

PA1260399

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской революции
и ордена Трудового Красного Знамени Государственный
университет имени М. В. Ломоносова

ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ДЖУХА Иван Георгиевич

УДК 551.482.212(470.12)

Морфология и динамика русел малых рек таежной зоны

(на примере Вологодской области)

11.00.04 — Геоморфология и палеогеография

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва — 1984

Актуальность темы. В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» указано на необходимость улучшения охраны водных источников, в том числе малых рек, от истощения и загрязнения и рационального использования их водных ресурсов. Малые реки являются важнейшим элементом не только гидрографической сети, но и всей географической среды в целом, важным фактором хозяйственного развития многих регионов страны. Многогранная роль малых рек в народном хозяйстве в последние годы вызвала к жизни множество проблем, решение которых требует специального их исследования. В комплексе исследований малых рек изучение русловых процессов занимает особое место. В настоящее время остаются слабо изученными вопросы формирования русел малых рек, что является серьезным пробелом в системе знаний о морфологии и динамике речных русел вообще. Это затрудняет рациональное использование водных ресурсов и пойменных земель на малых реках. Вместе с тем, размеры малых рек зачастую таковы, что при современных технических средствах их не учитывают в качестве серьезных объектов, требующих специальных решений. Это приводит к такому вмешательству в жизнь реки, благодаря которому реки деградируют или перестают выполнять свою полезную роль.

Обычно внимание исследователей привлекали малые реки лесостепной и степной зон, реже лесной, где антропогенная нагрузка привела к серьезным последствиям в их руслоформирующей деятельности. Важность проблемы русловых процессов малых рек таежной зоны, в том числе в Нечерноземной зоне РСФСР, обуславливается тем, что здесь малые реки в большинстве своем находятся пока еще в естественном состоянии. Однако, начавшееся в широких масштабах преобразование Нечерноземья, а также предстоящая переброска части стока северных рек в бассейн р. Волги, весьма существенно скажутся на водных ресурсах малых рек, их режиме и характере русловых преформирований. Уже сейчас, когда перечисленные задачи только начинают осуществляться, проблема малых рек в регионе стоит очень

остро, в том числе в пределах Вологодской области, отличающейся большим разнообразием условий руслоформирования на малых реках. Однако, русловой режим рек области, за исключением р. Сухоны, до сих пор практически не изучался.

Цели и задачи работы. Цель настоящей работы состоит в выявлении закономерностей морфологии и динамики русел малых рек таежной зоны на основе анализа физико-географических и геолого-геоморфологических условий их формирования и определении степени влияния на ход русловых процессов хозяйственной деятельности. Это достигается посредством решения следующих задач:

- оценки природных и хозяйственных факторов, обуславливающих развитие русловых процессов;

- определении основных форм проявления русловых процессов;

- обосновании типизации русел, форм руслового рельефа и их соотношений, взаимосвязей между морфометрическими характеристиками форм разных порядков;

- выявлении особенностей распространения русел разного типа в зависимости от геолого-геоморфологического строения территории и условий прохождения руслоформирующих расходов воды;

- установлении характера, направленности и интенсивности русловых деформаций в разных условиях;

- исследовании пойм малых рек, их распространения и особенностей рельефа поверхности.

Объектом исследований были выбраны малые реки Вологодской области, относящиеся к бассейну р. Сев. Двины, занимающего 70% территории области (центральная и восточная части). Преимущественно исследовались самые крупные из числа малых рек (примерно 4—6 порядка), что определялось техническими причинами.

Реки западной части области, принадлежащие бассейнам Каспийского и Балтийского морей, а также бассейн верхней Унжи в восточной части области в работе не рассматриваются. Высокая заболоченность западной части и большое количество озер обусловили сильную зарегулированность стока; реки этой части формируют свои русла в иных гидрологических и геоморфологических условиях и имеют специфический русловой режим. Кроме того, они здесь в значительной мере изменены благодаря сооружению каналов, водохранилищ и других хозяйственных объектов.

Методика исследований. Решение поставленных задач основывалось на использовании географических принципов изучения

русловых процессов, разработанных Н. И. Маккавеевым и Р. С. Чаловым. Практическая реализация метода произведена в процессе полевых исследований, проводившихся автором в 1977—1982 гг., анализа карт различных масштабов и времени съемки, включая карты XVIII—XIX столетий. Кроме того, использовались различные специальные карты (геологические, ландшафтные, лощманские) и аэрофотоснимки. Обработка ряда морфометрических показателей русел производилась на ЭВМ.

Научная новизна работы. На основании анализа условий руслоформирующей деятельности и форм проявления русловых процессов на малых реках в работе впервые рассмотрены закономерности развития русловых процессов на малых реках таежной зоны (на примере Вологодской области), установлено влияние на них геолого-геоморфологических и физико-географических условий и степени хозяйственной освоенности территории. Дано описание морфологии русел и пойм малых рек, выявлена связь морфологии с динамикой русел, предложена классификация типов русел малых рек региона, проведено районирование Вологодской области по руслоформирующей деятельности рек.

Практическое значение. В связи с постоянно расширяющимся воздействием на природную среду уже сейчас требуются разработки, направленные на рациональное использование малых рек в народном хозяйстве и в рекреационных целях. Предложенная в работе классификация рек по типу русловых деформаций совместно с выявленными региональными закономерностями руслоформирующей деятельности малых рек позволят более обоснованно планировать размещение промышленных и сельскохозяйственных объектов вблизи малых рек, предвидеть и предотвратить негативные последствия хозяйственной деятельности на водосборах и в долинах малых рек.

