл к выводу, что пойменные разветвления можно считать особым типом русловых процессов на более высоком системном уровне. А.В. Чернов пишет: *«Пойменные протоки развиваются на реках независимо от характера их русловых деформаций – меандрирования или разветвления на рукава»* [89, с. 51].

Причины формирования русловых разветвлений.

Непосредственной причиной образования русловых разветвлений является возникновение в русле осерёдков, которые впоследствии покрываются растительностью и иногда превращаются в острова. «Образование осерёдков совершается обычно в случае, если поток оказывается вынужденным переносить большое количество донных наносов» [89, с. 119].

Осерёдковый тип русловых процессов и связанная с ним русловая многорукавность – это случай, когда река столь перегружена наносами, что транспортирующая способность потока оказывается недостаточной. Для обеспечения перемещения наносов река вынуждена расширять своё русло, т.е. увеличивать фронт перемещения наносов.

Условием превращения осерёдков в острова является обсыхание в межень и появление на их поверхности кустарниковой растительности достаточной густоты, которая, при последующем затоплении во время половодья или паводка, способствует аккумуляции взвешенных наносов – наилка, который, в свою очередь, благоприятствует дальнейшему развитию растительного покрова [85, с. 81-82].

Крайним по интенсивности проявлением русловой многорукавности является блуждание реки. По мнению Н.А. Михайловой и Н.С. Шарашкиной [62, с. 16], блуждание реки наблюдается в том случае, когда подвижность грунта, слагающего её дно и берега, одинакова.

Единогласия в признании причин формирования русловых разветвлений нет. С одной стороны, многие исследователи отмечают, что русловые острова сложены аллювием и обусловлены перегрузкой реки наносами.

В то же время, чёткой увязки образования русловой многорукавности с соотношением между транспортирующей способностью потока (сколько наносов река может перемещать) и поступлением наносов (сколько реке приходится перемещать) нет.

В настоящей работе обосновывается, что формирование русловых островов есть реакция системы «река» на дисбаланс между слишком большим количеством наносов и относительно малой транспортирующей способностью.

Таким образом, русловая многорукавность является противоположностью меандрирования.

1.2.5 Выводы по типам русел и русловых процессов

К основным типам русел равнинных рек, следуя типизациям различных исследователей, относятся извилистые, прямые и разветвлённые русла.

Эти типы русел соответствуют типам русловых процессов: извилистые русла отвечают меандрированию (развитому, неразвитому, свободному, ограниченному и их сочетаниям); в прямых руслах развиваются побочневый, ленточногрядовый и осерёдковый типы русловых процессов; существуют два основных вида разветвлений – русловая многорукавность и пойменная многорукавность. Пойменная многорукавность соответствует более высокому системному уровню, потому что в разных рукавах могут происходить деформации по разным другим видам деформаций.

Наиболее широко распространены и активно изучаются меандрирующие реки. Рассмотрение некоторых гипотез образования меандрирования показало, что большинство гипотез, справедливых на первый взгляд, для объяснения причин меандрирования, не выдерживают критики из-за того, что по таким объяснениям все реки должны быть меандрирующими.

Разнообразие типов русловых процессов требует поиска такой гипотезы, которая объясняла бы существование не только какого-либо одного типа, а группы типов.

По мнению автора настоящей работы [41], образование меандрирующих рек и разных типов русловых процессов в прямых руслах, а также разветвлённых по типу русловой многорукавности типов русловых процессов можно объяснить единой

причиной – отношением транспортирующей способности потока и поступления наносов.

Кроме относительной транспортирующей способности потока свою роль играют другие руслоформирующие факторы. Например, прохождение руслоформирующих расходов при значительно затопленной пойме способствует образованию пойменных протоков.

В зависимости от других определяющих факторов в каждом рукаве могут протекать различные типы русловых процессов. И поэтому пойменную многорукавность, согласно Р.С. Чалову, следует считать более высоким уровнем проявления русловых процессов.

1.3 Типизации русловых процессов

1.3.1 Принципы типизации

Сейчас разработаны и активно используются разнообразные типизации русловых форм и русловых процессов.

На основе типизаций разрабатываются классификации типов русловых процессов. Различие между типизациями и классификациями заключается в том, что при типизации явлений или процессов они выделяются по морфологическим различиям или другим параметрам без генетической упорядоченности, а классификация представляет собой упорядоченную систему типов объектов.

Следует воздерживаться от характеристики выделенного участка как смеси, наложения или совместного развития нескольких типов русловых процессов. Например, иногда можно встретить подобные характеристики: *«Побочневый процесс нередко комбинируется с незавершённым меандрированием (средняя и нижняя Ока, нижняя Волга), а также с русловой многорукавностью (реки Вычегда, Северная Двина)»* [77, с. 20]; *«На многих участках наблюдаются комбинации двух или трёх типов процесса»* [76, с. 20]; *«На р. Аввакумовке побочневый тип руслового процесса развит на фоне горной многорукавности»* [53, с. 53].

На наш взгляд, такое выделение смеси разных типов русловых процессов на одном участке может означать использование неверной типизации. Это является показателем, что требуется разработка более детальной, многоаспектной классификации.

Другой причиной одновременного выделения нескольких типов русловых процессов на одном участке реки является рассмотрение морфологических типов одновременно на разных системных уровнях. Такое часто случается при характеристике участков, разветвлённых по типу пойменной многорукавности, где на более низком системном уровне можно выделять типы русловых процессов для каждого отдельного рукава.

1.3.2 Обзор типизаций

Аналогично тому, как разделяются типы русел и типы русловых процессов, следует различать типизации русел и типизации русловых процессов. Автор настоящей диссертации согласен с мнением Р.С. Чалова [85] и И.Ф. Карасева и В.В. Коваленко [31], что морфологические типы русел не тождественны русловым процессам, протекающим в них.

Каждому типу русел обычно соответствуют определённые типы русловых процессов: извилистому руслу – меандрирование, прямому руслу – побочневый, ленточногрядовый и осерёдковый типы русловых процессов, разветвлениям – русловая и пойменная многорукавности.

Существуют различные типизации форм русел и типов русловых процессов [7, 47, 56, 59, 72, 74 и др.].

Первая типизация была выполнена К.И. Россинским и И.А. Кузьминым [74, 75]. Они выделили три способа речных деформаций: 1) периодическое расширение и сужение русла; 2) «меандрическая» форма; 3) разбиение реки на рукава. Как видим, если принять «периодическое расширение и сужение русла» за прямое русло, то первая типизация не противоречит простейшей принятой в настоящее время типизации русел: извилистые, прямые и разветвлённые.

Похожие типы выделял и Н.Е. Кондратьев [43]: блуждающее, меандрическое или перекаточного типа и разбросанное русло. Е.В. Болдаков и О.В. Андреев [14, с. 142-146] выделяли меандрирующие, немеандрирующие и блуждающие реки.

Н.А. Ржаницын [73] разделяет «типы руслового режима» и «типы русловых процессов». Основные типы руслового режима рек: глубинное врезание; неразвитое меандрирование; свободное меандрирование; разветвление; блуждание; дельтовые процессы. Основные типы русловых комплексов (русловых процессов): прямолинейное русло; криволинейное русло: а) ограниченный изгиб; б) свободный и

частично свободный изгиб; в) вынужденный изгиб; пережат; острова; дельта; сложные формы русла.

Автор настоящей диссертации [38, 39] предложил деление типов меандрирования по степени развитости на развитое и неразвитое и по степени ограничивающего фактора на свободное и ограниченное. Так как у этой типизации есть определяющие факторы, её стоит именовать классификацией, причём – двухфакторной. Поэтому более подробно она будет рассмотрена в главе 3.

Существуют разнообразные другие типизации русел и русловых процессов. Разнообразие подходов важно, так как подталкивает к разработке комплекса многофакторных классификаций.

Например, В.С. Лапшенков [51, 52] разделил речные русла с учётом слагающих их грунтов: русла в современном аллювии и русла в унаследованных грунтах. На основе этих представлений он выделил следующие типы русел. Аллювиальные русла: песчаное устойчивое, песчаное неустойчивое, песчаное с гравием, крупнозернистое устойчивое, крупнозернистое неустойчивое. Русла в унаследованных грунтах: тип русла в несвязных палеотложениях, русла в связных и скальных грунтах, русла из торфяных грунтов, сложные русла (сочетающие 2-3 признака предыдущих типов).

1.4 Руслоформирующие факторы

В связи с тем, что защищаемым тезисом в настоящей диссертации является теоретическое положение, что одним из главных руслоформирующих факторов является относительная транспортирующая способность потока, систематизируем существующие представления о руслоформирующих факторах.

Придерживаясь доказательства основной гипотезы, выдвигаемой в настоящей работе, будем обращать внимание на то, какие факторы и каким образом влияют на транспортирующую способность потока, поступление наносов и на соотношение между этими руслоформирующими факторами.

1.4.1 Обзор основных руслоформирующих факторов, выделенных разными исследователями

В.М. Лохтин ещё в 1897 году в знаменитой работе «Механизм речного русла» [54] выделил основные факторы, определяющие развитие реки: многоводность, скат рельефа и размываемость ложа реки.

Е.В. Болдаков и О.В. Андреев [14, с. 136] конкретизируют эти понятия, сводя их к измеряемым величинам: водность потока, уклон водотока, размер частиц. М.А. Великанов [16] развил подход В.М. Лохтина: *«Если в этом положении несколько расширить первый пункт, ... то мы придём к ... выражению зависимости реки от трёх полностью определяющих её факторов: климата, рельефа и геологического строения»*. Это положение верно, но настолько общо, что не даёт в руки инструмента.

И.В. Попов [68, с. 55] предлагает включить в главные руслоформирующие факторы характеристики твёрдого стока. Н.Е. Кондратьев [42, с. 8] объясняет это таким образом: *«В макроформах обнаруживается способность реки к саморегулированию, т.е. способность путём внутренней спонтанной морфологической перестройки приспосабливаться к пропуску твёрдого материала, поступающего в реку с поверхности водосбора и из верховых звеньев речной сети»*, и далее: *«Эта особенность руслового процесса позволяет отнести к числу независимых факторов руслообразования наряду с совокупностью характеристик жидкого стока и совокупность характеристик твёрдого стока»*. Приведённая формулировка очень близка к защищаемому здесь положению о том, что соотношение между поступлением наносов и транспортирующей способностью является одним из главных руслоформирующих факторов.

В развитие взглядов о руслоформирующих факторах большой вклад сделал Н.И. Маккавеев [56]. Он обратил внимание на особую роль элементов геоморфологического строения долины – сужений и расширений, а также продольного профиля в эрозионно-аккумулятивных процессах в русле.

1.4.2 Виды руслоформирующих факторов

Главные и второстепенные. На основе анализа литературы можно сделать вывод, что правомерно разделять главные и второстепенные руслоформирующие факторы.

К главным факторам можно отнести характеристики стока воды, стока наносов, уклон долины.

К второстепенным факторам следует отнести большое количество других факторов (например, растительность).

Необходимо заметить, что в некоторых случаях второстепенные факторы могут выходить на первый план и даже полностью затушёвывать влияние так называемых «главных» факторов. Поэтому такое деление руслоформирующих факторов достаточно условно.

Прямые и косвенные. Те факторы, которые названы главными (например, сток воды и сток наносов), обычно непосредственно формируют русло. Многие другие (вечная мерзлота, антропогенное воздействие) в свою очередь влияют на главные факторы.

Флювиальные и нефлювиальные. Руслоформирующие факторы также можно разделить на флювиальные и нефлювиальные. Такое разграничение важно тем, что привлекает к внимательному рассмотрению не только привычных «водных» руслоформирующих факторов, но и тех, к которым обычно внимание ослаблено.

Интересно, что формы руслового рельефа часто называют формами флювиального рельефа, тем самым подчеркивая основной фактор их формирования – течение воды.

Заметим, что влияние текущей воды является не только главным, но и единственным фактором, упоминаемым при формулировке термина «русловой процесс» в гидроморфологической теории русловых процессов ГГИ, например, в книге И.В. Попова [67, с. 31] – *«Русловой процесс выражается в непрерывных видоизменениях морфологического строения речного русла, происходящих под действием текущей воды»*.

1.4.3 Флювиальные руслоформирующие факторы

Разнообразные характеристики течения воды на разных системных уровнях – от микропульсаций и характеристик турбулентности до формы гидрографа и нормы стока – рассматривают практически все исследователи русловых деформаций.

Перечислим такие флювиальные факторы: турбулентность; ход уровней, расходов воды; руслоформирующий и руслотрансформирующий расходы воды; транспортирующая способность потока; взаимодействие руслового и подрусового потоков, фильтрационные потоки; приливы; дожди; ветровые волны; волны возмущения; стоячие волны.

Турбулентность. Согласно Т. Карману и Дж. Тейлору *«турбулентность – это неупорядоченное движение, возникающее в жидкостях и газах»*. Есть широкий

спектр гипотез, которые связывают образование большого диапазона русловых форм с турбулентностью – от движения отдельных песчинок до развития излучин.

Исследование турбулентности в связи с русловыми процессами было даже узаконено на IV гидрологическом съезде как одна из центральных задач для русловиков страны: «...усилить работы по исследованию [взаимодействия] турбулентности с русловыми морфологическими образованиями» [23, с. 22].

Турбулентность может быть ответственна только за процессы своего уровня, т.е. формы руслового рельефа (гряды), но не типов русловых процессов, которые относятся к более высокому системному уровню.

Взаимодействие руслового и подруслового потоков. Обычно, исследуя процессы в речном потоке, его рассматривают в пространстве, ограниченном снизу поверхностью речного ложа. Между тем вода, находящаяся под руслом в аллювиальных речных отложениях, через пустоты между частицами грунта вступает во взаимодействие с речным потоком, что порождает подрусловой поток. Движение воды в пустотах зернистой толщи отложений было обнаружено Н.Е. Кондратьевым [44], в экспериментах по изучению механизма рассеяния энергии стоячей волны в волновом лотке.

А.Б. Клавен [35] провёл большой комплекс экспериментальных работ, в результате которых выяснил, что значительную роль в формировании руслового рельефа играет фазовый сдвиг между пульсациями руслового и подруслового потоков. Влияние взаимодействия руслового и подруслового потоков на русловые деформации значительно, но проявляется только на уровне микроформ донного рельефа.

Руслоформирующий расход воды. В трактовке понятия руслоформирующих расходов воды до сих пор имеется много дискуссионного. В качестве имеющего наибольшее значение для формирования рельефа речного русла расхода воды часто принимался расход, соответствующий уровню бровок берегов. Так определяли его В.Г. Глушков (см. в книге Н.И. Маккавеева [56]), Леопольд и Вольман [96], Дьюри [92] и др.

Наиболее разработанными и логически обоснованными представляются предложения Ф. Шаффернака [91], Н.И. Маккавеева [56], Р.С. Чалова [84], И.Ф. Карасева [31], базирующиеся на пропорциональности деформаций русла

расходу наносов (или некоторому комплексу характеристик, отражающему сток наносов).

В соответствии с методикой Н.И. Маккавеева [56] руслоформирующий расход воды определяется по количеству, величине, обеспеченности и расходов воды, определяемых, по максимуму функции $Q_{\phi} = \max[f(\delta Q^m P I)]$, где Q_{ϕ} – руслоформирующий расход воды; Q – средняя величина расхода воды в интервале; P – вероятность расходов каждого интервала; m – параметр; δ – коэффициент.

Как мы видели при рассмотрении причин образования пойменной многорукавности, Р.С. Чалов применил понятие о руслоформирующем расходе к определению типов русел. Он предложил рассматривать соотношение между отметкой руслоформирующего расхода воды и отметкой поймы как критерий условия формирования разветвлённых русел.

В рамках настоящей работы это важно в связи с тем, что одной из определяющих осей в защищаемой двухфакторной классификации является немного изменённый вариант именно этого критерия.

Руслотрансформирующий расход воды. И.Ф. Карасев и В.В. Коваленко [31, с. 70] считают недостатком методики Н.И. Маккавеева, развитой Р.С. Чаловым недооценку роли руслоформирующей способности максимумов-максимумов. В многолетнем разрезе им соответствуют исчезающе малые повторяемости, что в расчёте приводит к малой руслоформирующей деятельности. Но в природе именно высокие паводки и половодья наиболее трансформируют речные русла, поэтому И.Ф. Карасев и В.В. Коваленко [31] и Н.С. Знаменская [28] предложили собственные методики расчёта руслоформирующих и руслотрансформирующих расходов воды.

Выводы. Основными флювиальными руслоформирующими факторами на системном уровне «река» следует считать течение воды, руслоформирующие и руслотрансформирующие расходы воды. Среди флювиальных факторов здесь не упомянута транспортирующая способность потока. Ей посвящён отдельный раздел в главе 2, так как транспортирующая способность потока является компонентом одного из главных руслоформирующих факторов – относительной транспортирующей способности.

1.4.4 Нефлювиальные руслоформирующие факторы

Выделение нефлювиальных факторов важно из-за того, что раньше под русловым и процессами понимались деформации русел только от воздействия водного потока.

Нефлювиальные факторы делятся на прямые и косвенные. Прямыми являются те, которые воздействуют на русло, косвенными – те, которые влияют на прямые. Прямым нефлювиальным фактором является, например, сток наносов. Косвенные факторы влияют на сток воды (транспортирующую способность потока), сток наносов и другие факторы. Также существуют ограничивающие факторы, которые сдерживают действие прямых и косвенных факторов. Ограничивающие факторы будут рассмотрены далее отдельно.

Исходя из такой классификации, нефлювиальные руслоформирующие факторы можно разделить на следующие категории: влияющие непосредственно на русло; прямо определяющие поступление и сток наносов; косвенно влияющие на сток наносов; влияющие на сток воды (табл. 1)

Таблица. 1

Примеры нефлювиальных руслоформирующих факторов

1. Влияющие непосредственно на русло	Заторы. Ледоход. Внутриводный лёд. Укрепление берегов растительностью. Разрушение берегов растительностью. Сплав древесины, карчеход. Рыбы и другие животные. Сила Кориолиса. Эоловый фактор.
2. Прямо определяющие поступление и сток наносов	Поступление наносов в реку с водосбора и верхнего участка реки. Поступление наносов в результате размыва берегов. Поступление наносов в реку с оползнями, из оврагов и притоков. Антропогенное поступление материала в реку с барж, строительных площадок и т.п. Обвалы.
3. Косвенно влияющие на сток наносов,	Гранулометрический состав наносов. Мутность. Литологическое строение. Гидрогеология, инфильтрационные потоки. Неотектонические движения. Землетрясения. Вечная мерзлота. Наледи.