Апробация. Результаты исследований докладывались на 3-й Всесоюзной научной конференции «Зависимости проявления эрозийных и русловых процессов в различных природных условиях» (Москва, 1981), Всесоюзной научной конференции «Исследования русловых процессов для практики народного хозяйства» (Москва, 1983), Всесоюзной научной конференции «Проблемы охраны природы в Нечерноземной зоне в связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства» (Брянск, 1983); на научном семинаре Проблемной лаборатории эрозии почв и русловых процессов МГУ и др., изложены в II публикациях.

Материалы исследований в ходе работы передавались Вологодскому областному управлению мелнорации и водного хозяйства, проектному институту Вологдагипроводхоз, которые использовали их в практической деятельности.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, доктору географических наук, профессору Р. С. Чалову за помощь и поддержку на всех этапах работы. Автор искренне благодарен также кандидатам географических наук К. М. Берковичу, А. Ю. Сидорчуку, А. В. Чернову, А. А. Зайцеву, Р. В. Лодной за ценные советы, Б. Н. Власову, Б. В. Белому и всему коллективу Проблемной лаборатории эрозии почв и русловых процессов, оказавших большую помощь при написании работы.

Объем работы составляет 130 страниц машинописного текста, в ней содержится 49 рисунков и фотографий, 13 таблиц. Список литературы включает 130 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена понятию «малая река». Точной границы между малой и крупной рекой нет. Большинство авторов (Дрозд, 1981; Нежиховский, 1971; Нарватов, 1956; Субботин, Дыгало, 1981; Доманицкий и др., 1971; Малик, 1981 и др.) для этого используют количественный критерий: длину реки, площадь водосбора, порядок водотока, глубину. Однако, как отмечает С. Л. Вендров (1981), диапазон рек, относимых к малым более широк, чем ограниченный какими-то количественными рамками, и во многих случаях зависит от конкретных природных и социально-экономических условий. С методических позиций классификация малых рек на основе размеров их водосборов и длины в сильной мере искусственна, т. к. задачи использования рек могут быть одинаковыми при площади их водосборов и 2.000 и 3.000 км² и при длине как в 100, так и в 200 км. Как главную отличительную черту малых рек рассматривают К. П. Воскресенский (1956) и И. С. Зайцева (1981) неполное дренирование ими подземных вод. К. П. Воскресенский добавляет также, что сток малых рек может значительно отличаться от зональной величины в данном районе вследствие влияния местных факторов: он может быть как больше, так и меньше ее. Данное положение представляется очень важным, поскольку показывает зависимость малых рек от местных факторов.

Обобщая существующие подходы, под малой равнинной рекой автор понимает постоянный водоток, протекающий в одинаковых природных условиях и характеризующийся повсеместно неизменным гидрологическим режимом; бассейну малой реки свойственно однородное геолого-геоморфологическое строение; в хозяйственном отношении малая река имеет почти исключительно местное значение; русловые процессы на ней полностью определяются природными условиями данной физико-географической

зоны и местными факторами, в том числе антропогенными. При этом зональные факторы определяют общий фон развития речных русел, а местные сказываются в изменении типичного их проявления и придании им специфического направления. Исходя из этого, к малым рекам бассейна Белого моря в границах Вологодской области относятся все реки, кроме Сухоны, среднего и нижнего течения р. Юга, нижнего течения р. Кубены.

Во второй главе рассматриваются условия формирования русел малых рек. Согласно В. М. Лохтину и Н. И. Маккавееву, русловой процесс следует рассматривать как составную часть развития географической среды. При исследовании руслового режима малых рек необходим учет как можно большего числа факторов. Благодаря своим небольшим размерам, малые реки являются наиболее чуткими элементами гидросети, и на их деятельность влияют такие факторы, которыми можно пренебречь при анализе руслоформирующей деятельности крупных рек. Наиболее подробно рассматривается влияние геолого-геоморфологического фактора, а также гидрологический режим рек, являющиеся главными факторами, формирующими основной морфологический облик русел.

На основании исследований Ю. А. Савинова и В. П. Романовой (1962), А. Ф. Попова, А. Н. Кичигина, И. Г. Джуха (1978), К. И. Усольцевой и В. И. Гаркуши (1979) предложено районирование Вологодской области по типам рельефа. Выделены районы с волнистыми и полого всхолмленными моренными равнинами; районы с холмисто-моренным и увалистым рельефом и районы озерно-аллювиальных террасированных равнин. Совместный учет типов рельефа и геологического строения, а также податливости горных пород к размыву водными потоками позволили выделить в пределах региона районы свободного и районы ограниченного развития русловых деформаций. Учитывая, что даже в половодье скорости течения малых рек составляют 0,5—0,6 м/сек., а допустимая неразмывающая скорость валунных суглинков, наиболее широко распространенных по территории Вологодской области, составляют 1—1,3 м/сек. (Любимов, 1978), указанная территория без учета деталей ее геоморфологического строения, для малых рек характеризуется в основном ограниченными условиями развития русловых деформаций и лишь в пределах озерно-аллювиальных террасированных равнин все реки характеризуются свободными условиями развития русловых деформаций. Поэтому по отношению к малым рекам выделение районов свободного и ограниченного развития деформаций должно основываться, в первую очередь, на учете местных геоморфологических условий. Даже в районах, характеризующихся сво-

бодными условиями русловых деформаций, отдельные реки могут испытывать сильное ограничивающее воздействие литологического фактора (например, в результате локального выхода в русле трудноразмываемых пород). Благодаря этому незначительная эродирующая способность малых рек, протекающих в районах свободного развития русловых деформаций, может привести к созданию такого морфологического облика русла, который свойственен руслам рек, формирующимся в районах с ограниченным развитием русловых деформаций. Наоборот, реки, дренирующие районы, сложенные моренными суглинками и создающими ограниченные условия развития русловых деформаций, могут иметь хорошо разработанные широкопойменные долины, в пределах которых русла свободно меандрируют. Это наблюдается в областях широкого распространения ложбин стока талых ледниковых вод. В пределах таких ложбин наблюдаются условия свободного развития русловых деформаций. В связи с этим применительно к малым рекам можно говорить не о районах, а о руслах или об участках русел, формирующихся в условиях свободного или ограниченного развития русловых деформаций.

В гидрологическом режиме рек отчетливо выделяется весеннее половодье, на долю которого приходится до 70—75% годового стока и зимняя межень (3—5%). Внутригодовое распределение стока тесно связано с площадью водосбора, определяющей его регулирование. Чем меньше площадь водосбора, тем больше разница между весенним и меженим стоком. Среднегодовая величина расхода воды на малых реках 4—6 порядков не превышает 10—20 м³/сек. Максимальные расходы превосходят минимальные на одной и той же реке в 200—300 раз. Благодаря этому низкообеспеченные расходы половодья, рассчитанные по методике Н. И. Маккавеева (1955), на эпюре руслоформирующих расходов дают ярко выраженный пик. В то же время, высокообеспеченные расходы межени не являются руслоформирующими из-за крайне низких величин расходов. По условиям прохождения руслоформирующих расходов (Q_{ϕ}) центральную и восточную части Вологодской области можно подразделить на четыре района (таблица). В пределах первого, охватывающего западную часть Сухонского Заволочья, Прикубенскую равнину и Харовскую возвышенность, и четвертого, соответствующего Северным Увалам, Унжинской равнине и Галичской возвышенности, эпюра Q_{ϕ} характеризуется наличием двух интервалов расходов, имеющих руслоформирующее значение: один из них проходит до, а второй—после выхода воды на пойму. Отличительной чертой морфологии русел рек этих районов является наличие прорванных меандр до достижения ими критической степени

Руслоформирующие расходы малых рек Вологодской области

Река—пункт	Верхний интервал		Средний интервал		Нижний интервал	
	расход воды м ³ /сек.	обес-печен. %	расход воды м ³ /сек.	обес-печен. %	расход воды м ³ /сек.	обес-печен. %
Первый район						
Уфтюга—Малантьевская	183	0,55	58	2,5	—	—
Сить—Козлиха	305	0,14	185	0,8	—	—
Кубена—Троице -Енальское	201	0,17	105	1,8	—	—
Кубена—Кубинская	990	0,14	450	1,5	—	—
Сямжена—Сямжа	—	—	196	0,2	156	0,8
Вага—Глуборецкая	274	0,08	—	—	115	2,2
Кулой—Хребтовская	206	0,11	—	—	76	5,1
Кокшеньга—Моисеевская	753	1,1	—	—	323	1,9
Второй район						
Ема—Новое	—	—	29	0,6	—	—
Масляная—Семшино	—	—	38	1,0	—	—
Лежа—Бушуиха	—	—	100	1,5	—	—
Двиница—Котлака	—	—	—	—	115	0,9
Тиксна—Петрилово	—	—	22	2,2	—	—
Царева—Село	—	—	—	—	127	2,5
Третий район						
Леденьга—Колхозная	—	—	134	0,26	59	2,2
Уфтюга—Колено	—	—	367	0,35	207	1,5
Ниж. Ерга—Загорье	—	—	83	0,50	37	2,8
Стрельна—Анисимово	—	—	142	0,17	68	1,2
Юг—Кич. Городок	—	—	1480	0,69	470	3,2
Шарженьга—Калинино	—	—	160	0,53	92	2,1
Кичменьга—Захарово	—	—	260	0,26	156	1,2
Савватиевка—Горбишево	—	—	4,2	0,53	2,1	1,6
Енанга—Митино	—	—	19	0,2	14	0,7
Четвертый район						
Толшма—Пузовка	259	0,07	86	2,2	—	—
Юг—Пермас	282	0,12	—	—	118	1,7
Енталъ—Заборье	197	0,06	—	—	77	3,0

развитости равной 1,6 и определяемой, как отношение длины излучины к ее шагу ($1/L$) (Маккавеев, 1955). Влияние местных условий на характер прохождения Q_{ϕ} хорошо иллюстрируется

р. Сямженой, дренирующей первый район: здесь оба интервала Q_{ϕ} соответствуют уровням до выхода воды на пойму. Это связано с высокой заболоченностью бассейна р. Сямжены. Болота выступают регуляторами стока, снижая максимальные расходы половодья. В результате этого оба интервала Q_{ϕ} проходят в пойменных бровках.

Реки второго (Вологодская возвышенность, Присухонская низина) и третьего (Кичменгская равнина, восточная часть Сухонского Заволочья) районов имеют соответственно один и два интервала Q_{ϕ} в пойменных бровках. В последнем случае на реках формируется своеобразная «ступенчатость» русла, проявляющаяся в образовании иерархии вложенных друг в друга русловых форм, развитие которых происходит в разные фазы гидрологического режима (Чалов, 1979). Проведенное районирование территории области по условиям прохождения Q_{ϕ} хорошо соотносится со схемами геоморфологического и гидрологического районирования, составленными другими авторами (Попов, Кичигин, Джуха, 1978; Усольцева, Гаркуша, 1979; Филенко, 1966). Это наглядно иллюстрирует положение о том, что русловые процессы на реках зависят от широкого комплекса факторов, а руслоформирующий расход—это такой расход, при прохождении которого в многолетнем плане наблюдаются самые значительные деформации. Он служит интегральным показателем влияния комплекса физико-географических условий на русловую процесс.