	Лёд как переносчик наносов. Аккумуляция и эрозия наносов на пойме растительностью. Вырубка леса, увеличение поступления наносов. Регулирование растительностью поступления наносов. Пожары. Эоловый фактор. Ведущий берег. Температура. Форма русла, морфометрические характеристики.
4. Влияющие на сток воды;	Форма водосбора Затопы. Солнечная активность. Другие факторы рассмотрены в разделе «флювиальные факторы»

Требуется рассмотрение роли каждого руслоформирующего фактора. В настоящей работе этого не сделано. Внимание сосредоточено на прямых факторах: транспортирующей способности потока и поступлении наносов. Влияние косвенных факторов, в основном, сводится к влиянию на эти главные факторы.

1.4.5 Роль поймы в русловых процессах

Пойма – часть дна речной долины, затопляемая в периоды высокой водности; формируется в результате отложения переносимых потоком наносов в ходе плановых деформаций речного русла [88, с. 203].

Роль поймы обычно проявляется при её затоплении высокими водами. Пойма регулирует сток воды и наносов и является ареной развития всех типов русловых процессов. Особенно ярко это проявляется при разработке пойменных проток.

1.4.6 Ограничивающие факторы

Наличие ограничивающих факторов признаётся большинством современных русловиков. К ним обычно относят выходы неразмываемых пород на дне и берегах, базисы эрозии, коренные берега, антропогенные ограничивающие факторы.

Основоположник гидролого-морфологической школы Н.Е. Кондратьев относил ограничивающие условия к главным факторам. В классификации ГГИ, в которой определяющим фактором формально является транспортирующая способность потока, выделены «ограниченное меандрирование» и «свободное меандрирование», то есть по степени проявления ограничивающего фактора.

В московской школе свободные и ограниченные условия развития русловых деформаций выделены более определённо [84]. Такое деление выполнено по степени размываемости горных пород.

Б.Ф. Сنيщенко [80] считал относительную ширину долины главным руслоформирующим фактором и предложил классификацию русловых процессов по этому фактору.

Ограничивающие факторы можно трактовать более широко, включая в них не только те факторы, которые ограничивают развитие речного русла (например, в плане), но и те, которые сдерживают проявления действующих основных руслоформирующих факторов (например, удержание наносов растительностью).

1.4.7 Выводы по руслоформирующим факторам

Русловые процессы являются многофакторным явлением. Среди них можно выделить главные и второстепенные,

К главным факторам руслоформирования относятся транспортирующая способность потока, поступление наносов, ограничивающие факторы, а также сопротивление пойм размывам и образованию пойменных проток.

Большое разнообразие других факторов влияют на русло большей частью не сами, а через влияние на главные факторы. Они могут усиливать или ослаблять их влияние, стимулировать их, ослаблять или полностью подавлять.

Предлагается следующий подход к рассмотрению влияния косвенных руслоформирующих факторов на формы русла: оценивать это влияние не непосредственно на форму русла, а через влияние на основные факторы руслоформирования. Влияние каждого фактора стоит рассматривать на нескольких системных уровнях.

Для прогноза русловых деформаций необходимо выяснение порядка изменения типов русловых процессов в зависимости от изменения интенсивности руслоформирующих факторов. Выяснение порядка типов даст в руки инструмент прогноза.

Абсолютные параметры не подходят в качестве критериев. Критерием является соотношение между внешним действующим фактором и внутренним противодействующим. Такое соотношение факторов при разной степени отвечает за формирование различных генетически связанных типов.

Также необходимо совместно рассматривать факторы различного генезиса. Это будет шагом к построению многофакторных классификаций русловых процессов по разным руслоформирующим критериям.

1.5 Однофакторные классификации русловых процессов

Появление однофакторных классификаций явилось значительным шагом вперёд по сравнению с типизациями русловых процессов.

Главным формальным отличием классификации от типизации является упорядоченность типов в некоем порядке. Подразумевается, что этот фактор проговаривается, и типы выстраиваются по степени проявления этого фактора (или, что то же самое, по мере изменения его количественного параметра).

Правильная классификация должна выражать систему законов, присущих отображенному в ней фрагменту действительности, которые обуславливают зафиксированные в классификации свойства и отношения объектов.

Всё многообразие классификаций описать невозможно, поэтому мы ограничимся перечислением самых знаменитых: две классификации ГГИ – 1) Н.Е. Кондратьева и И.В. Попова, 2) Б.Ф. Сنيщенко [29], вошедшие даже в нормативные документы (например, [71]); И.Ф. Карасева [31]; два варианта классификации Н.С. Знаменской [29]; (все перечисленные до этого классификации основаны на типизации ГГИ); две основные классификации Р.С. Чалова [84, 85]; классификации А.В. Караушева [33]; М.С. Карасева и Б.И. Гарцмана [32]; В.С. Лапшенкова [51] и мн. др.

Обзоры существующих классификаций выполнены в различных работах. Из наиболее полных следует отметить работы Р.С. Чалова [87 и др.].

В типизации русловых процессов, предложенной в ГГИ, выделены следующие типы русловых процессов: 1 – ленточногрядовый тип; 2 – побочный тип; 3 – меандрирование ограниченное; 4 – меандрирование свободное; 5 – меандрирование незавершённое; 6 – русловая многорукавность; 7 – пойменная многорукавность [46].

Эти семь типов русловых процессов использованы для составления нескольких классификаций. Одна из них сделана Н.Е. Кондратьевым и И.В. Поповым. Было опубликовано несколько модификаций этой классификации. В одних из них все типы выстраиваются в одну цепочку, в других – оба вида

многоруканности выносятся в отдельный столбец. В любом случае утверждается, что типы выстроены по изменению транспортирующей способности потока.

Формальное использование абсолютного параметра – в данном случае транспортирующей способности потока – приводит к курьёзным выводам. Если следовать утверждению Н.Е. Кондратьева и И.В. Попова, что большая транспортирующая способность свойственна русловой многоруканности, то можно заключить, что все большие реки, имея большую транспортирующую способность, развиваются по типу русловой многоруканности. Соответственно, все малые реки, обладая малой транспортирующей способностью, должны быть меандрирующими.

Параллельно с классификацией Н.Е. Кондратьева и И.В. Попова на основе той же типизации русловых процессов свою классификацию разработал Б.Ф. Сنيщенко [80]. Она выполнена по относительной ширине долины, но, в то же время, утверждается, что порядок типов соответствует изменению полного расхода наносов.

В качестве критерия Б.Ф. Снищенко рассматривает отношение B_0/V (B_0 – ширина дна долины, V – ширина русла в бровках). В соответствии с взглядами Б.Ф. Снищенко, при ширине долины, равной удвоенной амплитуде свободно развивающихся излучин, происходит переход к ограниченному меандрированию, а при ширине долины, близкой к ширине русла, оно становится прямолинейным или следует изгибам долины.

Автор диссертации [39] указал на недостатки обеих классификаций и показал способ выхода из сложившегося противоречия. Для согласования этих классификаций достаточно удалить из обеих перечней типов разветвлённые русла – незавершённое меандрирование и пойменную многоруканность.

Такое удаление разветвлённых русел из ряда типов русловых процессов, в котором они выстроены по изменению транспортирующей способности, правомерно. Потому что изменение транспортирующей способности или расхода наносов не приводит к разработке пойменных проток.

А.В. Чернов [89, с. 31] считает, что классификация русел, предложенная Р.С. Чаловым [84], лишена указанных недостатков. В основу морфодинамической классификации речных русел Р.С. Чалова [84], положен характер русловых деформаций. Она позволяет решать задачу – по морфологическому облику русла, то

есть по информации, достаточно доступной, определять характер русловых деформаций, с тем, чтобы соответствующим образом ориентировать применение тех или иных методов регулирования.

В наиболее полном виде эта классификация представлена в монографии [70] и несколько раз модернизировалась [59, 84, 86, 87 и др.]. Согласно ей общие особенности русловых деформаций определяются геологическими условиями, в частности, – размываемостью горных пород, слагающих долину. При отсутствии ограничивающих факторов русловые деформации могут быть сведены к двум основным видам: меандрированию и разветвлению на рукава. Им соответствуют извилистые и многорукавные русла. Промежуточным (переходным) типом являются разветвлённо-извилистые русла.

Однофакторные классификации типов русловых процессов являются значительным шагом вперёд, потому что позволяют выявить руслоформирующие факторы, ответственные за формирование совокупности типов. Учёт этого фактора даёт возможность прогноза изменения типа русловых процессов при изменении этого фактора.

Следующим шагом является совместное рассмотрение нескольких руслоформирующих факторов (многофакторные классификации).

1.6 Многофакторные классификации русловых процессов

Под многофакторными классификациями русловых процессов понимаются классификации, в которых учитывается влияние нескольких определяющих факторов.

Примерами таких классификаций могут быть классификация Р.С. Чалова [85], в которой одновременно рассматривается форма русла и ограничивающее влияние относительной ширины долины; классификация Н.С. Знаменской [28], в которой совместно рассматриваются разные формы активных русловых процессов и получающиеся из них формы пассивных типов русловых процессов при редукции руслоформирующих расходов и классификация М.С. Карасева и Б.И. Гарцмана [32], в которой одновременно рассматривается влияние геологических и гидрологических факторов.

Более подробное описание этих двухфакторных классификаций выполнено в главе 3 «Объединение руслоформирующих факторов». В ней же описывается метод

построения многофакторных классификаций и обосновывается классификация, предлагаемая автором настоящей диссертации [39], что является вторым защищаемым положением.

1.7 Выводы

Под русловыми процессами понимается широкое толкование, которое включает в себя морфологические изменения русла, которые связаны не только с действием текущей воды, но также и со многими другими причинами.

В рамках русловедения выявлены основные типы русловых процессов: меандрирование, разные типы процессов в относительно прямом русле и разные виды разветвлённости. Также уделено внимание другим – промежуточным и крайним типам русловых процессов.

В настоящее время существуют несколько одномерных классификаций типов русловых процессов, в которых типы выстроены по одной или двум руслоформирующим осям. Применение классификаций даёт в руки инструмент прогноза русловых деформаций.

Одномерные классификации грешат односторонностью, потому что в них все типы стараются уместить на одной определяющей оси.

Во многих рассмотренных классификациях определяющие факторы являются дробями (отношениями). В настоящей работе рассматривается ещё один руслоформирующий фактор – относительная транспортирующая способность – который тоже является отношением.

Насущной задачей является создание обоснованного набора классификаций, в которых типы русловых процессов выстроены в порядке изменения определённых руслоформирующих факторов. Защищаемым положением является предлагаемая двухфакторная классификация типов.

2 Относительная транспортирующая способность потока как один из руслоформирующих факторов

2.1 Общие положения

Первым защищаемым положением является утверждение, что относительная транспортирующая способность потока является один из руслоформирующих факторов (соотношение между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов).

Этим руслоформирующим фактором обусловлен целый ряд типов русловых процессов. Ряд типов таков: меандрирование (развитое и неразвитое), побочневый тип, осередковый и русловая многорукавность.

Причиной их образования является дисбаланс между тем количеством наносов, которое способен переносить поток, и тем количеством наносов, которое поступает в реку.

В соответствии с принципом обратной отрицательной связи в системе «река – наносы» возникает ответное действие (реакция), которое направлено на восстановление прежнего соответствия между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов.

2.2 Относительная транспортирующая способность потока

Определение. Относительной транспортирующей способностью участка реки называется отношение транспортирующей способности потока на данном участке к поступлению наносов на этот участок [41].

Подобные соотношения между движущей силой потока и нагрузкой потока наносами часто использовались разными исследователи русловых процессов. Все они, в основном, считали, что превышение поступления наносов над транспортирующей способностью приводит к перегрузке русла наносами, а превышение транспортирующей способности – наоборот.

Далее мнения исследователей разделяются. Некоторые считают, что такая перегрузка наносами (или преобладание размывающей способности) проявляется в изменении продольного профиля реки, другие – в изменении формы русла, третьи – в местных аккумуляциях или размывах, четвёртые – в изменении параметров гряд, формы транспорта наносов или механизма передвижения песчинок.

В школе МГУ дисбаланс между транспортирующей способностью и поступлением наносов считают причиной изменения продольного профиля реки: *«Восстановление утраченного равенства между фактическим стоком наносов и транспортирующей способностью потока осуществляется вследствие возникновения в системе процессов, способных увеличить фактический уклон I до значений устойчивого уклона I_0 . Аккумулятивные процессы вызывают накопление наносов, наиболее мощное на верхней границе системы, и увеличение I . Возрастание уклонов в конечном итоге приводит к равенству $I_0=I$ »* [5, с. 28].

Другие исследователи связывают дисбаланс между транспортирующей способностью и поступлением наносов с формированием различных типов русел.

Например, О.В. Андреев и И.А. Ярославцев [7] на III Гидрологическом съезде высказали мысль: *«...В случае свободного формирования ... различные типы русловых форм присущи рекам с различными отношениями фактического расхода наносов G к тому расходу наносов G_{yn} , при котором в долине с уклоном I_0 формируется устойчивое прямолинейное русло. Так, при $G/G_{yn} < 1$ – русло меандрирует, при $G/G_{yn} = 1$ – русло прямолинейно, при $G/G_{yn} > 1$ – русло блуждает. В связи с этим отношение G/G_{yn} можно считать безразмерным числом, определяющим тип русловых форм»*.

Параллельно с О.В. Андреевым и И.А. Ярославцевым подобные идеи развивал Н.Е. Кондратьев: *«...Все характеристики жидкого и твёрдого стока формируются в вышележащих участках гидрографической сети, и если рассматриваемый участок реки и поймы не соответствует этим характеристикам и оказывается неспособным пропускать весь этот сток со всеми его особенностями путём обратимых деформаций, на нём развиваются необратимые процессы, стремящиеся привести этот участок реки в состояние динамического равновесия»* [45].

Такие же идеи выдвигали другие исследователи: В.В. Ламакин, А.В. Караушев, Н.А. Михайлова, И.В. Боголюбова, И.П. Карташов, Н.Б. Барышников, Е.А. Самусева и многие другие.

В настоящей диссертации показывается, что относительная транспортирующая способность является одним из руслоформирующих факторов, демонстрируется последовательность смены типов русловых процессов под

действием этого фактора, и предлагается соответствующая однофакторная классификация русловых процессов по этому фактору.

Рассмотрим составные части относительной транспортирующей способности:

- транспортирующая способность потока;
- расход наносов.

2.3 Транспортирующая способность потока

2.3.1 Определение транспортирующей способности, отличия от расхода наносов

По определению гидрологического словаря [88] *«Транспортирующая способность потока – предельный расход наносов, который способен транспортировать поток»*. Необходимо добавить – без изменения формы русла и, соответственно, типа русловых процессов. Потому что при изменении самого русла соответственно будет изменяться и транспортирующая способность потока, и тогда её невозможно будет однозначно определить.

То есть *«транспортирующая способность $R_{тр}$ численно равна расходу наносов, который поток в состоянии переносить при заданных гидравлических условиях»* [5, с. 25]. Аналогичные определения приводят Н.А. Михайлова [61, с. 12]; М.Э. Факторович [82, с. 34]; Н.Б. Барышников и И.В. Попов [11, с. 193] и др.

Из этих определений транспортирующей способности потока и расхода наносов следует, что расход наносов не всегда равен транспортирующей способности потока. Транспортирующая способность потока (по отношению к несомым рекою наносам) определяется гидравлическими характеристиками потока на этом участке реки и не зависит от количества приходящих наносов с расположенного выше участка реки.

Поэтому необходимо разделить три понятия:

- 1) поступление наносов на рассматриваемый участок реки с расположенного выше участка,
- 2) транспортирующая способность потока (сколько наносов может перемещать поток),
- 3) расход наносов, который представляет собой результирующую величину от поступления наносов и транспортирующей способности потока.

2.3.2 Формулы расчёта транспортирующей способности

Для полноценного использования понятия «относительная транспортирующая способность потока» необходимо научиться вычислять обе её составляющие. Поэтому рассмотрим существующие формулы расчёта этих составляющих. Здесь – транспортирующей способности потока.

Необходимо отметить две трудности по расчёту транспортирующей способности.

Первая: смешиваются понятия транспортирующей способности взвешенных (нерусловых) наносов и транспортирующая способность русловых наносов. Далее мы имеем в виду транспортирующую способность по отношению только к русловым наносам.

Вторая трудность – в расчётах часто понятие транспортирующей способности и расхода наносов смешиваются или отождествляются. Нашей задачей является выделение тех формул, которые рассчитывают именно транспортирующую способность потока (потенциальную).

В особых случаях, но не всегда, а только в тех, когда соблюдается баланс между транспортирующей способностью потока, поступлением наносов на участок и фактическим расходом наносов для расчёта транспорта наносов допустимо применять формулы расчёта транспортирующей способности потока.

Существует ряд методов и формул для оценки транспортирующей способности. Одной из наиболее часто применяемых в практике расчётов является зависимость Е.А. Замарина [25]. Имеет практическое применение зависимость, предложенная А.Н. Гостунским [22], которая основывается на оценке работы сил взвешивания наносов в русловом потоке. А.В. Караушев [33] предложил эмпирическую зависимость транспортирующей способности потоков.

Все эти формулы учитывают взвешенные наносы, и поэтому для целей настоящей работы не применимы.

Кроме этих формул самыми известными и наиболее употребительными формулами расчёта транспортирующей способности потока являются формулы И.И. Леви, Г.В. Железнякова, В.И. Дебольского, А.П. Полад-заде и др. Многие из зависимостей относятся к условиям среднеазиатских каналов и рек (формулы В.В. Пославского, Г.С. Чекулаева, Г.О. Хорста, А.Г. Хачатряна, С.Х. Абальянца).

Все формулы не дают достаточной точности и практического применения для русловых расчётов не имеют.

2.3.3 Выводы по транспортирующей способности

Отсюда можно сделать вывод, что определение фактической транспортирующей способности для русловых наносов в настоящее время не возможно, и требуются специальные исследования для выработки обоснованных формул.

2.4 Поступление наносов

Второй составляющей расхода наносов является поступление наносов в реку, а именно, – количество поступающих наносов.

Транспортирующая способность определяет потенциальную способность транспортирования, а поступление наносов определяет реальный материал, который может реализовываться или не реализовываться транспортирующей способностью.

Источниками материала, перемещаемого водными потоками, являются:

- непосредственное воздействие потока на подстилающую поверхность, которое приводит к её размыву (эрозии);
- поступление твёрдых частиц со склонов вследствие гравитационных процессов (оползни, осыпи, обвалы), эолового переноса, медленного смещения почвы на склонах, солифлюкции и т.д.

При некоторых условиях последние могут играть решающую роль в формировании стока наносов (например, на горных реках, особенно в районах повышенной селевой активности); в основном же, их доля в общем стоке наносов невелика [5].

2.5 Расход наносов

Расход наносов является результатом сочетания транспортирующей способности потока и поступления наносов.

Независимо от транспортирующей способности потока поступление наносов может быть малым, средним или большим (рис. 4а). В то же время транспортирующая способность потока может быть независимо от количества поступающих наносов также малой, средней или большой.

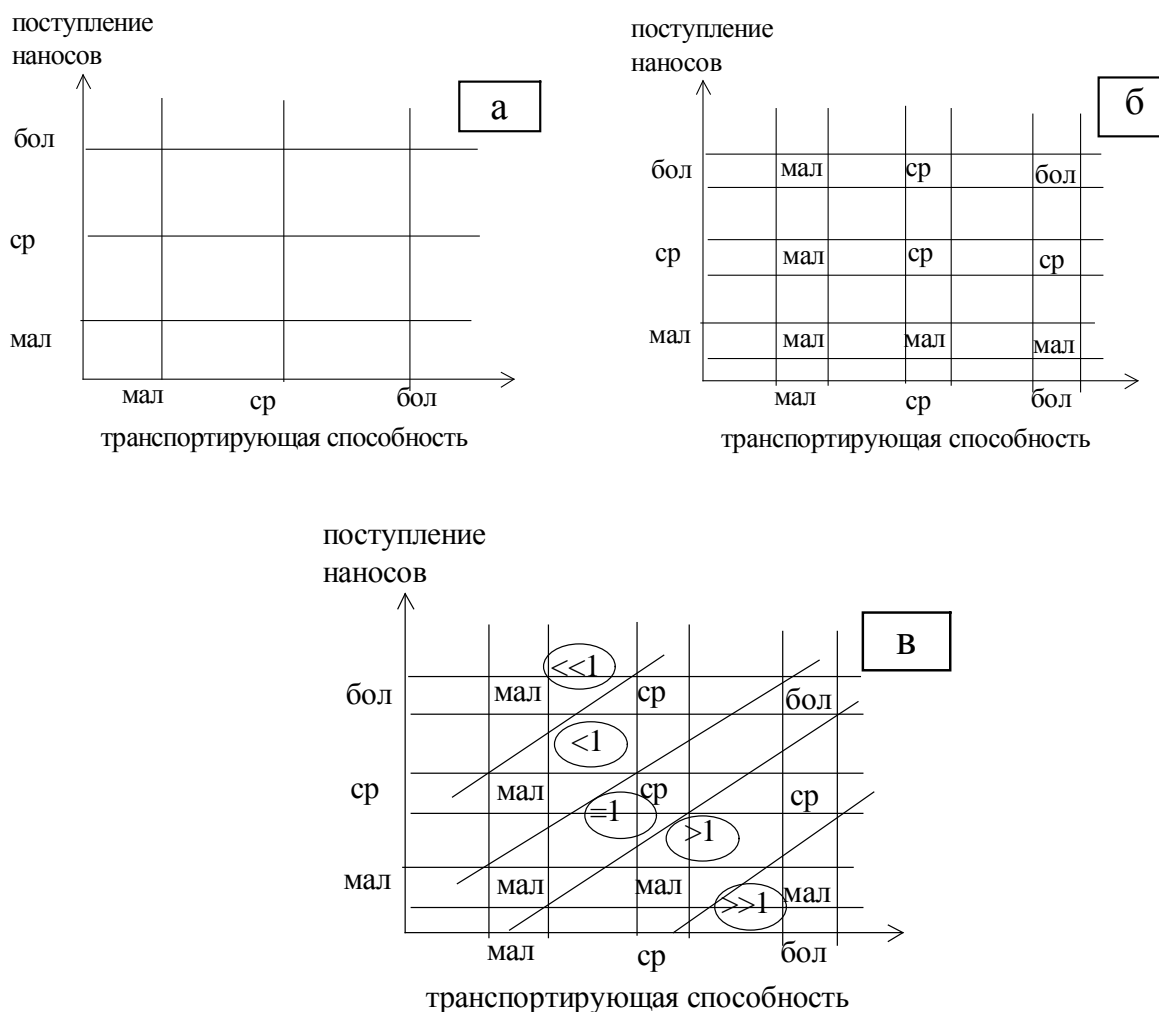


Рис. 4. Значения расхода наносов и типы руслового процесса при различном сочетании транспортирующей способности потока и поступления наносов.

Результатом сочетания поступления наносов и транспортирующей способности потока является расход наносов. Запишем на рисунке 4б получаемые величины расхода наносов.

Расход наносов не может быть больше поступления наносов, потому что дополнительному количеству наносов неоткуда взяться. С другой стороны, расход наносов не может быть больше, чем транспортирующая способность потока (по определению). Получаем значения расхода наносов при различных сочетаниях поступления наносов и транспортирующей способности (рис. 4б).

На рисунке 4в 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 5 характерных частей, в которых в овалах указаны значения отношения транспортирующей способности к поступлению наносов (рис. 4в).

2.5.1 Формулы расчёта расхода наносов

Расход донных наносов связывается или с силой влечения (Kreuter, Einstein, Егiazаров, Гончаров В.Н.) или с расходом воды (Schoklitsch A., Jeffreys H., Meyer-Peter, Muller, Никитин Я.А.), или со средней скоростью потока (Гончаров В.Н., Леви И.И., Донат Е.Б., Талмаза). В основу большинства формул последней группы легли опыты (Дементьев М.А., Вайнович П.А.), показавшие, что средняя скорость качения наносов по дну равна разности между скоростью потока и неподвижной скоростью.

Сток влекомых наносов может быть рассчитан по методике Н.И. Алексеевского [3, 4], основывающейся на зависимости параметров и скорости смещения гряд от порядка реки с учётом различий в условиях их формирования в основные фазы водного режима (половодье, межень). Методика по расчёту расхода наносов через скорость и размеры гряд разработана также в школе ГГИ.

Обстоятельный обзор и наиболее полную коллекцию формул расхода наносов (несколько сот) сделал А.Б. Швидченко [97]. Он собрал также большой банк измеренных расходов наносов и сравнил результаты расчётов по всем формулам с данными измерений. Получились ошибки до 1000%.

Наряду с разработкой большого количества формул по расчёту расхода наносов настолько же велика и критика этих формул другими авторами. Большинство исследователей отмечают, что по всем формулам получаются неприемлемые результаты.

«В лучшем случае формулы для донных наносов можно использовать в ограниченном диапазоне размеров частиц и условий течения, при которых они были выведены» [64, с. 207].

Среди основных проблем разработки верных формул называются: недостаток данных, неточность данных, неточность измерения характеристик, например, среднего диаметра наносов, трудности переноса экспериментальных результатов с лабораторных лотков на полевые условия и др.

Н.С. Знаменская [28, с. 110] предлагает для выхода из сложившейся ситуации переходить к кардинально новым подходам: *«Проблема расчёта расхода донных наносов из года в год отмечается как одна из важнейших. Думается, что в ней ... нужны какие-то новые подходы, учитывающие те её стороны, которые оставались в тени»*.

Предполагаем, что возможен подход расчёта расхода наносов не по параметрам русла и потока, как это обычно происходит, а по характеристикам всего водосбора и всей реки, т.е. на более высоком системном уровне.

Вывод. В настоящее время не существует достаточно точной формулы расхода наносов.

2.5.2 Способы измерения расхода наносов

В качестве исходных данных для вывода формул расхода наносов используются данные натурных и лабораторных наблюдений. Рассмотрим существующие способы измерения расхода наносов.

Батометры-ловушки являются наиболее давним способом измерения расхода влекомых наносов. Они не обеспечивают необходимую точность измерения, так как в месте их установки существенно искажается процесс перемещения наносов.

Не решённым остаётся до сего времени вопрос и о необходимой продолжительности измерения в каждой точке потока: при коротких выдержках возможны ошибки из-за пульсаций расхода, а при длительных не исключена возможность подмыва батометра и движения наносов в обход прибора.

По движению гряд расход наносов определяется по скорости и геометрическим параметрам гряд. Однако, выяснено, что непосредственное применение формулы без введения поправок не всегда удачно, потому что *«частицы «перескакивают» через 2-3 рифеля»* [52, с. 23]. Это отмечают и другие исследователи.

Косвенные методы. В мировой практике для измерения транспорта наносов всё больше начинают применяться различные косвенные физические методы,

основанные на использовании телевидения, ультразвука, электричества, трассеров, колебаний, ударов и т.д. [66, с. 57]. Их недостатком является трудность обоснования перехода от измеренных величин к значению расхода наносов.

На основании обзора методов измерения расхода влекомых наносов можно сделать вывод, что *«приборы для надёжного измерения расходов влекомых наносов отсутствуют»* [65, с. 54].

2.6 Эксперимент по определению расхода наносов

Так как формулы расхода наносов опираются на измеренные значения, а измерения часто недостоверны, был проведён методический эксперимент, в котором специальным образом определялся расход наносов, а также его флуктуации по ширине потока и во времени.

2.6.1 Описание эксперимента

Эксперимент осуществлён автором под руководством М.М. Гендельмана в 1996 году в Отделе русловых процессов ГГИ [94]. Эксперимент проводился в лотке со стеклянными стенками. Ширина лотка 2,0 м; длина – 50 м. Расход воды регулировался вентилем на головном баке лотка с водосливом треугольного профиля, габионами и пенопластовыми волногасителями в отстойнике. Ноль бака лотка был определён объёмным способом, а затем величины расходов воды высчитывались через напор на водосливе по формуле Кинга. В нижней части установка оборудована регулируемым горизонтальным сливом. На стёклах были приклеены 40 миллиметровок через 1 метр, нули которых определялись по горизонтальной поверхности стоячей воды.

Перед началом эксперимента дно было выложено из песка средним диаметром 0,33 мм и выглажено под плоскость с уклоном 0,0022 вручную рейкой по двум направляющим у стекол, которые выставлялись по миллиметровкам, наклеенным на стёкла лотка. Заполнение лотка водой на выложенный песок производилось снизу небольшим расходом до глубины около 3 см в верхней части лотка. Затем по пяти продольникам через метр по длине линейкой были проведены контрольные промеры глубин. Эксперимент был проведён при постоянном расходе воды, равном 10 л/с.

2.6.2 Пульсации расхода наносов во времени

В нижней части лотка вплотную друг к другу были установлены 8 батометров для улавливания донных наносов. Батометры представляют собой прямоугольные

ящики шириной 25 см. Верхний край ящиков располагался ниже подвалов перемещающихся гряд. Через каждые 2 часа производилось измерение объема песка, поступившего в батометры.

Эксперимент продолжался 300 часов. На рисунке 5 показан ход значений суммарного расхода влекомых наносов. Видна его временная неравномерность.

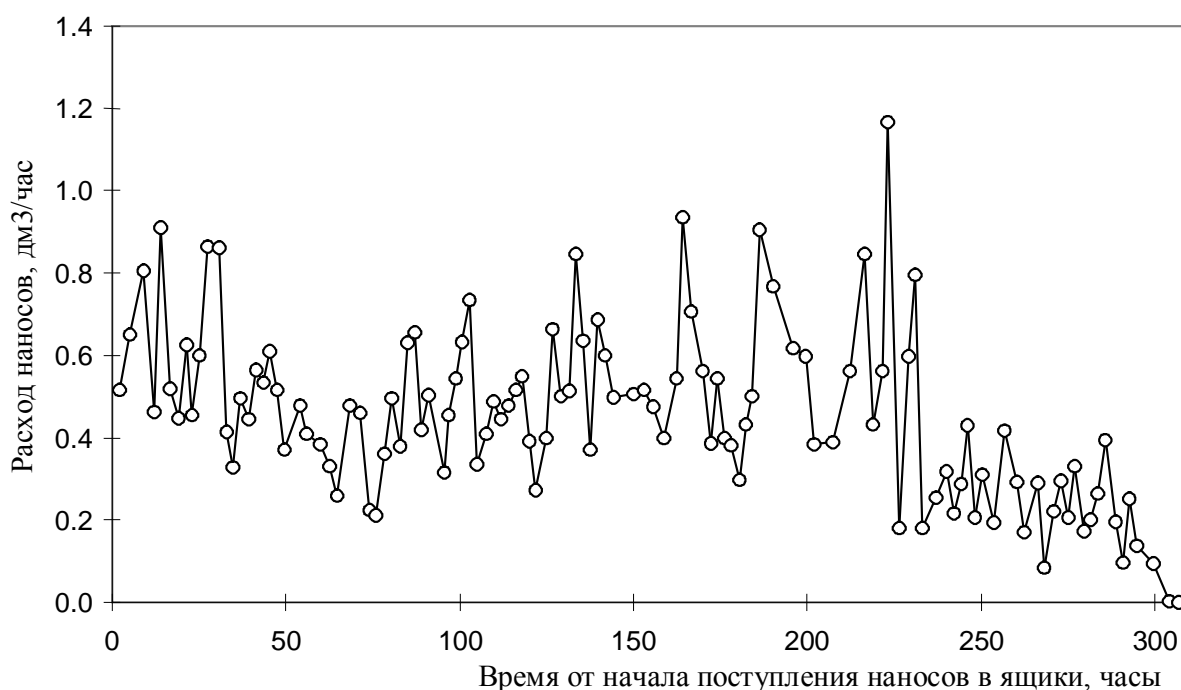


Рис. 5. Пульсации суммарного расхода влекомых наносов.

Обнаруженные на модели пульсации суммарного расхода влекомых наносов имеют значение для определения необходимого времени выдержки батометра для получения репрезентативного значения расхода влекомых наносов.

В таблице 2 приведены статистические характеристики наносов при различном периоде осреднения.

Таблица 2.

Статистические характеристики влекомых наносов
при различном периоде осреднения

Время осреднения, час	Статистические характеристики				
	Расход наносов, л/час			Длина ряда	Среднее квадратическое отклонение
	Средний	Макси- мальный	Мини- мальный		
3	0,46	1,17	0,09	117	0,15
5	0,46	0,86	0,15	58	0,14
10	0,46	0,72	0,17	29	0,12
23	0,48	0,66	0,24	13	0,10
50	0,46	0,58	0,27	6	0,07

При увеличении периода осреднения максимальные и минимальные измеренные значения расхода влекомых наносов приближаются к среднему значению.

Например, при периоде осреднения 10 часов минимальное измеренное значение меньше среднего в 2,7 раза, и максимальное больше среднего в 1,6 раза. При периоде осреднения 50 часов минимальное измеренное значение меньше среднего в 1,7 раза и максимальное больше среднего в 1,26 раза.

Из анализа рисунка 5 и таблицы 2 можно сделать вывод, что время измерения расхода влекомых наносов должно быть большим и значительно превышать то, которое обычно используется при измерении расхода влекомых наносов.

Соответственно можно предположить, что большинство существующих данных об измеренных расходах влекомых наносов имеют недостаточную точность за счёт малого периода выдержки батометра.

Для получения точного значения расхода наносов требуется непрерывное или очень долгое время измерения.

Этот вывод подтверждает заключение о том, что существует мало верных значений измеренных расходов влекомых наносов.

2.6.3 Неравномерность распределения расхода наносов по ширине потока

Батометры представляли собой восемь вплотную приставленных ящиков одинаковой ширины, что позволило выявить ход изменений расхода влекомых наносов по ширине лотка (рис. 6).

Около 100 часов подавляющая часть наносов поступает в какие-либо 3-4 соседних ящика ближе к краю. В остальные ловушки наносы вообще не поступают или поступают в ничтожных количествах. Затем примерно на 10 часов суммарное количество наносов уменьшается, и наносы беспорядочно распределяются по ширине. Следующие часы почти все наносы начинают поступать теперь уже в другие 3-4 ящика у противоположной стенки лотка.

Совместный анализ временного изменения значений расходов влекомых наносов одновременно по всем 8 батометрам приводит к выводу о неравномерном распределении транспорта влекомых наносов по ширине лотка. Неравномерность эта очень большая: за период между измерениями (2-3 часа) в нескольких батометрах измеренный расход наносов может оказаться равным нулю, в то время как в каком-либо одном ящике может сосредоточиться более 50% от суммарного расхода влекомых наносов за этот период.

Отсюда можно сделать вывод, что *«Измерить суммарное количество донных наносов возможно только при помощи траншеи, устраиваемой в дне реки. Попавшие в траншею наносы должны непрерывно извлекаться и взвешиваться»* [64, с. 201]. Есть только единичные примеры такого непрерывного измерения донных наносов – на реке Ост-Форк в США [95].

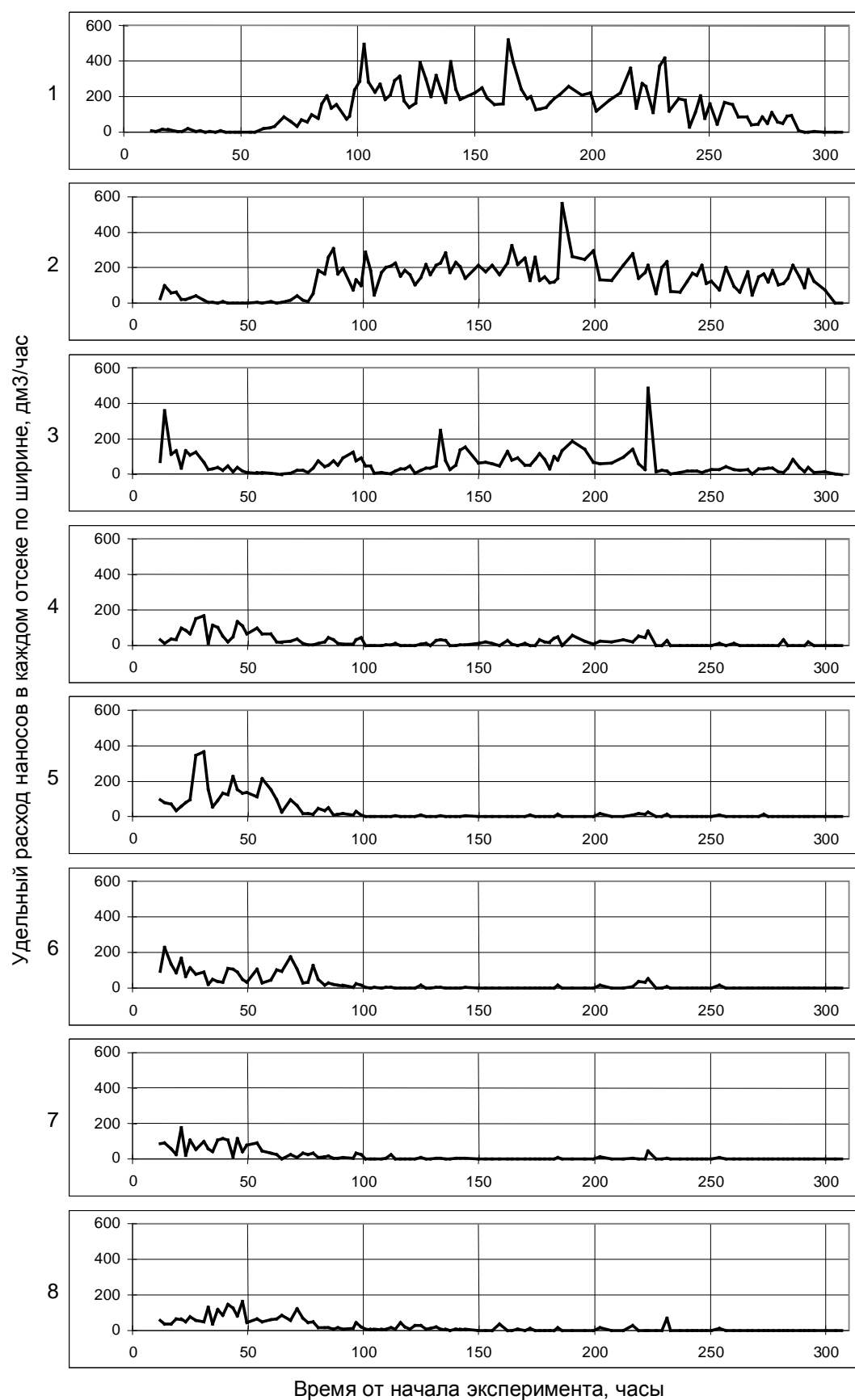


Рис. 6. Ход расхода влекомых наносов, измеренный каждым батометром.