Третья глава, посвященная морфологии русел малых рек, начинается с рассмотрения типов продольных профилей. Наряду с наиболее распространенной формой—вогнутой, на малых реках часто встречаются выпуклые продольные профили, свойственные тем из них, которые впадают в крупные реки с большими сезонными колебаниями уровней. Таковы, например, продольные профили многих притоков Сухоны.

Исследования состава современного руслового аллювия показали, что представлен он преимущественно песчаным материалом, а также глинами, гравием, галькой и валунами. Гранулометрический состав аллювия малых рек в гораздо большей степени, чем аллювий крупных рек отражает особенности геологического строения, поскольку подмываемые берега являются основным источником формирования руслообразующих наносов. Поэтому по длине малых рек практически не происходит закономерного изменения средней крупности руслового аллювия.

По морфологическому облику русел, характеру и виду периформированных малые реки являются извилистыми, прямолинейными и разветвленными. Преобладающим типом является и з в и н

листо е, составляющее около 95% общей длины русел малых рек. Излучины образуются на всех реках, и в зависимости от характера берегов, степени их фиксации и направленности развития подразделяются на свободные и врезанные. Свободные излучины образуются в пойменных, периодически затопливаемых берегах и распространены в широкопойменных долинах, как на прямолинейных их отрезках, так и на крыльях более крупных, врезанных излучин. Врезанные излучины, не осложненные свободными меандрами, характеризуются прямолинейными или слабо изогнутыми в плане крыльями: русло в вершине излучины прижато к вогнутому берегу. Шнора излучины образована террасами и вытянутой вдоль русла узкой полосой поймы: рисунок русла в плане в целом совпадает с очертаниями долины. Широкое распространение имеют врезанные излучины, крылья которых осложнены более мелкими свободными меандрами. В этом случае свободные излучины являются вторичными, или излучинами второго порядка (Чалов, 1983) по отношению к врезанным. Врезанные излучины обеих разновидностей в пределах одного участка имеют одинаковые размеры, всегда являясь формами первого порядка. Свободные меандры на крыльях врезанных, имеющие те же размеры, что и в прямолинейной долине, создают основной облик русла и определяют основной вид его деформаций. Эти два обстоятельства послужили основанием отнести участки русел со свободными меандрами на крыльях врезанных излучин к свободно меандрирующим рекам в широкопойменной долине.

Свободные меандры составляют свыше 70% от общей протяженности извилистых русел. Они следуют друг за другом, образуя непрерывный ряд из 5—10 и более излучин; при этом нижнее крыло меандры, расположенной выше по течению, переходит в верхнее крыло следующей по течению излучины. В одних случаях все меандры могут быть крутыми ($1/L = 2 - 2,5$), а в других—пологими ($1/L = 1,2 - 1,3$). Это соответствует выделенным Р. С. Чаловым (1979) двум подтипам меандрирующего русла: с петлеобразными излучинами (и преимущественно поперечным их перемещением) — на реках, где спрямление их при достижении ими критической кривизны затруднено, и сегментными излучинами, спрямляющимися при $1/L < 1,6$ и характеризующимися преимущественно продольным перемещением. Обычно условием для развития крутых петлеобразных меандр является отсутствие верхнего интервала $Q_{\text{ф}}$. Однако, на малых реках

крутые меандры широко распространены и при его наличии, что, вероятно, является отличительной чертой малых рек и связано с очень низкой обеспеченностью руслоформирующих расходов, большой высотой поймы, ее зеленостью и т. д.

Размеры свободных излучин варьируют в широких пределах. Радиус кривизны их изменяется от 10—20 м в верховьях, до 800—900 м в низовьях. Но в отличие от общей зависимости, полученной Н. И. Маккавеевым для всех рек без учета их размеров

$r_c = f(\sqrt{Q_\Phi})$ для малых рек эта связь линейная: $r_c = f(Q_\Phi)$.

Она трансформируется в степенную при абсолютных значениях Q_Φ , превышающих 600—700 м³/сек., т. е. представляет собой нижнюю часть графика в зависимости Н. И. Маккавеева. Действительно, если проанализировать все реки региона, включая Сухону и крупные соседние реки—Вычегду, Вьгу (низовья) и др., совместно с малыми, то последние на кривой $r_c = f(\sqrt{Q_\Phi})$ сосредотачиваются в нижней ветви, которая может аппроксимироваться как прямая. Очевидно, что это может служить одним из критериев разделения малых и крупных рек по «русловому» признаку, а значение 600—700 м³/сек. является его количественной характеристикой.

При анализе связей между радиусами кривизны свободных излучин и величиной Q_Φ учитывались руслоформирующие расходы половодья. На реках первого и четвертого районов это — верхние интервалы, соответствующие затопленной пойме, на реках третьего района—средние, проходящие непосредственно перед выходом воды на пойму. На реках второго района радиус кривизны сопоставлялся с величиной единственного интервала Q_Φ .

Для отдельных малых рек проследить изменение радиусов кривизны в зависимости от величины Q_Φ не представляется возможным, поскольку на каждой из них действует, как правило, один водопост ГМС, по данным которого можно определить Q_Φ . Поэтому зависимость размеров излучин от водности реки можно получить, анализируя изменения параметров излучин по длине реки. Расход воды, как известно, является функцией площади водосбора, а последняя—функцией длины реки. Закономерное увеличение значений r_c по длине реки наблюдается почти на всех реках длиной свыше 10 км, равномерно увеличивающих свою водность и описывается связью $r_c = 0,002L_p + 14$, где L_p —расстояние от истока (км).

Довольно высок коэффициент корреляции ($r = 0,9$) в зависимости между радиусом кривизны свободных излучин и шириной русла. Тесная связь ($r = 0,75$) получена между радиусом и шагом излучины: $r_c = 0,7L_c$. Аналогичные зависимости получены и для малых рек других регионов, например, для Подмосковья (Матвеев, 1970).

Если принять (Маккавеев, 1955, 1971; Чалов, 1979; Матвеев, 1970 и др.), что оптимальной формой излучин, при которой обеспечивается плавное обтекание берегов, является сегмент, то излучина может описываться с помощью зависимости

$$r_c = f\left(\frac{l}{2\varphi}\right)$$

где l — длина русла по излучине;

φ — входящий угол, образованный касательной к верхнему крылу излучины в точке пересечения русла с осью меандрирования, что позволяет судить об отклонении свободных излучин от сегментной формы. Так как в природных условиях форма излучин лишь приближается к сегментной, то зависимость приобретает вид

$$r_c = k\left(\frac{l}{2\varphi}\right), \text{ или при } \frac{k}{2} = K \quad r_c = K\left(\frac{l}{\varphi}\right)$$

Коэффициент K характеризует степень отклонения формы излучин от сегментной. Он изменяется на реках исследованного региона от 0,875 до 5,5. При значении коэффициента K равном 0,875 излучина имеет правильную сегментную форму. Диапазон колебания коэффициента K для разных регионов различен и, по-видимому, отражает влияние природных факторов на форму излучин. Так, для районов свободного развития русловых деформаций форма излучин в наибольшей степени приближается к сегментной, как гидравлически наиболее выгодной: $K = 0,875 - 2$. Для рек, пересекающих Северные Увалы, наблюдаются наибольшие отклонения излучин от сегментной формы: значения K достигают 5,5.

Врезанные излучины, в том числе осложненные свободными меандрами, составляют 55% общей протяженности русел. В распространении излучин этого типа прослеживается тесная связь с геолого-геоморфологическим строением. Врезанные излучины с прямолинейными крыльями, образованные высокими незатопляемыми берегами, соответствуют условиям ограниченного развития русловых деформаций. На реках, протекаю-

щих в районах свободного развития русловых деформаций и характеризующихся сильно выровненным рельефом, врезанные излучины вообще не образуются. Таковы, например, реки дреннующие Присухонскую низину.

На основании анализа морфологических параметров 445 врезанных излучин обеих разновидностей установлена тесная связь между радиусами кривизны и шагом излучин: $r_b = 1,75L_b$. Характерно, что значения коэффициента почти в 2,5 раза больше здесь, чем для соответствующей зависимости у свободных излучин.

Относительно прямолинейные русла характерны лишь для отрезков рек, разделяющих участки с извилистым руслом. Общая протяженность прямолинейных русел не превышает 5%. Если на крупных реках прямолинейные русла возникают лишь при наличии коренного ведущего берега (Чалов, 1979), то на малых такие русла часто возникают и в районах свободного развития русловых деформаций, в широкопойменной долине, как это имеет место на некоторых реках Присухонской низины. Однако, ложа таких рек обычно располагаются в трудноразмываемых породах, залегающих в цоколе озерно-аллювиальных отложений и препятствующих активизации как глубинной, так и боковой эрозии.

Разветвленные русла не имеют самостоятельного значения. Острова и осередки встречаются и в меандрирующих, и в прямолинейных руслах (русловая многорукавность), однако в очень редких случаях они играют определяющую роль в морфологии коротких отрезков русел. Пойменная многорукавность, широко развитая на крупных реках, на малых реках не встречается.

Преобладающей формой рельефа речного дна являются гряды — от мелких, несоммеримых с размерами русла, до крупных аллювиальных образований, занимающих всю или большую часть ширины русел. В средних и нижних течениях малых рек, где объем руслообразующих наносов заметно возрастет по сравнению с верхними участками русел, с наличием в руслах перекатов связано формирование и существование прирусловых отмелей, развитых в вершинных свободных и врезанных излучин. Прирусловые отмели располагаются у выпуклых берегов и служат важной морфологической особенностью большинства меандрирующих рек.

Исследования показали, что формы русла и руслового рельефа не всегда можно четко сопоставить с определенными фазами гидрологического режима. Практически любой, проходящий по реке расход, вносит свой вклад в создание конфигурации русла.

Однако, в большинстве случаев именно руслоформирующие расходы оказывают решающее влияние на развитие тех или иных форм. Поэтому каждый район, выделенный по условиям прохождения Q_{ϕ} , отличается своим набором (иерархией) русловых форм. Так, на реках, основными формами русел которых являются врезанные излучины, осложненные свободными меандрами, и имеющими два интервала Q_{ϕ} , в условиях незначительного объема донных наносов свободным излучинам отвечает нижний, а врезанным—верхний интервал Q_{ϕ} . Это подтверждается анализом морфометрических характеристик излучин и дает основание считать, что оба типа излучин являются производными современной водности рек. В низовьях рек, где объем донных наносов заметно увеличивается, иерархия форм русла и руслового рельефа усложняется. Перекаты слабо выраженные в верхних и средних течениях и характеризовавшиеся подводными побочными, становятся хорошо выраженными. Им соответствует нижний пик на эюре Q_{ϕ} , т. е. тот, который отвечал свободным меандрами в средних и верхних течениях рек, где крупных грядовых форм нет. Верхний интервал в низовьях малых рек соответствует свободным излучинам. Врезанным излучинам, таким образом, на кривой Q_{ϕ} аналога нет. Это позволяет сделать вывод, что в таких случаях врезанные излучины отражают иную, более высокую водность потока, которая значительно превышала современную. Действительно, если рассматривать долины многих рек Северных Увалов, Вологодской и Харовской возвышенностей, Кичменгской равнины с палеогеографической точки зрения, то имеется множество доказательств тому, что они выработаны талыми ледниковыми водами в послеледниковую эпоху. Об этом, например, свидетельствует, широкое распространение флювиогляциальных отложений в долинах таких рек.