1-8 – номера ящиков.

Выводы:

1. Для получения точного значения расхода наносов требуется интегрирование по ширине.
2. Измерение в отдельной точке может дать значение расхода наносов, которое будет отличаться от среднего в 1000 раз и более.

2.6.4 Выводы

Измерения.

Обзор методов измерения влекомых наносов показал, что на сегодняшний день не существует приборов или методов для точного определения расхода влекомых наносов.

Определение расхода наносов по параметрам гряд также может иметь неточности из-за неучёта коэффициента транзитности наносов.

Ошибки измерений могут достигать тысяч процентов.

На основе экспериментов выявлены пульсации расходов наносов.

Выявлена значительная неравномерность в распределении расхода влекомых наносов по ширине потока.

Формулы.

Обзор существующих формул показывает, что не существует формулы расхода наносов, которая обеспечивала бы достаточную точность вычислений расходов наносов.

Одной из причин этого также является отсутствие надёжных данных по натурным измерениям расходов наносов.

Относительная транспортирующая способность.

Анализ сущности транспортирующей способности потока и расхода наносов позволил выяснить, что эти величины, в общем случае, не равны друг другу.

Расход наносов является результирующей от сочетания величин транспортирующей способности потока и поступления наносов на рассматриваемый участок реки.

Абсолютные значения величин расхода наносов, транспортирующей способности, поступления наносов плохо измеряемы, и знание их конкретных величин мало даёт для практики.

Для оценки изменений параметров русла и типов русловых процессов более важны относительные значения.

Начальные условия

Важны начальные условия формирования русел, т.е. существующие формы руслового процесса, как отправная точка морфологических изменений.

Также важны начальные расход наносов и транспортирующая способность потока.

Для прогноза изменения русла не столько необходимо знать *абсолютные значения* параметров системы до и после внешнего воздействия, а более важно знать *направление* (вектор, степень) изменения руслоформирующих факторов.

Например, сведения о том, что каким-либо образом произойдёт увеличение поступления наносов с водосбора или верхнего участка даёт сведения о превышении поступления наносов над прежней транспортирующей способностью, на основе чего можно сделать прогноз изменения морфологических образований.

2.7 Проявление дисбаланса поступления наносов и транспортирующей способности в изменении типа русловых процессов

Разное соотношение между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов с расположенного выше участка реки приводит к следующему порядку типов: русловая многорукавность – ленточногрядовый тип – побочневый – меандрирование.

Направление увеличения относительной транспортирующей способности таково: русловая многорукавность → ленточногрядовый тип → побочневый тип → разные виды меандрирования.

При русловой многорукавности относительная транспортирующая способность минимальна. При меандрировании относительная транспортирующая способность максимальна [40, 41].

При меандрировании происходит уменьшение транспортирующей способности потока за счёт того, что уменьшается уклон поверхности потока из-за удлинения русла.

Представим первоначальное 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 → излишек энергии → деформация берегов → образование меандрирования → уменьшение уклона водной поверхности → уменьшение транспортирующей способности → уравнивание транспортирующей способности и поступления наносов → меандрирование реки при динамическом равновесии (до очередного возникновения диссимметрии между определяющими факторами) [34].

При русловой многорукавности из-за увеличения фронта перемещения наносов транспортирующая способность потока увеличивается.

Представим русло, в котором транспортирующая способность потока относительно мала, разность между малой транспортирующей способностью и относительно большим количеством поступающих наносов приведёт к образованию осерёдков, распластыванию русла и уменьшению транспортирующей способности.

Причинно-следственная цепочка при образовании русловой многорукавности такова: поступление наносов превышает транспортирующую способность потока → энергии на транспортирование всех наносов не хватает → образование осерёдков из “лишних” наносов → распластывание русла → увеличение фронта транспорта наносов → увеличение транспортирующей способности → уравнивание транспортирующей способности и поступления наносов → русловая многорукавность при динамическом равновесии.

Меандрирование образуется при неравновесном состоянии. Оно характеризуется первоначальным превышением энергии потока над предлагаемыми ей наносами. Относительная транспортирующая способность потока велика. Равновесное состояние достигается за счёт уменьшения уклона потока.

Русловая многорукавность образуется в случае, когда транспортирующая способность потока мала по сравнению с поступающими наносами. Относительная транспортирующая способность потока мала. Равновесие достигается за счёт увеличения фронта транспорта наносов.

Н.Е. Кондратьев считал, что при меандрировании транспортирующая способность мала, обосновывая это её уменьшением за счёт удлинения русла [46]. Из уменьшения транспортирующей способности при образовании меандрирования нельзя делать вывод о малости её величины. Она велика, потому и уменьшается.

Аналогично, увеличение транспортирующей способности при образовании русловой многорукавности совсем не говорит о её большой величине, а как раз подчёркивает её малость (что и приводит к увеличению).

Главные аргументы в пользу большой транспортирующей способности потока при русловой многорукавности и малой транспортирующей способности при меандрировании на самом деле являются аргументами, доказывающими увеличение транспортирующей способности при образовании русловой многорукавности и уменьшение транспортирующей способности при образовании меандрирования.

Выводы. При равенстве транспортирующей способности потока и поступления наносов русло сохраняет тип русловых процессов без изменений.

Соотношение между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов приводит либо к меандрированию (при относительно большой транспортирующей способности), либо, наоборот, преобразуется в русловую многорукавность (при относительно большом поступлении наносов).

2.8 Виды изменений транспортирующей способности потока и поступления наносов

Во внешних воздействиях на реку можно выделить 4 способа нарушения баланса между транспортирующей способностью и поступлением наносов:

- 1) увеличение транспортирующей способности,
- 2) уменьшение транспортирующей способности,
- 3) увеличение поступления наносов,
- 4) уменьшение поступления наносов (левая часть рис. 7).

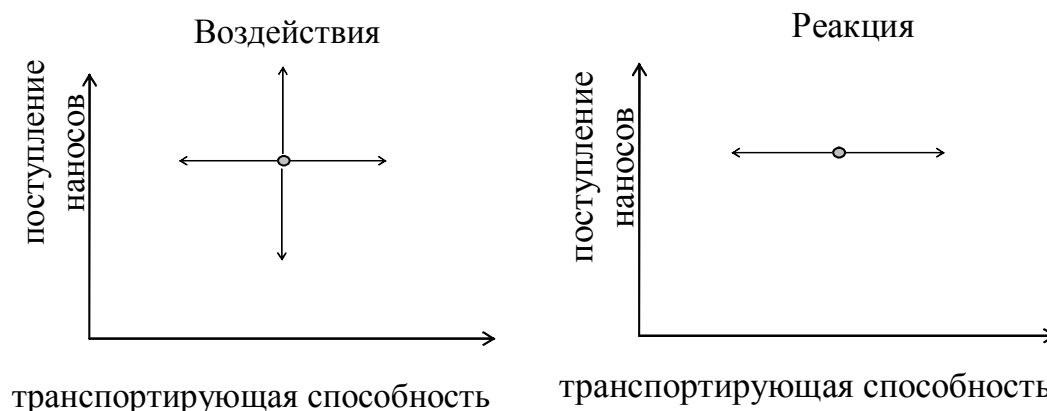


Рис. 7. Виды внешних воздействий и ответных реакций реки.

Ответных реакций у реки только две: увеличение и уменьшение транспортирующей способности (правая часть рис. 7).

Этими двумя ответами она реагирует на 4 вида внешних воздействий.

При внешних воздействиях, которые направлены на этом рисунке влево и вверх (увеличение поступления наносов и уменьшение транспортирующей способности потока), происходит уменьшение относительной транспортирующей способности потока. Эти воздействия река может компенсировать лишь одним способом: увеличением транспортирующей способности.

При других внешних воздействиях, которые приводят к увеличению относительной транспортирующей способности (уменьшение поступления наносов и увеличение транспортирующей способности), река стремится восстановить равновесие уменьшением транспортирующей способности.

Увеличение относительной транспортирующей способности (любым способом) река компенсирует уменьшением транспортирующей способности. Соответственно, лишь увеличением транспортирующей способности река может ответить на любое воздействие, связанное с уменьшением относительной транспортирующей способности.

Важно, что один и тот же отклик (например, уменьшение транспортирующей способности) может привести к разным результатам. В случае если дисбаланс получился из-за внешнего изменения транспортирующей способности потока, ответное противоположное изменение транспортирующей способности самой рекой приводит к прежнему типу руслового процесса (рис. 8а,б). В случае если изменение

транспортирующей способности рекой производится в ответ не на изменение транспортирующей способности, а на изменение поступления наносов, появляются деформации русла по новому типу руслового процесса (рис. 8в,г).

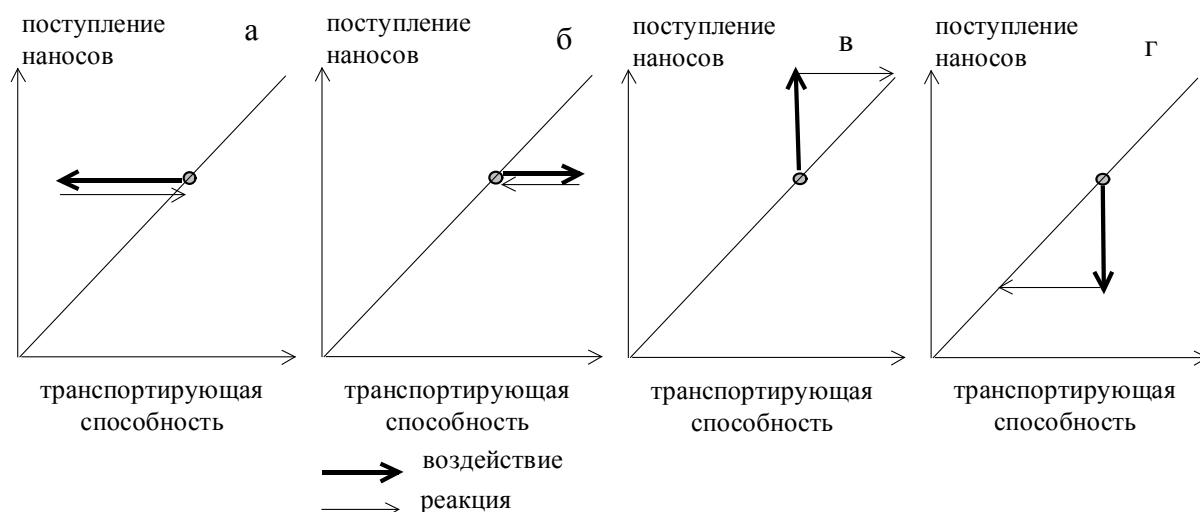


Рис. 8. Виды воздействий на реку и соответствующие ответные реакции реки.

Уменьшение или увеличение транспортирующей способности потока внешними воздействиями компенсируется затем рекой посредством изменения также транспортирующей способности. В этих случаях схема деформаций возвращается к первоначальному типу руслового процесса (рис. 9).

При изменении относительной транспортирующей способности за счёт изменения поступления наносов единственно возможная реакция реки в виде изменения транспортирующей способности приводит к изменению типа руслового процесса. При увеличении поступления наносов ответная реакция может привести к переходу русла к русловой многорукавности. При уменьшении поступления наносов возможен переход к меандрированию.

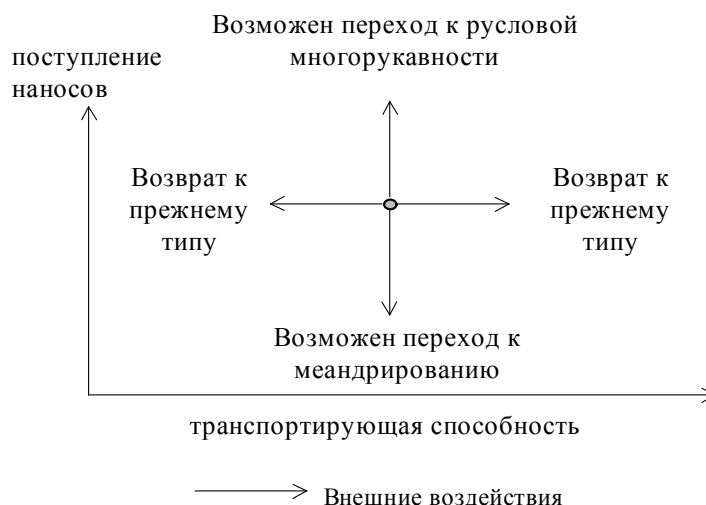


Рис. 9. Результаты реакции реки на внешние воздействия.

По этому признаку можно разделить изменения типов русловых процессов на *временные* (обратимые) и *вековые* (необратимые).

Например, меандрирующее русло нижнего Амура около 1000 лет назад превратилось в многоруканное. Скорее всего, причиной является перегрузка русла наносами (возможно, при интенсивном освоении территории древнего Китая под сельскохозяйственные угодья).

Такой случай изменения типа руслового процесса можно отнести к вековым (необратимым) изменениям типа руслового процесса.

К таким изменениям приводит изменение поступления наносов. В этом случае река не может «сама» ответно изменить тип руслового процесса так, чтобы вернуться к прежнему типу.

Временным (обратимым) изменением типа руслового процесса можно назвать спрямление излучин (например, на реке Миссисипи). Ответная реакция реки приводит к возврату системы к той схеме деформаций, которая была перед воздействием. Прямое русло с увеличенными скоростями относительно быстро придёт к равновесному состоянию за счёт своего удлинения.

К таким изменениям приводит первоначальное изменение транспортирующей способности потока. Река способна в ответ «сама» изменить тип руслового процесса к прежнему.

2.9 Примеры влияния относительной транспортирующей способности на изменение типов русловых процессов

2.9.1 Натурные примеры

Река Зея. Характерным примером изменения типа русловых процессов является участок нижней Зеи (рис. 10), где за последние несколько десятков лет река сменила меандрирование на русловую многорукавность [18, 19, 31, 40, 78].

У дер. Малая Сазанка р. Зея двумя излучинами упирается в отроги возвышенности Нюкжа, так называемые «Белые горы» – холмы высотой 80-100 м, сложенные в основном белым кварцевым песком со средней крупностью 1,4 мм.

Высокий, крутой, осыпающийся склон является источником поступления в р. Зею большого количества наносов (более 500 тыс. м³/год). Вследствие этого на небольшом участке реки (10-15 км) для обеспечения судоходства ежегодно ниже «Белых гор» проводится около 90 % (1,3 млн. м³) всего объёма дноуглубительных работ на участке от ГЭС до устья (650 км).

Выше «Белых гор» р. Зея протекает в меандрирующем русле шириной 0,8-1,5 км со средними скоростями течения 1,0-1,3 м/с. Ниже русло реки приобретает прямолинейные очертания, ширина резко увеличивается в 1,5-2 раза, скорости течения уменьшаются

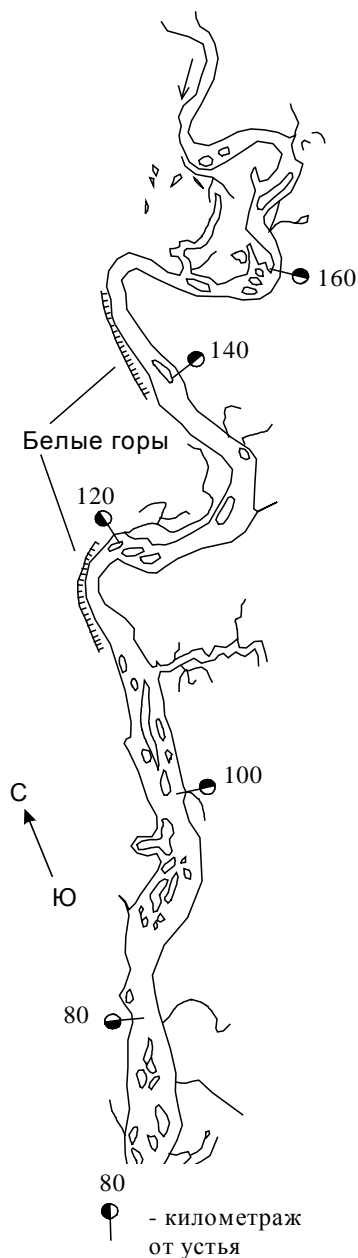


Рис. 10. Схема участка р. Зея

до 0,9-1,1 м/с, в русле появляется множество песчаных островов, осерёдков, отмелей и кос. Здесь отмечают самые затруднительные для судоходства перекаты-россыпи, частые переходы основного русла из одного рукава в другой и значительные переформирования русла реки.

Следовательно, резкое увеличение поступления наносов в поток с «Белых гор» при постоянном расходе воды и примерно одинаковом уклоне долины в этом районе

(1,2-1,3 ‰) привело к изменению типа русловых процессов (меандрирование – русловая многорукавность) [18].

Река Амур. По снимку космического фотографирования видны следы меандрирующего русла, соизмеримого с современным руслом реки Амур. Размеры излучин и ширина древнего русла соответствуют современному максимальному расходу воды (около 25-28 тыс. м³/с). На этом основании высказано предположение, что 2500 - 3000 лет назад на участке ниже Хабаровска река Амур развивалась по типу свободного меандрирования, при котором сформировалась широкая пойма [69]. Затем достаточно резко произошёл переход к новому типу руслового процесса. Авторы этой работы, следуя типизации ГТИ, определили его как сочетание русловой и пойменной многорукавности.

Скорее всего, причиной является перегрузка русла наносами (возможно, при интенсивном освоении территории древнего Китая под сельскохозяйственные угодья).

Река Истуит. Участок меандрирующей р. Истуит в среднем Уэльсе в октябре 1969 г. был спрямлен и превращен в канал, однако уже через год начал восстанавливаться меандрирующий тип русла [79].

В поле координат транспортирующей способности потока и поступления наносов эти изменения русла показаны на рис. 11.

Первоначально меандрирующее русло развивалась в рамках соответствующего типа русловых процессов (1).

Затем под воздействием внешнего воздействия, заключающегося в спрямлении русла, река изменила внешний облик, что привело к увеличению транспортирующей способности потока за счёт увеличения уклона. Изменение морфологии русла привело к дисбалансу между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов, причём транспортирующая способность увеличилась, поступление наносов сохранилось прежним, и относительная транспортирующая способность стала больше единицы (2).

Превышение транспортирующей способности над существующим расходом наносов привел к размывам берегов, в связи с чем русло начало перестраиваться, уменьшая свою транспортирующую способность (стрелка влево) за счёт удлинения русла и возврата к прежнему меандрирующему типу реки. В результате внешнего

воздействия и ответной перестройки русла река стала развиваться по законам, присущим прежнему типу руслового процесса (3).

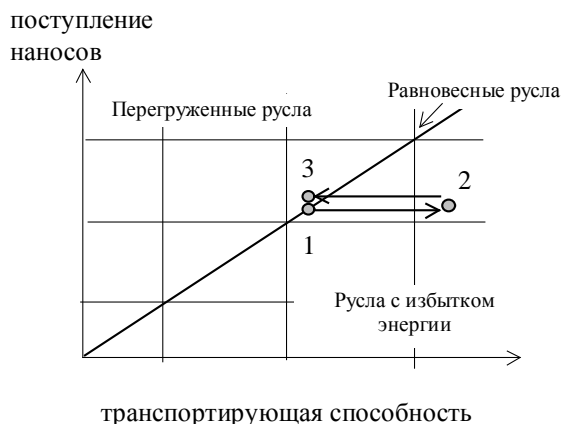


Рис. 11. Пример изменения типа руслового процесса на реке Истуит.

Меандрирующая река (1) была спрямлена и превращена в канал (2), однако уже через год начал восстанавливаться меандрирующий тип русла (3).

Сброс отходов горного производства. Следующий пример иллюстрирует другое изменение руслоформирующих факторов, которое приводит к соответствующему изменению морфологического типа русла реки: «В русло реки с 1800 по 1920 г. сбрасывались отходы горного производства. В результате узкое однорукавное меандрирующее русло к 1904 г. превратилось в широкое малоизвилистое русло с осерёдками и пойменной многорукавностью. Но после прекращения антропогенного воздействия прежний морфологический тип русла начал восстанавливаться, и к 1978 г. русло реки снова стало узким и однорукавным (но ещё малоизвилистым)» [79].

Сброс отходов горного производства привел к увеличению поступления наносов (стрелка вверх) в реку (рис. 12), транспортирующая способность потока первоначально сохранилась соответствующей прежней до изменения руслоформирующих факторов (2).

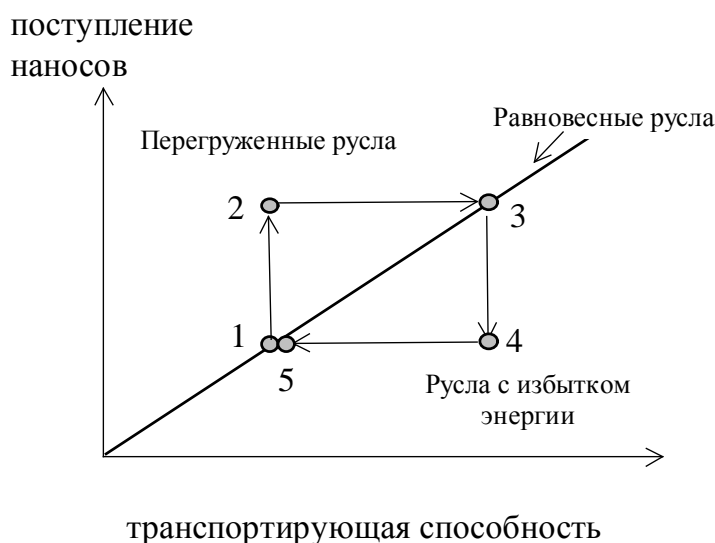


Рис. 12. Пример изменения типа руслового процесса.

Первоначально однорукавное меандрирующее русло (1), в которое 120 лет сбрасывали отходы горного производства (2) превратилось в широкое многорукавное русло (3). После прекращения антропогенного влияния (4) морфологический облик русла стал восстанавливаться (5).

Дисбаланс между транспортирующей способностью и увеличенным поступлением наносов привёл к изменению типа руслового процесса (3), при котором транспортирующая способность потока увеличилась за счёт распластывания русла и стала равной новому поступлению наносов, что привело к тому, что участок реки стал развиваться по новому типу русловых процессов.

Последовавшее уменьшение поступления наносов привело к несоответствию нового поступления наносов по отношению к присущей теперь русловой многорукавности транспортирующей способности потока (4).

Реакция русла выразилась в изменении транспортирующей способности (уменьшении) за счёт меандрирования (5).

Другим примером влияния относительной транспортирующей способности потока на изменение типа русловых процессов может быть карстовая р. Рагуша (рис. 13). Меандрирующая река при подходе к понорам теряет расход воды, транспортирующая способность падает. Это приводит к тому, что наносы отлагаются в русле, и тип русловых процессов меняется от меандрирования на русловую многорукавность.

В.А. Виноградов и А.Б. Клавен [19, с. 60] приводят пример неравновесных процессов на реках Полометь и Гремячая, где усиление поступление наносов не привело к смене типа русловых процессов, но повысились отметки дна, что при дальнейшем повышении дна может привести к русловой многорукавности.

Нарушение баланса между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов может происходить в результате антропогенного вмешательства. Например, под воздействием карьерных выемок изменился характер русловых переформирований на реках Украинских Карпат, *«что привело к нарушению ранее выработанного динамического равновесия, а следовательно, к перестройке типов русловых форм. Вместо осерёdkового типа русла наблюдается меандрирование»* [34, с. 49].

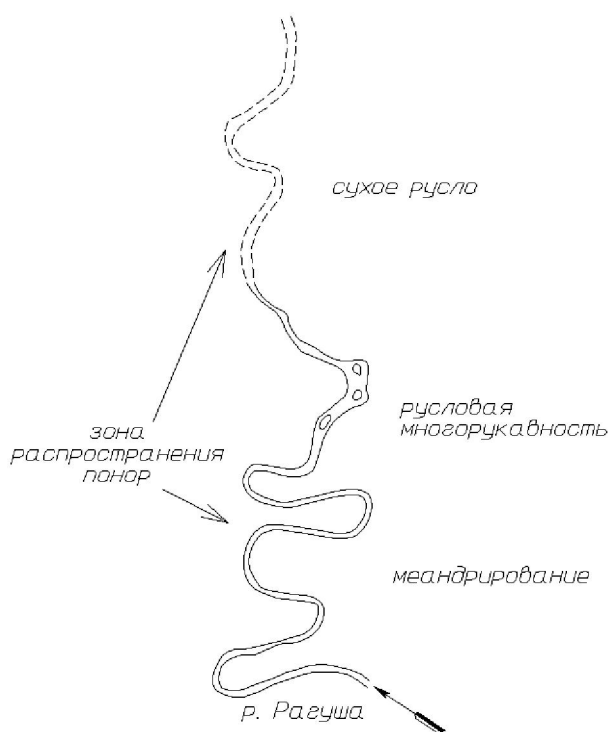


Рис. 13. Схема участка р. Рагуша. Меандрирование сменяется русловой многорукавностью из-за оттока воды в карстовые воронки и уменьшения транспортирующей способности потока.

Спрямление излучин на р. Миссисипи является другим примером. Сильно извилистая Миссисипи мешала судоходство. Было предложено спрямить много

излучин. В реке увеличилась транспортирующая способность потока, что привело к размывам берегов, возникновению извилистости и возвращению в результате к меандрированию.

Вывод по натурным примерам. Приведённые примеры изменений типов русловых процессов под влиянием изменения баланса между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов в реку подтверждают гипотезу об изменениях типов русловых процессов как ответной реакции системы на нарушение баланса и стремление системы к уменьшению дисбаланса.

2.9.2 Модельные примеры

Проявления несоответствия между поступлением наносов на участок реки и транспортирующей способностью потока часто наблюдаются на модельных установках.

Недостаток наносов происходит при отсутствии дополнительного подпитывания модели наносами, или же когда в начальном створе вообще отсутствует подача наносов на модель. В этом случае получаются так называемые «раструбы». В верхней части модели ширина блуждания модельной реки меньше, чем в нижней, где поступление наносов увеличивается из-за дополнительного размыва берегов. Это «раструб вниз».

«Раструбы вверх» получаются при перегрузке потока излишней подачей материала сверху. Наверху получается транспорт этих наносов в виде русловой многорукавности. Понятно, что транспортирующая способность при этом не возрастает, а лишь подача наносов превышает эту транспортирующую способность.

В качестве примера малой и большой относительной транспортирующей способности может служить эксперимент Н.С. Шарашкиной [90]. Подача наносов в начальный створ модели отсутствовала. *«Получившееся русло имеет два совершенно отличных по своему характеру участка: верхний, где меандрирование вполне отчётливо выражено, и нижний, где имеет место блуждание потока с разбивкой его на рукава [русловая многорукавность]».*

Такой результат можно объяснить тем, что в верхней части модели, где отсутствовала подача наносов, транспортирующая способность потока была относительно велика по сравнению с поступлением влекомых наносов (которые

вообще не подавались). Энергия потока тратилась на размывы берегов, что привело к меандрированию.

В нижней части модели, на которой образовалось дополнительное поступление влекомых наносов за счёт размыва верхнего участка, транспортирующая способность оказалась относительно мала по сравнению с таким поступлением влекомых наносов на этот участок. Энергии потока не хватает на транспорт этих предложенных наносов, поток транспортирует их в виде внутрирусловых образований и даже обтекает (русловая многорукавность).

Интересно отметить, что некоторые исследователи получали на моделях какой-либо один тип русловых процессов и затем считали, что только такие типы русловых процессов могут случаться на моделях.

Например, В.П. Троицкий в дискуссии на V Гидрологическом съезде резюмирует, что *«русло теряет цилиндрическую форму, оно деформируется, мелея и расширяясь вниз по течению»* [81, с. 351].

А Л.Д. Курдюмов [50, с. 282], наоборот, придерживается противоположного мнения и первым из своих положений считает, что *«Общим гидравлически обусловленным свойством всех потоков (как эродирующих, так и аккумулирующих) является «русловая концентрация», выражающаяся в тенденции каждого отдельного водотока к сужению русла и увеличению глубины»*.

Выводы по модельным примерам.

На моделях получают различные типы русловых процессов в зависимости от начальных условий и, главным, образом, от соотношения между поступлением наносов и транспортирующей способностью.

Если наносов слишком много, то образуется русловая многорукавность, а если, наоборот, наносов относительно мало, то формируется меандрирование.

Значительное превышение подачи наносов на верхний участок приводит к образованию раструбов вверх, то есть в верхней части лотка происходит перегрузка потока наносами, что приводит к морфологической перестройке в сторону русловой многорукавности.

2.9.3 Примеры других относительных параметров в русловедении

Относительная транспортирующая способность является примером меры действия – определяющего относительного фактора. В этом пункте приведены примеры других относительных параметров в русловедении, которые также представляют собой отношения некоторых факторов.

Например, Г.А. Куколевский предлагает связать типы русловых процессов с отношением фактической мощности потока с мощностью, нормированной относительно порядка реки. Предлагается в качестве общего критерия для различных типов русловых процессов выражение $D = \frac{(QI)_{pф}}{(QI)_N}$. В этом выражении в числителе произведение, характеризующее транспорт наносов: руслоформирующего расхода Q и уклона I , ‰, нормированное по величине $(QI)_N$, в которой расход воды и уклон поставлены в соответствие такому порядку реки N по нисходящей классификации в речных системах [49]. Он использует типы русловых процессов, выделенных В.С. Лапшенковым.

Б.Ф. Сنيщенко в качестве критериев деления рек по типам русловых процессов предлагает два относительных параметра: 1) относительную ширину долины и 2) отношение уклона долины к уклоны реки (коэффициент извилистости) [47, 80]. Первый из них является ограничивающим фактором, а второй – неизменным атрибутом каждой реки. Важным является то, что оба этих критерия являются отношениями. Б.Ф. Снищенко также предлагает в качестве критерия произведение этих отношений.

К.М. Беркович предлагает в качестве критерия соотношение гидрологических и геолого-геоморфологических факторов. Гидрологические факторы определяют энергию руслового потока, тогда как набор геолого-геоморфологических факторов характеризует степень проявления русла работе водного потока. Относительная роль их может быть учтена соотношением $\frac{\Phi_{\text{г}}}{\Phi_{\text{гг}}}$ (здесь $\Phi_{\text{г}}$ – суммарное влияние гидрологических, $\Phi_{\text{гг}}$ – геолого-геоморфологических факторов); характеризующим интенсивность русловой эрозии. Возрастание влияния комплекса $\Phi_{\text{гг}}$ приводит к уменьшению интенсивности русловых деформаций.

Обзор относительных параметров и критериев показывает эффективность их применения для решения различных научных задач. Отношение скрывает в себе баланс сил, отвечающий за изменение формы явления.

2.9.4 Примеры извилистости и разрывов других геоморфологических объектов.

Меандрирование рек подобно многим другим извилистым объектам. Аналогично можно предположить, что и причиной других извилистых явлений и предметов может быть некое несоответствие между параметрами.

Поэтому автор настоящей диссертации [36] сформулировал общую формулировку: Внешнее проявление (форма) объекта является реакцией на соотношение между тем, что он способен «делать», и тем, что ему предлагают (или его заставляют) «делать». Если нагрузка чрезмерна, образуется извилистость. В обратном случае – разрывы, разрежение.

Возможно, что таким подходом, основанном на поиске соотношений, можно объяснить и генезис других извилистых объектов.

Г.В. Полунин и Б.П. Агафонов в главе «Волновые процессы в экзогенном рельефообразовании» книги [20, с. 80] приводят примеры волновых объектов на земной поверхности. Встречается множество форм рельефа в виде застывших и движущихся больших и малых волн.

Яркие примеры их – дюны, барханы и эоловые гряды, подводные береговые валы, солифлюкционные натечные террасы, валы на поверхности лавовых, оползневых, курумовых, грязекаменных потоков, гряды на залесённых крутых склонах, морщины на теле грязекаменных глетчеров, изгибовые дислокации верхних слоёв литосферы в плейстоценовых областях катастрофических землетрясений, волн ряби на дне водоёмов и т.п.

Добавим от автора настоящей диссертации: гряды, дюны, бары, побочни на дне рек и извилистость меандрирующих русел рек [36].

Такую извилистость, скорее, необходимо называть не словом «волна» в смысле колебательного движения, при котором частицы описывают замкнутые орбиты. В перечисленных примерах извилистость есть скорее не процесс, а результат (относительно стабильный) некоего уже произошедшего события.

Если пластическое вещество подвергать сжатию, то на его поверхности образуются морщины, которые по своей природе также имеют волновой характер. Подобные волны проявляются на поверхности оползней, курумов, застывших лавовых и грязевых потоков. Очень чётко застывшие волны выражены на поверхности грязевых вулканов. Образование таких морщин отличается от обычных упругих волн тем, что последние распространяются от источника энергии, а морщины формируются в направлении источника. Они часто образуются тогда, когда передние, фронтальные части потока уже утратили свою потенциальную и кинетическую энергию и являются препятствием для надвигающихся с тыла новых порций материала [20, с. 88].

Аналогично рассматривается и образование волн из жидкой лавы: *«Менее кремнезёмистая лава, более жидкая, течёт быстрее и застывает не глыбами, а волнами, которые при быстром течении набегают друг на друга. Такая лава называется волнистой»* [63, с. 153]. Волны могут формироваться на поверхности лавового потока, когда свежие порции раскалённой лавы сминаются в натёки и гряды, встречая на своём пути застывшие, охлаждённые части потока [20].

Н.Н. Горский [21, с. 47-48] описывает подводные валы, но не даёт исчерпывающей гипотезы причин их образования. *«Валы рыхлых осадков высотой в десятки метров, расположенные на расстоянии сотен метров друг от друга. Они, словно волны, застывшие на дне моря. Что послужило причиной образования этих подводных валов – неизвестно. Единственное предположение – их создали глубоководные приливные течения»*. Возможно, что их причиной тоже является некое соотношение между состояниями явления.

Автором диссертации дана общая формулировка: «Внешнее морфологическое проявление объекта является реакцией на разность между тем, что он способен «делать», и тем, что ему предлагают (или его заставляют) «делать». Если нагрузка чрезмерна, образуется извилистость. В обратном случае – разрывы, разрежение» [36]. Таким подходом можно объяснить происхождение многих извилистых и разорванных геоморфологических объектов.

2.10 Классификация видов воздействия по степени влияния на изменение типов русловых процессов

Степень неравновесности руслоформирующих факторов может быть различной: от незначительной, не проявляющейся в изменении морфологии русла, до значительной, такой, что приводит к изменению типа русла или даже исчезновению реки как специфического объекта.

Например, М.С. Карасев и Б.И. Гарцман [32] предлагают различать различные степени воздействия внешних, главным образом антропогенных, факторов на русловые процессы. Они формулируют критерии 4 степеней антропогенной нарушенности русловых процессов на участке.

Пороговые критерии. В своих работах К.М. Беркович (обобщение в [13]) сформулировал качественные критерии, характеризующие устойчивость русел рек к антропогенным нагрузкам. К ним, среди других, отнесены: пороговый уровень нарушения, ко времени наступления которого обнаруживаются существенные трансформации основных факторов руслоформирования (изменение уклонов свободной поверхности; водности рек, подверженных антропогенным нагрузкам; крупности наносов; формы поперечного сечения, других морфометрических характеристик).

Пороговый уровень нарушения, следовательно, определяется изменением реакции русла на техногенную нагрузку. *«Реакция русла может быть мало заметной, если нарушения не достигают порогового уровня»* [12, с. 39].

До настоящего времени остаётся нерешённым вопрос, всегда ли за счёт длины русла при образовании меандрирования или при увеличении фронта транспорта наносов при русловой многорукавности увеличения достигается рекой требуемое изменение транспортирующей способности (из-за несоответствия поступления наносов и транспортирующей способности).

Сильно развитые излучины. Для развитого меандрирования при очень большой транспортирующей способности относительно предлагаемых наносов, когда река не может на плоскости долины достичь требуемой длины, потому что происходят спрямления излучин ранее при их соединении. Это предельный случай, когда отклик реки не может компенсировать дисбаланс.

В таком случае извилистость очень сильно развита. *«Процесс свободного меандрирования обычно подавляет другие проявления руслового процесса (р. Иртыш)»* [77, с. 20]. Река Пьяна в Горьковской (Нижегородской) области настолько прихотливо меандрирует, что в месте своего впадения в Суру оказывается значительно ближе к истоку, чем в среднем течении. К.В. Гришанин на одной из первых страниц в книге [24] приводит рисунок с меандрированием русла р. Иртыш, который он называет *«фантастическими излучинами»*.