Важной особенностью облика русел малых рек является сильное зарастание их водной растительностью. Последняя иногда настолько густая, что свободная поверхность наблюдается только на перекатах и других участках ускорения течения, которое ограничивает развитие высших водных растений. По мере увеличения размеров реки водная растительность отступает к берегам, образуя относительно широкие (2—3 м), выдержанные по ширине полосы, играющие берегоукрепительную роль. На плесовых участках, отличающихся крайне малыми скоростями течения в межень (менее 0,05 м/сек) часто русла по всей ширине покрыты водяной лилией, стрелолистом и др.

В четвертой главе основное внимание уделено горизонтальным деформациям. Вертикальные деформации, составляющие общий фон развития русел, оценить, как по направленности, так и по темпам с помощью связей между уровнями и соответствующими расходами воды, довольно сложно из-за коротких рядов наблюдений. Использование косвенных признаков, предложенных Н. И. Маккавеевым и Р. С. Чаловым (1970) позволяет предположить, что все реки испытывают слабое и очень медленное врезание.

Горизонтальные деформации можно свести к двум основным видам: меандрированию и разветвлению. При этом переформирования русел малых рек Вологодской области происходят в половодье и во время летне-осенних паводков, когда скорости течения максимальные. Причину большой роли паводков в деформациях русел малых рек Н. И. Маккавеев (1955) видит в снижении относительной устойчивости русел малых рек по сравнению с крупными. В результате этого один небольшой летний паводок иногда производит на малой реке более заметные изменения форм русла, чем весеннее половодье на крупной. Г. Я. Эберхардс (1981) указывает, что интенсивность горизонтальных деформаций на излучинах малых рек непосредственно зависит от количества пиков паводка и резкости спада высоких уровней. Особенно динамичны русла на участках свободного меандрирования. При прочих равных условиях интенсивность размыва берегов зависит от стадии развития излучин, будучи более высокой на крутых меандрах, испытывающих преимущественно поперечное смещение. Спрявление их происходит путем размыва вогнутых берегов. Прорыв излучин до достижения ими критической величины развитости наблюдается лишь на реках с верхним интервалом Q_{ϕ} и протекающих в сравнительно невысоких берегах. Средняя скорость отступания берегов излучин при их поперечном смещении составляет на малых реках 2—3 м/год, в то время как на крупных—25—40 (Чалов, 1974).

Исследованиями выявлено, что на бесприточных участках излучины находятся на одинаковой стадии развития, о чем свидетельствует близость значений $1/L$ для излучин на каждом таком участке. Это согласуется с выводами И. В. Попова (1969) для крупных рек.

Деформации врезанных излучин происходят гораздо медленнее, т. к. в этом случае река размывает коренные берега, сложенные трудноразмываемыми породами. Лишь при размыве уступов террас скорости отступания берегов составляют десятки сантиметров в год.

На характер и темпы деформации и морфологию русел малых рек влияет хозяйственная деятельность человека. Иногда антропогенные факторы служат причиной серьезных переформирований. При сопоставлении плановых очертаний русла р. Вологды в черте г. Вологды, полученных на основании съемок 1781 г., 1956 г., 1979 г., 1982 г., выясняется, что активизация горизонтальных деформаций началась лишь в последние годы. Это согласуется с этапом усиления антропогенного влияния на руслоформирующую деятельность реки. Средняя скорость отступления берегов с 1781 г. по 1956 г. составила около 0,15 м/год, а в период с 1956 г. по 1982 г.—0,8 м/год. Главными причинами усиления темпов деформаций являются судоходство, молевой лесосплав, осушительно-мелиоративные работы, распашка пойм, неумеренный выпас скота в долинах рек, сведение лесов. Последние факторы обуславливают поступление в русла рек большого количества песчаного материала, формирование крупных отмелей — побочней, которые, в свою очередь, отклоняют поток, способствуя тем самым размыву берегов, лежащих напротив побочней.

Деформация разветвленных русел заключается в периодической разработке и обмелении протоков, размыве одних и образовании новых островов и осередков. Особенность транспортировки наносов на малых реках заключается в том, что почти весь объем донных наносов переносится в половодье. Многие осередки, возникая в половодье, в межень не переформируются, сохраняясь до следующего половодья. Консервация подобных форм особенно длительна при значительной крупности аллювия.

Наиболее стабильными являются прямолинейные русла.

Скорости отступления берегов, полученные при натурных наблюдениях, хорошо соотносятся с данными по размыву берегов К. М. Берковича и Б. Н. Власова (1982) и рассчитанными по формуле:

$$X = K \frac{Q^2 \cdot I}{dH}$$

где

X—скорость размыва; Q —расход воды; I —уклон; d —диаметр наносов; H—высота берега; K—коэффициент, равный $5 \cdot 10^{-3} \div 6 \cdot 10^{-3} (\text{м}^3/\text{сек.})^{-1}$. Следует отметить, однако, что при расчете размывов берегов для рек с расходами порядка $10 \text{ м}^3/\text{сек.}$ коэффициент K оказывается заниженным и должен быть увеличен на порядок. Благодаря натурным данным и расчетам по приведенной формуле в работе дается широкая картина размывов берегов малых рек, протекающих по территории Вологодской области.

Деформации речного дна заключаются в постоянном движении гряд—побочней, дюн, шалыг, рифелей и др. Исследования движения песчаных гряд показали, что скорость перемещения их пропорциональна третьей степени скорости течения и обратно пропорциональна глубине потока и высоте гряд, что в целом согласуется с выводами Н. И. Маккавеева (1971), установившем аналогичную зависимость между скоростями движения гряд и скоростью течения и высотой гряд (без учета глубины потока).