Дельты. Н.Н. Банасевич приводит в виде примера дельту Терека, рукава которой протекают на повышениях по сравнению с остальной частью местности.

Реки, загружая русло собственными наносами, постоянно ищут новых выходов к морю и тем самым увеличивают и возвышают над уровнем моря дельту.

Дробление реки на рукава, отмирание одной речной системы и образование другой обуславливается отложением наносов и заилением русел [10].

Дельты и внутренние дельты являются одним из примеров сильной перегрузки на этом участке реки наносами.

Выводы.

Существуют крайние проявления русловых процессов: при перегрузке дельты (и в том числе внутренние дельты), при недогрузке сильно развитое меандрирование.

При изменении остальных руслоформирующих критериев происходят другие геоморфологические изменения.

При достижении качественных границ происходит разрушение реки и переход в другие водные или другие объекты.

2.11 Выводы

В русловедении среди основных факторов руслоформирования выделяются транспортирующая способность потока и поступление наносов в реку.

Их диссимметрия (отношение) можно использовать как критерий, влияющий на формы русла (относительная транспортирующая способность).

На разных системных уровнях относительная транспортирующая способность приводит к разным специфическим проявлениям.

На системном уровне «водосбор–река»: изменения продольного профиля реки являются ответной реакцией реки на нарушение баланса между транспортирующей

способностью потока и поступлением наносов и направлено на уменьшение диссимметрии.

На системном уровне «поток–русло»: ответной реакцией является изменение типа русловых процессов. При перегрузке реки наносами тип русловых процессов изменяется от меандрирования к русловой многорукавности (через промежуточные типы), а при недогрузке наносами, наоборот, – к меандрированию (рис. 14).

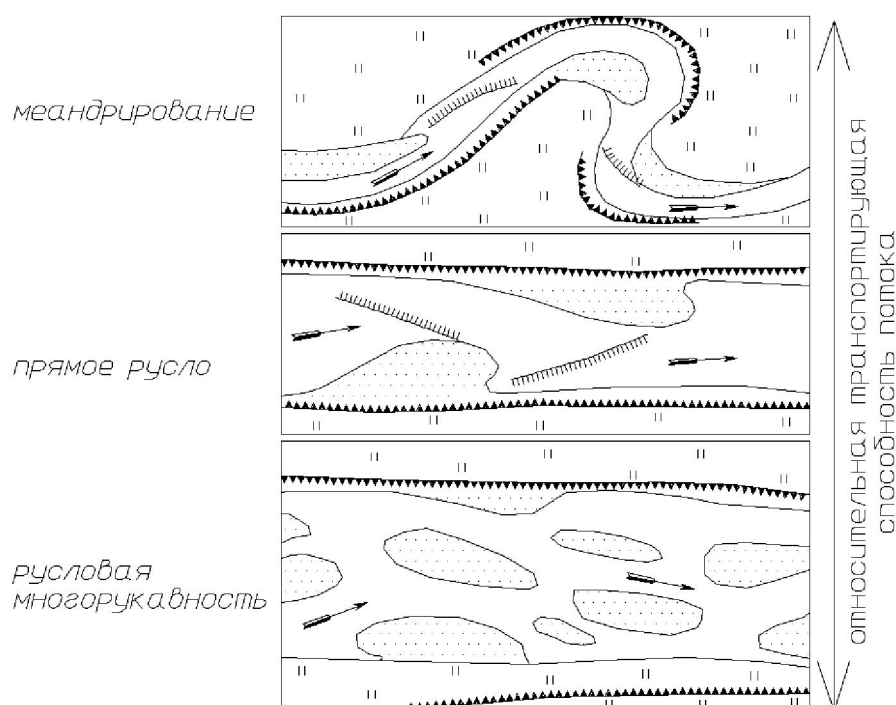


Рис. 14. Порядок изменения типов русловых процессов при изменении относительной транспортирующей способности потока.

Многочисленные примеры других относительных параметров в русловедении и других науках, аналогии с другими извилистыми и разрывными явлениями приводят к выводу о критериальности относительных параметров и возможном применении относительной транспортирующей способности как фактора, отвечающего за изменение типа русловых процессов.

Порядок типов русловых процессов, за которые отвечает изменение относительной транспортирующей способности таков: развитое меандрирование – неразвитое меандрирование – побочневый тип – осередковый тип – русловая многорукавность.

3 Двухфакторная классификация русловых процессов равнинных рек

3.1 Общие положения

Вторым защищаемым положением настоящей диссертации является двухфакторная классификация русловых процессов.

Рассмотрим теоретические основы построения многофакторных классификаций.

Генетические цепочки. Под объединением руслоформирующих факторов можно понимать изучение их совместного влияния на формирование некоего определённого типа русловых процессов.

Вокруг каждого явления природы есть непрерывный ряд явлений-«соседей» или модификаций, которые образуются при разной степени воздействия определяющих факторов. Поэтому есть смысл рассматривать совместно несколько разных типов русловых процессов, выстраивая их в генетические ряды.

Например, в предыдущей главе был представлен такой ряд: меандрирование – прямые русла – русловая многорукавность. Руслоформирующим критерием для такого генетического ряда является изменение относительной транспортирующей способности потока (что является первым защищаемым положением настоящей диссертации).

Многофакторность. Явления природы многофакторны. Каждое явление – это продукт сочетания огромного количества определяющих (побуждающих) причин и условий протекания явления (границы, ограничивающие факторы и т.п.).

Морфологический ящик. Одним из способов построения многофакторных классификаций является использование известного приема под названием «морфологический ящик» или «морфологический анализ». Для применения этого инструмента к русловым процессам, автор настоящей диссертации модернизировал этот приём под названием «морфологический ящик природы» [37].

В настоящей главе приводится двухфакторная классификация типов русловых процессов, основанная на учёте многофакторности с использованием этого способа, и приводятся варианты других возможных двухфакторных классификаций.

3.2 Морфологический ящик природы

В изобретательстве применяется специальный метод для получения большого списка возможных вариантов решения изобретательских задач. Таким методом

является морфологический анализ. Он был разработан швейцарским ученым-астрономом Ф. Цвикки в 1942 году.

Составляется многомерная таблица («морфологический ящик»), которая вмещает возможные варианты решения задачи. При этом каждому функциональному узлу (параметру) отводится графа, ось, где перечисляются возможные варианты его решения.

Аналогичным образом и для решения научных задач можно использовать «морфологический ящик» семейства явлений. По осям такого «ящика» отложены главные причины рассматриваемого явления. В «клеточках», соответствующих различным сочетаниям определяющих причин, находятся различные разновидности, типы, варианты изучаемого явления.

Автором настоящей диссертации был предложен приём «морфологический ящик природы» [37]. Суть этого приема заключается в составлении из набора близких по генезису явлений многофакторной таблицы или n-мерного куба.

С использованием такого морфологического ящика удобно решать научные задачи: находить причины явлений, объяснять причины изменения явлений и прогнозировать поведение изучаемых систем, находить новые явления.

Многомерный морфологический ящик природы позволяет с пониманием подходить к разбору изучаемого явления. Изолированное изучение только того явления, которое надо изучить, очень мало даёт исследователю. На порядок более продуктивно изучать не только это явление, а рассматривать весь набор аналогичных по природе явлений. При таком широком охвате выявляются новые причины, новые закономерности и даже новые явления.

Чаще всего по причинным осям отложены относительные параметры (отношения, разности, неравенства и т.п.).

Примеры использования морфологического ящика. Морфологический ящик многократно использовался в разных отраслях науки, в том числе и в географии [9]. Например, в геоморфологии А.В. Чернов [89, с. 114] при построении классификации пойм использовал тот же способ под названием «метод построения серии качественных решёток по принципу турнирной таблицы».

Подобный принцип применяется в других многокомпонентных классификациях, например, в классификации рек по гидрологическому режиму [48].

В технических науках этот метод имеет название «фасетные классификации» и противопоставляется иерархическим.

Морфологический ящик как приём решения научных задач плодотворен. Он позволяет использовать лучшее из каждой однофакторной классификации и лишает каждую из них присущих ей недостатков.

Таким примером являются однофакторные классификации Н.Е. Кондратьева – И.В. Попова и Б.Ф. Сنيщенко, использующих одну и ту же типизацию для построения своих классификаций по разным определяющим факторам.

Автором настоящей диссертации были вскрыты недочёты каждой из таких однофакторных классификаций, и показан способ их согласования [39].

3.3 Существующие многофакторные классификации русловых процессов

Самыми известными двухфакторными классификациями являются: Р.С. Чалова [85], Н.С. Знаменской [28] и М.С. Карасева и Б.И. Гарцмана [32].

Классификация Р.С. Чалов. В верхней части рис. 15 представлена двухфакторная классификация в порядке, указанном Р.С. Чаловым.

Вертикальная ось представляет собой ограничивающее условие, и именно – отношение ширины поймы к ширине русла, т.е. широкопойменные, узкопойменные и беспойменные русла [85].

По горизонтальной оси представлены извилистые, прямые неразветвлённые русла и русловая многорукавность. Как показано в главе 2, определяющим фактором для такого ряда типов является относительная транспортирующая способность потока. Различие заключается в порядке типов, представленном в верхней части рисунка 15, и перечисленном ряде.

Для согласования необходимо переставить 2 столбца: первый и второй (рис. 15), чтобы порядок был именно такой (прямые русла посередине между меандрированием и русловой многорукавностью на этой определяющей оси). Модифицированная таблица представлена в нижней части рис. 15.

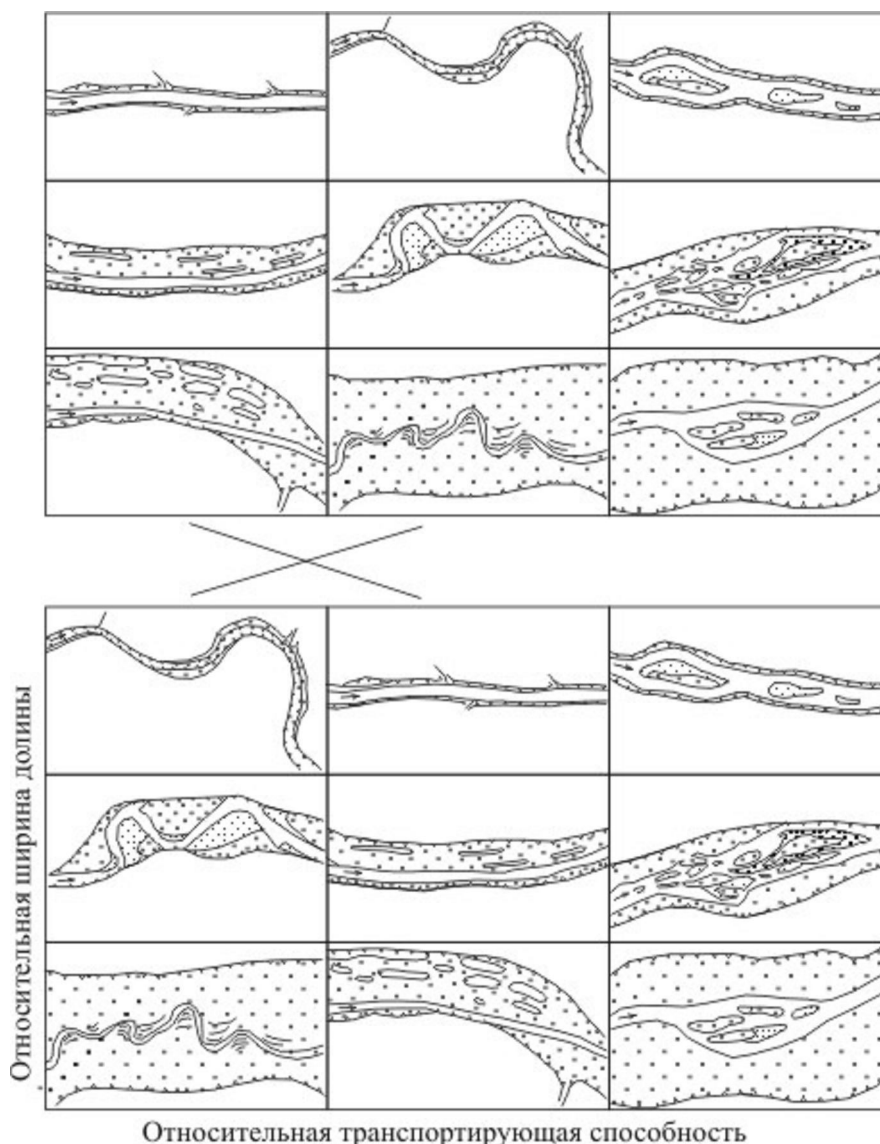


Рис. 15. Двухфакторная классификация типов русловых процессов Р.С. Чалова.

Вверху – в порядке, предложенном Р.С. Чаловым, внизу – в порядке, соответствующем указанным определяющим руслоформирующим критериям.

Из рис. 15 (нижний ряд) видно, что в широких долинах могут существовать и прямые, и извилистые, и многорукавные русла.

Классификация Н.С. Знаменской. Н.С. Знаменская [28] использовала для построения своей двухфакторной классификации типы русловых процессов, используемые в школе ГГИ [47].

Дополнительно она подразделила типы русловых процессов на пассивные и активные процессы. К активным типам ею отнесены осерёдковой, ленточногрядовой и побочневый типы. (Правда, в последней работе [94] из пассивных типов был убран

осерёдковый тип). Эти активные типы русловых процессов, по мнению Н.С. Знаменской, образуются после катастрофических деформаций.

Все остальные пассивные типы образуются в унаследованных границах, оставшихся после развития реки по активному типу (рис. 16).

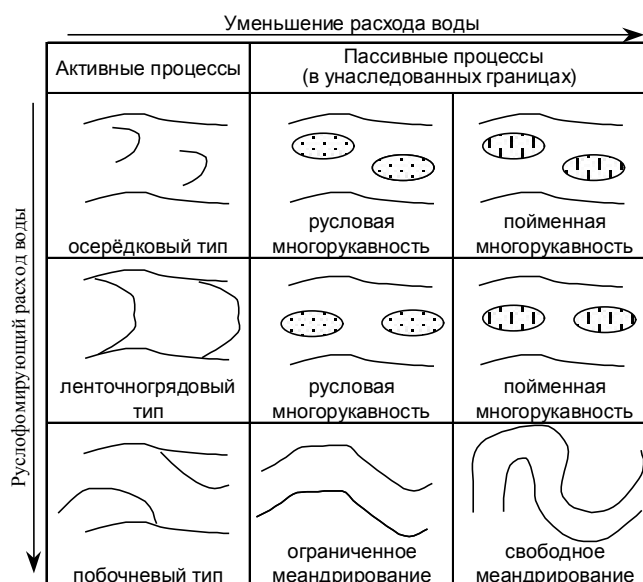


Рис. 16. Упрощённая схема типизации руслового процесса Н.С. Знаменской.

Например, в соответствии с классификацией Н.С. Знаменской, из осерёдкового типа получается русловая многоруканность, а из побочной – меандрирование.

Согласно Н.С. Знаменской, смена активных типов связана с изменением Q_m/Q (отношение расхода донных наносов к расходу воды). Это соотношение представляет собой, таким образом, критерий перехода от осерёдкового процесса к побочному, далее к ленточно-грядовому и гладкой фазе движения наносов, приводящей к блужданию русла.

Для пассивных типов русловых процессов одного критерия оказывается недостаточно. В этом случае существенную роль играют «ограничивающие условия» в виде тех унаследованных форм русла, которые сохранились в нём от более интенсивного активного режима. При одинаковом отношении Q_m/Q в зависимости от того, в каких первоначально сформированных границах происходит этот процесс, будет проявляться либо тот, либо иной вид меандрирования, пойменная или русловая многоруканность [28, с. 189].

Область пассивных русловых процессов на графике Н.С. Знаменской оказалась областью, где перемешаны без разделения все пассивные русловые процессы. Это означает, что гидравлически нет принципиальной разницы в условиях транспорта донных наносов для пассивных русловых процессов – их индивидуальность определяется заданными (унаследованными) границами и условиями повторяемости тех или иных гидрологических ситуаций.

Для разделения этих типов требуется введение дополнительных, не гидравлических критериев: унаследованности русловых форм и гидрологической изменчивости жидкого и твёрдого стоков.

Классификация М.С. Карасева и Б.И. Гарцмана. М.С. Карасев и Б.И. Гарцман [32] предложили последовательность типов русловых процессов в виде *«инвариантно-генетической последовательности развития системы “водный поток – русло”»*. В ней типы представлены в одномерной последовательности, но совместно учитываются: 1) стадии развития речной долины, 2) условия развития русловых деформаций и 3) поймообразующих процессов.

Таблица 3.

Двухфакторная таблица типов русловых процессов
по классификации М.С. Карасева и Б.И. Гарцмана.

Условия развития поймообразующих процессов	Условия развития русловых деформаций	
	Ограниченные	Свободные
Беспойменная долина	1а. Однорукавное горное русло 1б. Врезанные излучины	
Ограниченные		2. Осередковый 3. Побочневый
Литологически ограниченные	4. Ограниченное меандрирование	5. Незавершенное меандрирование 6. Русловая многорукавность
Свободные		7. Пойменная многорукавность 8. Свободное меандрирование 9. Свободное меандрирование в извилистом поясе меандрирования

Автор настоящей диссертации предложил представить линейную цепочку в виде двухфакторной таблицы (табл. 3), по одной оси которой отложены условия поймообразующих процессов, а по второй – условия развития русловых деформаций. Интересно, что в таком представлении в таблице образовались незаполненные ячейки.

Необходимо отметить, что существующие на сегодняшний момент в русловедении двухфакторные классификации русловых процессов являются значительным шагом вперёд по сравнению с предыдущими инструментами изучения.

Рассмотренные классификации заметно различаются между собой. Они отражают сочетание разных руслоформирующих факторов. Каждая из них верна в поле использованных координат.

Выводы по существующим многофакторным классификациям

Их логичное объединение должно привести к переходу на дальнейшие этапы развития русловедения – к нелинейным динамическим классификациям. В настоящее время наиболее актуально построение набора многофакторных классификаций по главным определяющим факторам.

Во второй главе было показано, что одним из главных руслоформирующих факторов является относительная транспортирующая способность потока. Здесь, далее в этой главе, мы объединяем этот руслоформирующий фактор с другим главным руслоформирующим фактором – относительным гидролого-геоморфологическим фактором образования пойменных проток – и получаем соответствующую двухфакторную классификацию типов русловых процессов.

3.4 Предлагаемая двухфакторная классификация русловых процессов

Здесь описывается двухфакторная классификация русловых процессов, которая является вторым защищаемым положением в настоящей диссертации.

Принципом построения классификации является метод «морфологического ящика природы», описанный выше.

Одной определяющей осью является относительная транспортирующая способность потока (глава 2).