Морфологии и классификации пойм посвящена **пятая глава**. Пойма рассматривается как результат эрозионно-аккумулятивной деятельности рек. Морфология пойм тесно связывается с характером русловых деформаций, что соответствует идеям большинства исследователей (Шанцер, 1951; Маккавеев, 1955, 1971; Попов, 1969; Чалов, 1979; Матвеев, 1976, 1980; Барышников, 1978; Чернов, 1983).

Доминирующим типом пойм на реках, образующих свободные излучины, является сегментно-гривистый. Образование такой поймы связано с последовательным причленением к выпуклым берегам нескольких побочней. При закреплении растительностью пригребневых частей причленившихся побочней образуются гривы, а заводи, обсохнув, — превращаются в межгривные понижения. В результате этого пойма приобретает характерную «гофрированную» поверхность. Близкую природу имеют и озерно-старичные поймы, впервые выделенные Р. С. Чаловым (1970) на малых реках с незначительным твердым стоком. На реках Присухонской низины развита «низинная пойма», генетически не связанная с поймообразующей деятельностью рек. Она представляет собой днище низины после спуска крупного приледникового озера, в которое врезаны дреннрующие ее реки.

На реках, образующих врезанные излучины с прямолинейными крыльями, формируется изогнуто-гривистая пойма. Механизм образования изогнуто-гривистых и сегментно-гривистых пойм сходен. Основное отличие состоит в том, что при ограниченном развитии русловых деформаций из-за узости долины рек прирусловые отмели находятся в затопленном состоянии дольше, чем при образовании пойм в условиях свободного развития русловых деформаций. Это приводит к более медленному зарастанию отмелей растительностью и нарастающему пойменному массиву.

При параллельном смещении прямолинейного русла в сторону коренного берега в условиях ограниченного развития русловых деформаций формируется прямолинейно-гривистая пойма (Чернов, 1983).

На основании изучения руслоформирующей деятельности малых рек в **шестой главе** дается ряд практических рекомендаций по их освоению, учету русловых процессов па них при строительстве плотин, судоходстве, лесосплаве, проведении осушительно-мелиоративных работ, а также при разработке природоохранных мероприятий.

На судоходных реках необходимы берегоукрепительные работы путем обсаживания берегов растительностью с мощной корневой системой. Искусственное спрямление излучин, осуществляемое на сплавных реках, наиболее эффективным является лишь при наличии верхнего интервала $Q_{\text{ф}}$. В то же время, на

таких реках крайне нежелательна распашка пойм—это может привести к усилению эрозийной работы полей вод на ее поверхности. В связи с планами строительства на Северо-Западе СССР гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) (Непорожний, 1979) важно предусмотреть такие последствия, как затопление и подтопление ценных пойменных угодий, заглнение водохранилищ и т. д. Предотвращение в русла твердого материала в районах проведения осушительных мелиораций с помощью открытых дренажных каналов можно добиться, во-первых, укреплением откосов каналов специальными пластмассовыми полотнами, а, во-вторых, строительством в устьях каналов специальных отстойников, где бы аккумуляровался твердый материал.

Охрана малых рек предусматривает прекращение сброса в них неочищенных стоков, выделение вдоль русел водоохраных зон и защитных полос лесов, упорядочение молевого лесосплава с последующим его полным прекращением. Важным мероприятием по сохранению полноводности малых рек, улучшению гидрологического режима пойм является регулирование русел путем строительства новых и восстановления старых плотин. Первым звеном в системе природоохранных мероприятий должна стать паспортизация рек.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Для малых рек характерны общие закономерности формирования речных русел, в том числе свойственные определенной физико-географической зоне. Вместе с тем их русла в значительной мере испытывают влияние местных, часто перечных факторов. Воздействие их на малые реки несравнимо больше, чем на крупные, где они имеют подчиненное значение. Накладываясь на общие закономерности руслообразования, местные факторы не только существенно влияют на русловые процессы, но и придают формам их проявления специфический оттенок.

2. При малой водности рек и небольших скоростях течения главным фактором, определяющим интенсивность русловых деформаций, является геолого-геоморфологический. В зависимости от степени его влияния на условия формирования русел выделяют районы свободного и районы ограниченного развития русловых деформаций, причем, в последние включается большая часть исследованного региона. Однако с учетом сложности геоморфологического строения и чуткой реакции малых рек на местные изменения состава размываемых пород, для малых рек правильнее говорить об условиях свободного или ограниченного развития русловых деформаций на конкретных их участках. В связи с этим большинство рек региона характеризуются свободным развитием русловых деформаций, что проявляется в преимущественном распространении свободно меандрирующих русел.

3. Для малых рек связь между литологией пород, слагающих их берега, с одной стороны, и гранулометрическим составом руслового аллювия, с другой, самая непосредственная. Изменение характера пород, слагающих берега, тут же проявляется в изменении состава донных наносов. Поэтому при преимущественно песчаном русловом аллювии на отдельных отрезках рек часто встречаются участки, выполненные гравийно-галечным материалом и валунами вплоть до возникновения порогов. В результате на малых реках не наблюдается закономерного изменения крупности донных наносов вниз по течению.

4. По условиям прохождения руслоформирующих расходов исследуемый регион подразделяется на четыре района, различающиеся по количеству интервалов Q_{ϕ} , сложности русловых форм и особенностям их динамики. Однако, связь форм русла и руслового рельефа с характером прохождения руслоформирующих расходов неоднозначна даже на одной реке. При неизменном вниз по течению характере прохождения Q_{ϕ} соотношение между ними и соответствующими им формами русла и руслового рельефа изменяется в соответствии с изменениями водности реки, строения речной долины и т. д. Важно подчеркнуть, что руслоформирующие расходы определяют лишь основные формы русла и руслового рельефа. Остальные формы могут накладываться, усложняя иерархию форм, и зависеть от других факторов.