Второй определяющей осью является относительный гидролого-геоморфологический фактор образования пойменных проток. Его следует определить особо.

«Гидролого-геоморфологический фактор образования пойменных проток» представляет собой небольшую модификацию известного в русловедении фактора – *относительной затопляемости поймы*.

«Относительная затопляемость поймы» – это краткое название фактора, который имеет более длинное, но более точное название – отношение отметки максимума руслоформирующего расхода к отметке поймы [56, 59].

Определение руслоформирующего расхода воды было дано Н.И. Маккавеевым [56]. Затем Р.С. Чалов ввёл понятие «линия поймы» и указал, что к разработке пойменных проток приводит превышение отметкой руслоформирующего расхода уровня поймы [59].

Интересно отметить, что в дальнейшем было предложено этим фактором объяснять другие типы русловых процессов, и даже русловой многорукавности [1,2].

В то же время, относительная затопляемость поймы отражает только часть факторов, отвечающих за формирование пойменных проток. Учитывается, главным образом, лишь гидрологическая часть факторов.

Поэтому целесообразно ввести в этот руслоформирующий критерий кроме характеристики затопления поймы также ещё и комплекс характеристик подстилающей поверхности, отвечающих возможности промыва проток.

Таким образом, степень затопления поймы, отнесённая к противодействующему свойству подстилающей поверхности превратится в гидролого-геоморфологический фактор образования пойменных проток.

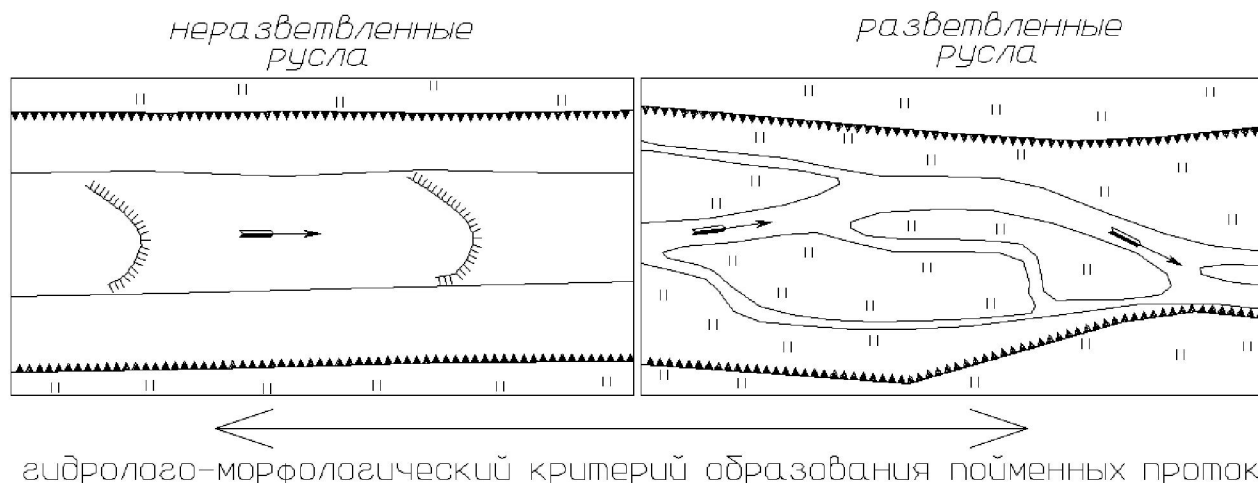


Рис. 17. Порядок изменения типов русловых процессов при изменении гидролого-морфологического критерия образования пойменных проток

Этот критерий будет отвечать следующему порядку типов русел: неразветвлённые – разветвлённые (рис. 17).

Итак, первый руслоформирующий критерий – относительная транспортирующая способность потока, второй – относительный гидролого-морфологический фактор образования пойменных проток.

Целесообразно рассмотреть совместно два эти руслоформирующих фактора. Для этого все типы русловых процессов расположены в поле координат двух осей и получена таблица, в которой по горизонтали отложена степень затопления поймы, по вертикали – относительная транспортирующая способность потока (рис. 18).

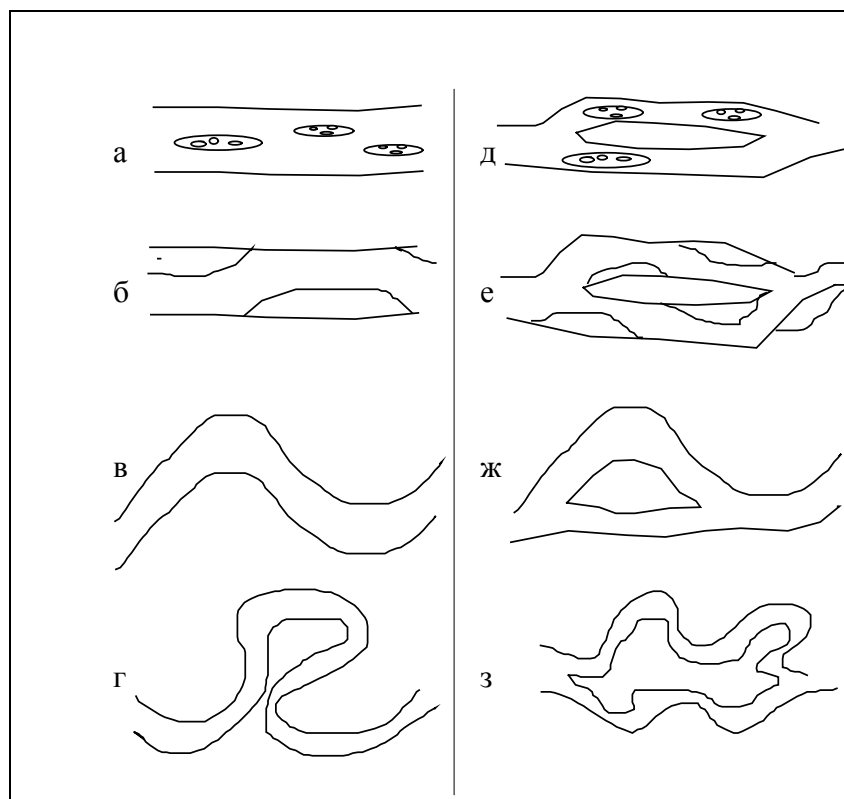


Рис. 18. Двухфакторная классификация русловых процессов широкопойменных рек, представленная в виде таблицы по определяющим руслоформирующим факторам.

В первом столбце расположены неразветвленные русла, формируемые при малой затопляемости поймы: а – осередковый тип, б – побочный тип, в – ограниченное меандрирование, г – свободное меандрирование.

Во втором столбце расположены разветвленные русла, формируемые при большой затопляемости поймы: д – осередки в разветвленном русле, е – побочный тип в разветвленном русле, ж – прорванное (незавершенное) меандрирование, з – меандрирование рукавов разветвленного русла. Увеличение относительной транспортирующей способности потока происходит сверху вниз.

Таким образом, для равнинных широкопойменных рек можно выделить два фактора руслоформирования, каждый из которых независим и по-своему определяет тип русловых процессов [38, 39].

Первый из них – относительная транспортирующая способность потока – увеличивается при переходе по такой цепочке типов русловых процессов: русловая многорукавность, ленточно-грядовый тип, побочный процесс, ограниченное меандрирование, свободное меандрирование.

Второй фактор – гидролого-геоморфологический относительный параметр образования пойменных протоков. Для руслоформирующего уровня, меньшего, чем отметка поймы, характерна вышеперечисленная цепочка типов русловых процессов,

(в неразветвленном русле), а для пика, большего отметки поймы, – те же типы русловых процессов, но в разветвлённом русле.

Второй столбец начинается типом, который соответствует сочетанию пойменной и русловой многорукавности. По транспортирующей способности он соответствует русловой многорукавности (также перегружен наносами), а по условиям образования протоков – пойменной. Такой тип русловых процессов наблюдается на р. Амур у Хабаровска.

Такой тип русловых процессов, включающий объединение ранее выделенных типов наблюдается на р. Чулым. На юге Красноярского края р. Чулым развивается по типу пойменной многорукавности, но в главном русле имеется 15 излучин с элементами свободного и незавершённого меандрирования [6, с. 25].

В верхнем течении р. Поноя отмечено разветвление реки на рукава с меандрированием на них. Типичным примером реки с русловой и пойменной многорукавностью служит среднее и нижнее течение Оби. Пойма её, достигающая в ширину нескольких десятков километров, расчленяется многочисленными протоками и рукавами на сотни островов разных размеров. Среди этих рукавов выделяется один (собственно Обь, или Большая Обь выше г. Салехарда), сосредоточивающий большую часть общего расхода и в свою очередь также разделяющийся на рукава [58, с. 119].

Рассматриваемая двухфакторная схема типов русловых процессов (рис. 18) даёт возможность прогнозировать изменение типа при изменении руслоформирующих факторов.

Например, при перегрузке потока наносами согласно рисунку можно прогнозировать изменение руслового процесса и появление островов. Такой прогноз подтверждают изменения, отмеченные на р. Зее, которая в низовье, подойдя правым берегом к Белым горам из песчаника, стала их размывать. Поток перегрузился наносами. Тип процесса на десятках километров изменился, извилистое русло выпрямилось, и в нем появилось много островов. При увеличении же транспортирующей способности согласно рисунку можно прогнозировать противоположный процесс (размыв берегов, появление извилистости реки), отмеченный, например, на р. Миссисипи при широкомасштабных спрямлениях излучин.

При уровнях руслоформирующего расхода выше отметки поймы согласно рисунку можно прогнозировать улучшение условий для образования пойменных проток (например, р. Тулва в низовье в результате подпора от Воткинского гидроузла изменила свой тип русловых процессов со свободного меандрирования на разветвленное русло (по типу пойменной многорукавности)). И, наоборот, при снижении руслоформирующего уровня и отмирании второстепенных проток можно прогнозировать постепенное формирование неразветвленного русла.

3.5 Другие возможные многофакторные классификации

Наряду с предложенной двухфакторной классификацией следует создать разные другие двухфакторные классификации. Это обусловлено тем, что природа многофакторна, и следует учитывать разнообразные другие руслоформирующие факторы.

Поэтому в идеале необходимо создавать единую многомерную классификацию по возможно большему количеству учитываемых факторов. Двухфакторные классификации являются проекциями такого многомерного поля определяющих факторов на пару выбранных критериев.

Классификация Р.С. Чалова. Существующие двухфакторные классификации показывают классификации по некоторым выбранным критериям. Например, в классификации Р.С. Чалова (рис. 15) вертикальная ось представляет собой ограничивающее условие – отношение ширины поймы к ширине русла. На горизонтальной оси расположены извилистые, прямые неразветвленные русла и русловая многорукавность. На рис. 18 показано, что определяющий фактор для такого ряда типов – относительная транспортирующая способность потока. Следовательно, в классификации Р.С. Чалова типы расположены по двум руслоформирующим факторам: 1 – относительная транспортирующая способность и 2 – ограничивающие условия.

Следующий шаг – объединение не двух, а сразу трех руслоформирующих факторов: относительной транспортирующей способности; относительного затопления поймы; относительной ширины поймы. На плоскости затруднительно отобразить получающийся куб типов русловых процессов по этим трем руслоформирующим факторам.

На рис. 18 представлена двухфакторная таблица – проекция трехмерного куба руслоформирующих факторов на две оси: относительную транспортирующую способность по вертикали и относительное затопление поймы по горизонтали; а двухфакторная таблица Р.С. Чалова (рис. 15) – это проекция того же трехмерного куба на плоскость с двумя другими руслоформирующими факторами: относительная транспортирующая способность и относительная ширина поймы.

Рассмотрим другие возможные двухфакторные классификации.

Двухфакторная классификация меандрирования. Обычно меандрирование разделяется на ограниченное и свободное. На рис. 18 показано, что ограниченное и свободное меандрирование различаются не по ограничивающему фактору, а по величине относительной транспортирующей способности потока.

Поэтому, подчеркивая различное происхождение типов меандрирования, следовало бы назвать их не по степени ограниченности: «ограниченное» и «свободное», а по степени развитости: «развитое» и «неразвитое» меандрирование.

В то же время, деление по степени ограничивающего фактора также имеет место. Поэтому дополнительно необходимо подразделять разные виды меандрирования по степени проявления ограничивающих условий, т.е. те же «свободное» и «ограниченное» меандрирование.

В случае большой относительной транспортирующей способности потока реке следовало бы развиваться по типу свободного меандрирования. Но в узкой долине из-за ограничения ширины пояса меандрирования русло может развиваться только по типу ограниченного меандрирования. Может быть противоположная ситуация – в случае меньшего превышения транспортирующей способности по сравнению с поступлением наносов река будет развиваться по схеме ограниченного меандрирования даже в широкой пойме с достаточным пространством для размещения развитых излучин свободного меандрирования.

Это заключение позволяет положительно ответить на вопросы: могут ли существовать ограниченное меандрирование без ограничивающих условий и прямое русло без ограничивающих факторов (рис. 19)?

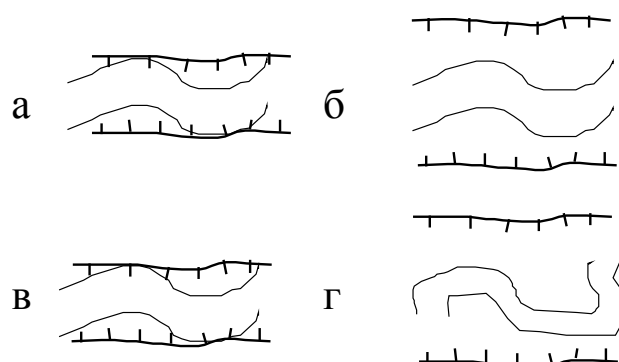


Рис. 19. Виды меандрирования в зависимости от определяющих факторов.

При малой относительной транспортирующей способности: а – «неразвитое» меандрирование в узкой долине, на узкой пойме (которое можно назвать «ограниченным» (ограничение есть, но не оно определяет тип)), б – «неразвитое» меандрирование в широкой долине, на широкой пойме (ничем не ограничено).

При большой относительной транспортирующей способности: в – «потенциально свободное» меандрирование в узкой долине (ограниченное меандрирование (ограничение есть и действует)), г – свободное («развитое») меандрирование в широкой долине (это настоящее свободное меандрирование).

Таким образом, двух терминов («ограниченное» и «свободное») для характеристики меандрирования как процесса недостаточно. В гидроморфологической теории [47] подразумеваются только варианты, соответствующие рис. 19в и 19г. Можно предположить, что следует использовать двойную классификацию: по степени ограничения (ограниченное или свободное меандрирование) и по генетической причине («развитое и неразвитое»).

Вывод: ограничивающие условия – это третий независимый руслоформирующий фактор. Одновременно нельзя ограничиваться только отношением ширины поймы к ширине русла как единственным определяющим фактором для всех типов руслового процесса. В широких долинах на широких поймах могут быть не только извилистые реки, но и прямые, и разветвленные.

3.6 Выводы об объединении руслоформирующих факторов и о многофакторных классификациях

3.6.1. Явления природы многофакторны. Из огромного многообразия влияющих факторов для описания явления можно выделить несколько основных факторов.

Факторы делятся на активные движущие причины явления и ограничивающие условия протекания этого явления. Одно и то же явление может находиться в разных наборах явлений по разным определяющим осям.

3.6.2. Эффективно использовать многофакторные типизации, объединение альтернативных гипотез, метод турнирной таблицы, морфологический ящик природы.

Многофакторность позволяет рассматривать совместно разные причинные оси. Можно использовать двухфакторные таблицы, трёхфакторные «кубы» и т.д.

3.6.3. В русловедении существуют многофакторные типизации, отражающие совместное влияние:

- относительной ширины долины и относительной транспортирующей способности потока (Р.С. Чалов),
- геологических и геоморфологических факторов (М.С. Карасев и Б.И. Гарцман),
- разновидностей активных типов русловых процессов и редукции стока воды (Н.С. Знаменская).

Важно отметить, что большинство используемых руслоформирующих факторов (осей) являются отношениями. Это отражает баланс сил, формирующих при разном соотношении различные морфологические проявления.

3.6.4. В настоящей работе предложена двухфакторная классификация русловых процессов по относительной транспортирующей способности и относительному гидролого-геоморфологическому критерию образования пойменных проток (относительной затопляемости поймы).

Она представлена в виде таблицы, по одной из сторон которой отложен первый фактор, по другой – второй.

Первый из них – относительная транспортирующая способность потока – увеличивается при переходе по такой цепочке типов русловых процессов: русловая многорукавность, ленточно-грядовый тип, побочневый процесс, ограниченное меандрирование, свободное меандрирование.

Второй фактор – гидролого-геоморфологический относительный параметр образования пойменных проток. Для руслоформирующего уровня, меньшего, чем отметка поймы, характерна вышеперечисленная цепочка типов русловых процессов,

(в неразветвленном русле), а для пика большего отметки поймы – те же типы руслового процесса, только в разветвлённом русле.

3.6.5. В предлагаемой двухфакторной классификации используется расширенный набор типов русловых процессов (по сравнению с нормативными документами).

3.6.6. Предлагаемая двухфакторная классификация даёт возможность прогнозировать смену типа русловых процессов при изменении соответствующих руслоформирующих факторов.

3.6.7. Предложен способ построения других двухфакторных классификаций.

3.6.8. Дополнительно приведена двухфакторная классификация меандрирования.

3.6.9. Дальнейшее развитие русловедения должно привести к созданию и синтезу многих двухфакторных типизаций в целях более глубокого понимания сущности русловых процессов и причин образования различных типов русловых процессов.

Заключение

В работе обосновывается новая двухфакторная классификация русловых процессов.

Кроме этого, вторым защищаемым положением является выделение нового руслоформирующего фактора – соотношения между транспортирующей способностью потока и поступлением наносов.

Это соотношение называется относительной транспортирующей способностью потока.

Относительная транспортирующая способность потока является одним из критериев при построении предлагаемой двухфакторной классификацией.

Другим критерием этой классификации является относительная затопляемость поймы (комплексный гидролого-геоморфологический фактор, учитывающий степень, продолжительность затопления и состояние поймы). Этот критерий практически соответствует руслоформирующему расходу воды, в понимании Н.И. Маккавеева.

Относительная транспортирующая способность потока.

Среди факторов, оказывающих влияние на образование и изменение типов русловых процессов равнинных рек рассмотрена *относительная транспортирующая способность потока* – отношение транспортирующей способности потока к поступлению наносов на рассматриваемый участок реки.

Доказывается необходимость учёта относительной транспортирующей способности на системном уровне «поток–русло», как одной из причин образования меандрирующих и разветвлённых по типу русловой многорукавности русел.

При перегрузке реки наносами тип русловых процессов изменяется от меандрирования к русловой многорукавности (через промежуточные типы), а при недогрузке наносами, наоборот, – к меандрированию.