5. Преобладающим морфологическим типом русел малых рек являются меандрирующие, доля которых на малых реках выше, чем на крупных. Среди излучин доминируют свободные меандры сегментной или близкой к ней формы. Степень откло-

нения формы излучин от сегментной характеризуется коэффициентом сегментности K , диапазон изменения которого различен для разных районов и отражает влияние природных факторов на форму излучин. В районах свободного развития русловых деформаций форма излучин в наибольшей степени приближается к сегментной, как гидравлически наивыгоднейшей.

6. Размеры свободных излучин зависят прежде всего от водности реки. Радиус кривизны свободных меандр прямопропорционален руслоформирующему расходу половодья. Обнаружено, что при значениях $Q_{\text{ф}}$ до 600—700 м³/сек. зависимость между радиусами кривизны и водностью линейная. Это не противоречит известному положению Н. И. Маккавеева о зависимости $r_c = f\left(\sqrt[3]{Q_{\text{ф}}}\right)$, т. к. нижнюю часть параболы можно аппроксимировать как прямую. Величина $Q_{\text{ф}}$, при которой линейная зависимость трансформируется в степенную, может служить критерием при разделении малых и крупных рек.

7. Общая протяженность русел, образующих врезанные излучины как с прямолинейными крыльями, так и осложненные свободными меандрами, на малых реках Вологодской области составляют 55%, что выше, чем на крупных реках. По-видимому, это связано с тем, что большинство рек в настоящее время испытывает врезание и пока не выработали свои долины.

8. Основные переформирования русел происходят в половодье и во время летне-осенних паводков, когда наблюдаются верхние (для данной реки) интервалы руслоформирующих расходов. При внешней схожести морфологического облика русел малых и крупных рек региона (извилистость русла, перекаты) темпы русловых деформаций в абсолютных величинах на малых реках на порядок и более ниже. Это соответствует незначительной водности малых рек и очень низкой обеспеченности $Q_{\text{ф}}$, которые также на порядок величин меньше, чем на крупных реках. Однако, ввиду небольших размеров малых рек относительные деформации на них выше и плановые изменения русел за одинаковый промежуток времени более заметны, чем на крупных реках.

9. Доминирующими типами пойм на малых реках являются сегментно-гривистые (на свободно меандрирующих реках) и изогнуто-гривистые (на реках, образующих врезанные излучины). На прямолинейных участках русел развита прямолинейно-гривистая пойма.

10. Интенсификация хозяйственной деятельности вблизи малых рек и непосредственно в их руслах тесно связана с изменением руслоформирующей деятельности рек, проявляющемся в усилении размыва берегов, заилении русел, образовании заломов, ухудшении санитарного состояния малых рек. Приведенные в работе рекомендации помогут избежать некоторых нежелательных последствий при использовании водных ресурсов малых рек. Однако, помимо общих для всех рек области, требуются еще специальные рекомендации для отдельных районов в соответствии с конкретными местными условиями.

Значение антропогенного фактора на малых реках несравнимо выше, чем на крупных, на русловом режиме которых многие стороны хозяйственной деятельности вообще не сказываются. В этом состоит одно из важных различий между малыми и крупными реками, которое необходимо учитывать при использовании водных ресурсов малых рек.

Основные положения диссертации освещены в следующих опубликованных работах:

1. **Исследования строительных свойств грунтов.** Отчет по теме 434/76 ВПИ, 1977 г. 2 п. л. (совместно с А. Ф. Поповым и А. Н. Кичигиным).

2. **Инженерно-геологические условия Вологодской области.** Деп. ЦНТИ, Госстроя СССР, № 1275, 1978 г., 1,5 п. л. (совместно с А. Ф. Поповым и А. И. Кичигиным).

3. **Генетические типы рельефа Вологодской области.** Тез. докл. III научн.-тех. конф. Вологодского политех. ин-та, Вологда, 1979, стр. 17—18.

4. **Инженерно-геологическое районирование Вологодской области.** Тез. докл. III научн.-тех. конф. Вологодского политех. ин-та, Вологда, 1979 г., стр. 20—21 (совместно с А. И. Кичигиным).

5. **Влияние антропогенных факторов на руслоформирующую деятельность р. Волгды.** —В кн.: Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. М., Изд-во Моск. ун-та, 1981, стр. 355—356.

6. **Восстановление плотин на малых реках Нечерноземья и русловые процессы.** —В кн.: Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. М., Изд-во Моск. ун-та, 1981, стр. 344—345 (совместно с А. И. Кичигиным и В. В. Одинцовым).

7. Русловые процессы на малых реках таежной зоны в связи с проблемой их освоения и хозяйственного использования. — В кн.: Исследование русловых процессов для практики народного хозяйства. М., Изд-во Моск. ун-та, 1983, стр. 157—158.

8. Охрана малых рек в условиях интенсификации промышленного и сельскохозяйственного производства.—В кн.: Проблемы охраны природы в Нечерноземной зоне в связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства. Брянск, 1983, стр. 70—72.

9. Морфологические особенности русел малых рек Вологодской области.—В сб.: Эрозионные и русловые процессы. Материалы IV конф. молодых специалистов географич. ф-та МГУ, Деп. ВИНТИ (№ 2387-83), 1983, стр. 75—78.

10. Морфология и динамика русла р. Юга, как пример руслоформирующей деятельности малой реки (в печати).—«Геоморфология», 1984 г. (совместно с Р. С. Чаловым).