Многочисленные примеры других относительных параметров в русловедении и других науках, аналогии с другими извилистыми и разрывными явлениями приводят к выводу о критериальности относительных параметров и возможном применении относительной транспортирующей способности как фактора, отвечающего за изменение типа русловых процессов.

Двухфакторная классификация русловых процессов.

В настоящей работе предложена двухфакторная классификация русловых процессов по относительной транспортирующей способности и относительному гидролого-геоморфологическому критерию образования пойменных проток (относительной затопляемости поймы).

Она представлена в виде таблицы, по одной из сторон которой отложен первый фактор, по другой – второй.

Первый из них – относительная транспортирующая способность потока – увеличивается при переходе по такой цепочке типов русловых процессов: русловая многорукавность, ленточно-грядовый тип, побочневый процесс, ограниченное меандрирование, свободное меандрирование.

Второй фактор – гидролого-геоморфологический относительный параметр образования пойменных проток. Для руслоформирующего уровня, меньшего, чем отметка поймы, характерна вышеперечисленная цепочка типов русловых процессов, (в неразветвленном русле), а для пика большего отметки поймы – те же типы руслового процесса, только в разветвлённом русле.

В предлагаемой двухфакторной классификации используется расширенный набор типов русловых процессов (по сравнению с нормативными документами).

Предлагаемая двухфакторная классификация даёт возможность прогнозировать смену типа русловых процессов при изменении соответствующих руслоформирующих факторов.

Алгоритм прогноза русловых деформаций равнинных рек.

На основании изложенных предпосылок о влиянии относительной транспортирующей способности потока на изменение типа русловых процессов получаем следующий алгоритм прогноза смены типа русловых процессов:

I. Относительная транспортирующая способность.

- Изменится ли поступление наносов на рассматриваемый участок?

Причин этого могут быть десятки, например, сбросы отвалов грунта, сжатие русла подмостовым переходом, подход реки к легкоразмываемому берегу, разработка карьера, и т.д.

- Изменится ли транспортирующая способность потока?

Также масса причин, например, спрямление излучин.

- Как в связи с этим изменится соотношение между поступающих количеством наносов и транспортирующей способностью потока?

Увеличение относительной транспортирующей способности приведёт к изменению типа в сторону извилистых русел, уменьшение – в сторону широких прямых русел с внутрирусловыми островами.

II. Относительная затопляемость поймы.

- Изменится ли уровень руслоформирующего расхода?
- Изменится ли отметка поймы?

Как в связи с этим изменится взаимное положение отметки руслоформирующего уровня по отношению к отметке поймы?

Превышение отметкой руслоформирующего уровня отметки поймы создаст условия для разработки пойменных протоков, снижение его ниже отметки поймы не способствует этому.

Перспективы дальнейших исследований.

Дальнейшее развитие русловедения должно привести к созданию и объединению многих двухфакторных типизаций в целях более глубокого понимания сущности русловых процессов и причин образования различных типов русловых процессов.

Автор диссертации продолжает заниматься изучением причин формирования различных типов русловых процессов и двигается далее по следующему плану:

1. Выделение географических зон по различным сочетаниям главных и второстепенных руслоформирующих факторов.
2. Выработка многоступенчатой системы наименований типов русловых процессов по расширенной многофакторной типизации.
3. Подборка иллюстраций и проверка правомерности применения разработанных рекомендаций по прогнозу изменений типов русловых процессов на реальных примерах.
4. Разработка рекомендаций по прогнозу смены типов русловых процессов в зависимости от изменения определяющих руслоформирующих факторов.

5. Разработка аналитической экспертной системы по прогнозу изменений типов речных русел в зависимости от возможных изменений естественных и антропогенных руслоформирующих факторов.

6. Выработка предложений по методам регулирования русел.

Список литературы

1. Алабян А.М. Динамика потока и русла равнинных рек, разветвлённых на рукава. Автореф. дисс. канд. геогр. наук. М.: МГУ. 1991. 20 с.
2. Алабян А.М. Типы русел равнинных рек и факторы их формирования // Геоморфология. 1992. № 4. С. 37-42.
3. Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: МГУ. 1998, 202 с.
4. Алексеевский Н.И., Гайкович А.Б. К расчету стока влекомых наносов на неизученных реках в период межени // Метеорология и гидрология. 1987. № 8. С. 96-102.
5. Алексеевский Н.И., Чалов Р.С. Движение наносов и русловые процессы. М.: МГУ. 1997. 170 с.
6. Ангельгольм Н.К. Исследование закономерностей развития русла р. Чулыма и их практическое использование // Труды ГГИ. Вып. 301. 1985. С. 25-30.
7. Андреев О.В., Ярославцев И.А. Вопросы учёта руслового процесса при проектировании мостовых переходов. М.: Трансжелдориздат, 1953, 40 с.
8. Андреев О.В., Ярославцев И.А. Морфометрические зависимости для расчётов размеров речных русел и прогноз русловых изменений при транспортном гидротехническом строительстве // Труды III Всесоюзного гидрологического съезда. Том V. Секция гидродинамики и русловых процессов. Л.: Гидрометеорологическое издательство. 1960. С. 270-282.
9. Арманд Д.Л. Наука о ландшафте. М.: 1975.
10. Банасевич Н.Н., Зонн С.В., Казмина Т.И., Маккавеев Н.И. Процессы засоления и рассоления почв в связи с грунтовыми водами, их засолением и влиянием Каспийского моря (по материалам исследований в дельте р. Терека) // Теоретические и прикладные вопросы почвоведения и русловых процессов. Избранные труды. М.: Географический факультет МГУ. 2003. С. 17-170.
11. Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. Л.: Гидрометеоздат. 1988. 456 с.
12. Беркович К.М. Влияние русловых карьеров и гидроузлов на судоходные условия рек // Наука и техника на речном транспорте. Инф. сборник. М. 2000. С. 39-46.
13. Беркович К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС. 2001.
14. Болдаков Е.В., Андреев О.В. Переходы через водотоки. М.: НТИ Автотранспортной лит-ры. 1956. 406 с.
15. Великанов М.А. Гидрология суши. Л.: Гидрометеоздат. 1948. 550 с.
16. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. Т. II. Наносы и русло. М.: Гостехиздат. 1955. 323 с.
17. Великанов М.А. Образование речных излучин // Изв. АН СССР. Серия геолог. 1950. № 3.
18. Вильчик В.М. Особенности руслового процесса р. Зеи и пути коренного улучшения судоходных условий в районе «Белых гор» // Тезисы докладов Третьей Всесоюзной конференции «Динамика и термика водохранилищ и окраинных морей». Т. 1. М. 1989. С. 135-136.
19. Виноградов В.А., Клавен А.Б., Никитин В.Н., Турутина Т.В. Неравновесные процессы в формировании русел рек гидроузлов / Труды Академии проблем водохозяйственных наук. Вып. 9. Проблемы русловедения. М. 2003. с. 55-68.

20. Генезис рельефа / Г.Ф. Уфимцев, Д.А. Тимофеев, Ю.Г. Симонов и др.
Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН. 1998. 176 с.
21. Горский Н.Н. Тайны океана. М.: Наука. 1968. 271 с.
22. Гостунский А.Н. Взвешивающая способность // Изв. АН УзССР. 1954. № 3. С. 59-68.
23. Гринвальд Д.И., Никора В.А., Мозгунов Г.И. Натурные исследования гидродинамических полей взвесенесущих русловых потоков/Труды V Всесоюзного гидрол. съезда. Т. 10. Кн. 2. Л.: Гидрометеиздат. 1988. С. 22-30.
24. Гришанин К.В. Гидравлическое сопротивление естественных русел. СПб.: Гидрометеиздат. 1992. 184 с.
25. Замарин Е.А. Транспортирующая способность и допускаемые скорости течения в каналах. М.-Л.: Госстройиздат. 1951.
26. Замышляев В.И. Математическое моделирование плановых переформирований русел меандрирующих рек: Автореф. дис. канд. техн. наук. Л. ГТИ. 1983.
27. Замышляев В.И. О причинах меандрирования рек (обзор зарубежных авторов) / Вопросы гидрологии суши. Л., Гидрометеиздат, 1978, с. 138-141.
28. Знаменская Н.С. Гидравлическое моделирование русловых процессов. Л.: Гидрометеиздат. 1992. 240 с.
29. Знаменская Н.С. Единые закономерности формирования речных русел. СПб.: НИИХ СПбГУ. 2002. 61 с.
30. Карасев И.Ф., Виноградов В.Л., Антроповский В.И. Учёт стока и определение расходов воды на ГЭС и гидроузлах // Методы изучения гидрологического режима водных объектов. Л.: Гидрометеиздат. 1982.
31. Карасев И.Ф., Коваленко В.В. Стохастические методы речной гидравлики и гидрометрии. СПб. 1992. 208 с.
32. Карасев М.С., Гарцман Б.И. Прогноз антропогенной динамики русловых процессов малых и средних рек Приморского края в условиях хозяйственного освоения их долин. Проект методического пособия. Владивосток: Дальнаука. 2002. 48 с.
33. Караушев А.В. Проблемы динамики естественных водных потоков. Л.: Гидрометеиздат. 1960. 392 с.
34. Кафтан А.Н., Кузнец А.Я., Онищук В.В. Закономерности русловых процессов рек Украинских Карпат и их практические приложения // Тезисы докладов V Всесоюзного гидролог. съезда. Секция русловых процессов и наносов. Л.: Гидрометеиздат. 1986. С. 47-50.
35. Клавен А.Б. Структура турбулентности речных потоков и методические основы их моделирования на гидравлических деформируемых моделях. Дисс. в виде научного доклада ... доктора техн. наук. СПб. 1996. 42 с.
36. Кондратьев А.Н. Извилистые формы рельефа и разность – причина их образования // Морфология рельефа. Материалы Иркутского геоморфологического семинара, Чтений памяти Н.А. Флоренсова. Иркутск. 1999. С. 47-48.
37. Кондратьев А.Н. Морфологический ящик природы // Конференция МА ТРИЗ. Петрозаводск. 2003.
38. Кондратьев А.Н. О гипотезах и причинах формирования русел // Водные ресурсы, 2001, Т. 28, № 5, С. 628-630.

39. Кондратьев А.Н. Объединение альтернативных гипотез на формирование русел // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей. V конференция. Труды. М. 1999. С. 312-315.
40. Кондратьев А.Н. Причина образования извилистости: меандрирование рек и других природных потоков // Известия РАН. Серия географическая. 2000. № 4. С. 42-44.
41. Кондратьев А.Н. Соотношение транспортирующей способности потока и стока наносов как условие формирования русел рек разных типов // Геоморфология. 1999. № 3. С. 14-18.
42. Кондратьев Н.Е. Дискретность русловых процессов/Труды ГГИ. Л., Гидрометеиздат, 1985, Вып. 301, с. 3-19.
43. Кондратьев Н.Е. Русловые деформации в меандрирующих реках // Труды ГГИ. Вып. 44(98). 1954.
44. Кондратьев Н.Е. Форма русла и форма перемещения наносов // Труды ГГИ. Вып. 40(94). 1953. С. 44-65.
45. Кондратьев Н.Е., Ляпин А.Н., Попов И.В., Пиньковский С.И., Федоров Н.Н. Якунин И.И. Русловой процесс. Л.: Гидрометеиздат. 1959. 372 с.
46. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Сنيщенко Б.Ф. Теория и методы расчета русловых процессов // Генеральные доклады IV Всесоюзного гидрологического съезда. Л.: Гидрометеиздат. 1975. С. 158-175.
47. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снищенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат. 1982. 272 с.
48. Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек. Л.: Гидрометеиздат. 1979. 200 с.
49. Куколевский Г.А. Гидравлично-вероятностные характеристики русловых процессов // Тезисы докладов V Всесоюзного гидролог. съезда. Секция русловых процессов и наносов. Л.: Гидрометеиздат. 1986. С. 32-34.
50. Курдюмов Л.Д. К вопросу теории эрозионно-аккумулятивных процессов // Динамика и термика рек. М.: Стройиздат. 1973. С. 282-288.
51. Лапшенков В.С. Классификация речных русел // Тезисы докладов V Всесоюзного гидролог. съезда. Секция русловых процессов и наносов. Л.: Гидрометеиздат. 1986. С. 34-35.
52. Лапшенков В.С. Русловая гидротехника (практическое пособие). Новочеркасск. НГМА, 1999, 408 с.
53. Лихачева Л.А. Интенсивность и главные факторы прогноза русловых прогнозов русловых деформаций на юге Дальнего Востока / Тезисы докладов V Всесоюзного гидролог. съезда. Секция русловых процессов и наносов. Л.: Гидрометеиздат. 1986. С. 52-53.
54. Лохтин В.М. О механизме речного русла. СПб. 1897. 80 с.
55. Ляпин А.Н. О возникновении извилистости русел // Труды ГГИ. вып. 56(110). 1956. С. 103-117.
56. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в её бассейне. М.: АН СССР. 1955. 346 с.
57. Маккавеев Н.И. Сток и русловые процессы: Тексты лекций для геоморфологов. М.: МГУ. 1971. 115 с.
58. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Географические закономерности руслового режима рек СССР // Динамика и термика рек и водохранилищ. М.: Наука. 1984. С. 110-123.
59. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: МГУ. 1986. 264 с.

60. Матвеев Б.В. Морфология и геолого-геоморфологические факторы развития врезанных и свободных излучин. Автореф. дисс. канд. геогр. наук. М.: МГУ. 1985. 21 с.
61. Михайлова Н.А. Перенос твёрдых частиц турбулентными потоками воды. Л.: Гидрометеиздат. 1966. 234 с.
62. Михайлова Н.А., Шарашкина Н.С. О моделировании русловых процессов // Движение наносов в открытых руслах. М.: Наука. 1970. С. 15-18.
63. Обручев В.А. Основы геологии. М.-Л.: Госгеолздат. 1947. 327 с.
64. Пейнтер Р.Б. Речные наносы // Грани гидрологии. Л.: Гидрометеиздат. 1980. С. 195-212.
65. Поздняков Ш.Р., Романовский В.В. Исследование и расчёт расхода влекомых наносов горных рек // Труды V Всесоюзного гидрол. съезда. Т. 10. Кн. 2. Л.: Гидрометеиздат. 1988. С. 54-61.
66. Поздняков Ш.Р., Романовский В.В. Методы измерения транспорта влекомых наносов // Труды ГГИ. Вып. 297. 1983. С. 55-62.
67. Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство (гидролого-морфологическая теория руслового процесса и ее применение). Л.: Гидрометеиздат. 1965. 328 с.
68. Попов И.В. О формах перемещения речных излучин // Труды ГГИ. Вып. 56 (110). 1956. С. 36-57.
69. Прокачева В.Г., Сنيщенко Д.В., Усачев В.Ф. Дистанционные методы гидрологического изучения зоны БАМа. Л.: Гидрометеиздат. 1982. 224 с.
70. Работа водных потоков. Под ред. Р.С. Чалова. М.: Изд-во МГУ, 1987, 196 с.
71. Рекомендации по учету руслового процесса при проектировании ЛЭП. Л., Гидрометеиздат, 1973. 180 с.
72. Ржаницын Н.А. Закономерности строения речной сети. Л.: Гидрометеиздат. 1960. 238 с.
73. Ржаницын Н.А. Основы теории руслоформирующих процессов // Динамика и термика рек и водохранилищ. М.: Наука. 1984. С. 124-138.
74. Россинский К.И., Кузьмин И.А. Некоторые вопросы прикладной теории формирования речных русел // Проблемы регулирования речного стока. Вып. 1, М.-Л.: АН СССР. 1947. С. 88-130.
75. Россинский К.И., Кузьмин И.А. Речное русло // Гл. 2 в кн.: Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы речной гидротехники. М.-Л.: АН СССР. 1950. С. 52-97.
76. Руководство по изысканиям и анализу руслового процесса на затруднительных участках свободных рек. М.: Транспорт. 1981. 36 с.
77. Руководство по проектированию коренного улучшения судоходных условий на затруднительных участках свободных рек. Л.: Транспорт. 1974. 309 с.
78. Русловой режим рек Северной Евразии (в пределах бывшего СССР). Учеб. пособие. Под редакцией Р.С. Чалова. М.: МГУ. 1994. 336 с.
79. Сидорчук А.Ю. Структура рельефа речного русла. СПб.: Гидрометеиздат. 1992. 127 с.
80. Снищенко Б.Ф. Связь типов русел с формами речных долин // Геоморфология. 1979. № 1. С. 18-25.
81. Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. Т. 10. Кн. 2. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 400 с.

82. Факторович М.Э. Схематизация процессов руслоформирования и развитие методики расчета русловых трансформаций // Движение наносов в открытых руслах. М.: Наука. 1970. С. 32-37.
83. Федоров Н.Н. Экспериментальные исследования процессов меандрирования // Труды ГГИ. Вып. 44(98). 1954.
84. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: МГУ. 1979. 232 с.
85. Чалов Р.С. Общее и географическое русловедение. М.: МГУ. 1997. 112 с.
86. Чалов Р.С. Принципы типизации, морфология и деформации русел равнинных рек / Эрозионные и карстовые процессы на территории центра Русской равнины. М.: Моск. филиал ГО СССР, Изд-во АН СССР, 1987, с. 3-26.
87. Чалов Р.С. Типы русловых процессов и принципы морфодинамической классификации речных русел // Геоморфология. 1996. № 1. С. 26-36.
88. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат. 1978. 308 с.
89. Чернов А.В. Геоморфология пойм равнинных рек. М.: МГУ. 1983. 198 с.
90. Шарашкина Н.С. Лабораторные исследования русловых процессов // Проблемы русловых процессов (основные материалы Всесоюзного совещания по проблеме русловых процессов). Л.: Гидрометеиздат. 1953.
91. Шаффернак Ф. Гидрология. Л.-М.: Гидрометеиздат. 1938. 371 с.
92. Dury G.H. Misfit stream: problem in interpretation discharge and distribution // Geol. rev. Vol. 50. 1960. № 2.
93. Knigton D. River channels: environment and processes. N.Y.: Basil Blackwell Ink. 1987.
94. Kondratyev A.N. Distribution of bedload alluviums discharge on width of riverbed at passing mesoform // NATO ARW. Stochastic models of hydrological processes and their applications to problems of environmental preservation. Moscow. 1998. P. 236-238.
95. Leopold L.B., Emmet W.W. Bedload measurements East Fork River // Wyoming National Academy of Science Proceedings, 73 (4), 1965, P. 1000-1004.
96. Leopold L.B., Wolman M.G. River channel patterns: braided, meandering and straight // US Geol. Survey Professional Paper. № 282-B. 1957.
97. Shvidchenko A.B. Incipient motion of streambeds. Ph.D. Dissertation. University of Glasgow. Glasgow. UK. 2000.
98. Yang C.T. On river meanders // J. Hydr. Vol. 13. 1971. № 3. P. 231-253.