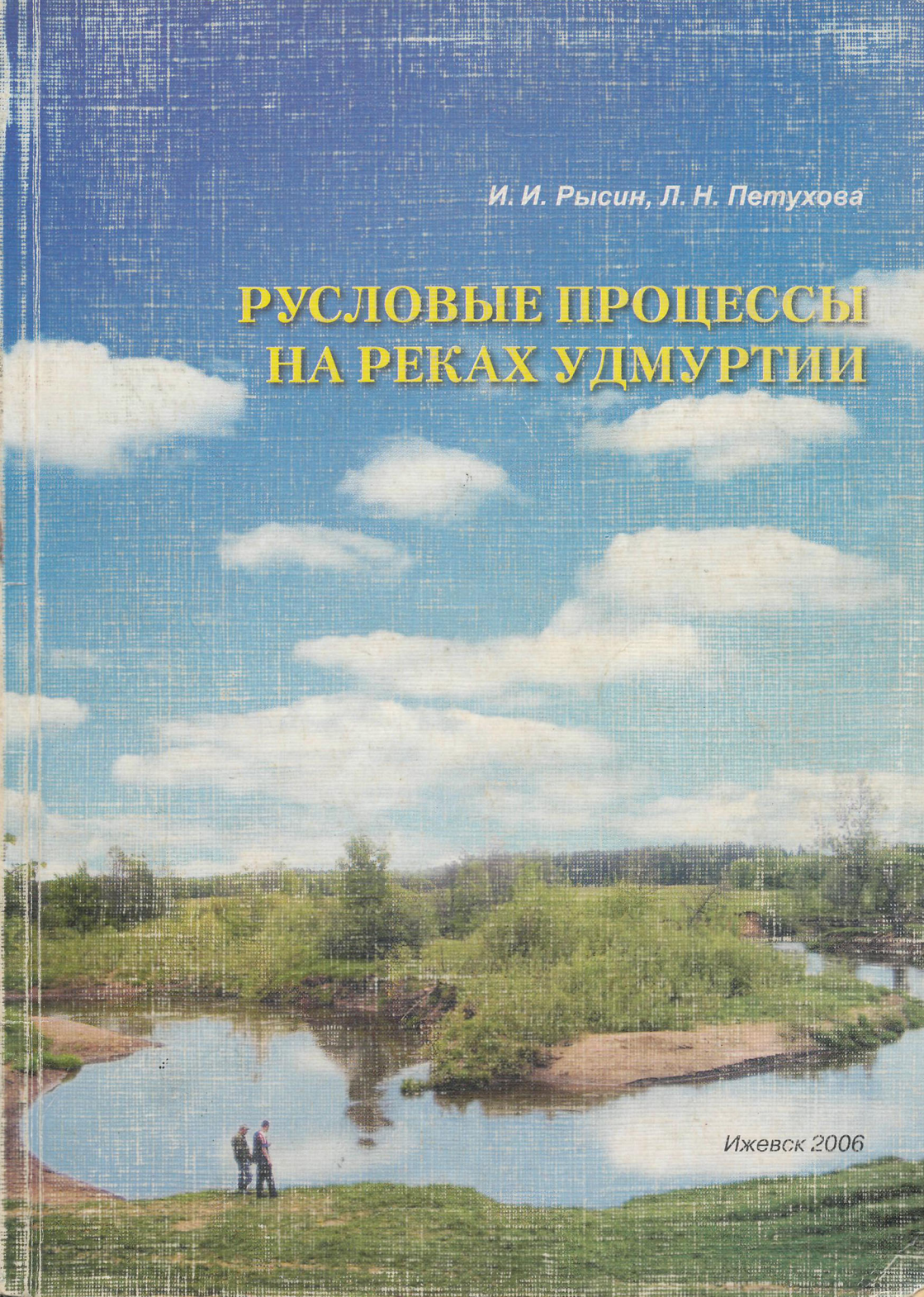


И. И. Рысин, Л. Н. Петухова

РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ НА РЕКАХ УДМУРТИИ

Ижевск 2006



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ГОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»

**Союз научных и инженерных общественных отделений
Удмуртской республики**

И. И. Рысин, Л. Н. Петухова

РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ НА РЕКАХ УДМУРТИИ

Ижевск 2006

УДК 551.435.13 (470.51)
ББК 26.823
Р 95

Рецензенты:

доктор географических наук, профессор **Р.С. Чалов**,

доктор географических наук, профессор **Н.Н. Назаров**

Р 95 **Рысин И.И., Петухова Л.Н.** Русловые процессы на реках Удмуртии. – Ижевск: Ассоциация «Научная книга», 2006. – 176 с.; ил.

В монографии рассматриваются природные и антропогенные факторы и условия развития русловых процессов в пределах территории Удмуртии; выявлены наиболее существенные из них, определяющие интенсивность речной эрозии. Дается географический анализ распространения горизонтальных русловых деформаций, определены их скорости. Впервые для региона построены карты морфодинамики русел и на основе их анализа проведено районирование.

Рассчитана на специалистов в области русловых процессов, охраны природы и рационального природопользования, географов, гидрологов, геоморфологов. Кроме того, книга будет полезна студентам соответствующих специальностей и широкому кругу читателей, интересующихся природой своего края.

Печатается по решению Межвузовского научно-координационного совета по проблемам эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ и Президиума союза научных и инженерных общественных отделений Удмуртской Республики.

ISBN 5-9631-0029-1



© И.И. Рысин, Л.Н. Петухова, 2006

© Удмуртский университет, 2006

©Ассоциация «Научная книга», 2006

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Физико-географические условия формирования русел рек Удмуртии	6
1.1. Геолого-геоморфологические условия	6
1.2. Климатические условия	16
1.3. Гидрография	19
1.4. Почвенно-растительный покров	22
2. Гидрологический режим рек Удмуртии как фактор русловых процессов	26
3. Методика исследования и фактический материал	39
3.1. История изучения рек Удмуртии	39
3.2. Методика исследования	41
3.2.1. Натурные исследования	41
3.2.2. Использование картографического материала и аэрофотоснимков	44
3.2.3. Методика расчета анализируемых показателей	49
4. Типы русел и их распространение на территории Удмуртии	53
4.1. Классификации русел рек и их анализ	53
4.2. Распределение русел рек разных морфодинамических типов на территории Удмуртии	61
5. Гидролого-морфологический анализ русел рек Удмуртии	78
5.1. Морфология и морфометрия русел рек	78
5.2. Гидролого-морфологические зависимости	85
6. Динамика русел малых и средних рек Удмуртии и природные факторы ее обуславливающие	92
6.1. Анализ горизонтальных русловых деформаций	92
6.2. Факторы развития горизонтальных русловых деформаций	101
7. Антропогенные изменения русловых процессов	125
8. Районирование территории Удмуртии по факторам и формам проявления русловых процессов	133
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	145
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	148
ПРИЛОЖЕНИЕ	156

ВВЕДЕНИЕ

Современный рельеф земной поверхности изменяется постоянно, непрерывно. Одним из наиболее ярких геоморфологических процессов, в значительной степени изменяющих облик территории, является работа рек, русловые процессы.

Изучение русловых процессов во второй половине XX века шло по пути постоянного расширения натуральных исследований, позволивших дать оценку руслоформирующей деятельности многих конкретных рек, выполнить работы, посвященные большим территориям (Русловой режим рек северной Евразии, 1994), создать картографические произведения (Русловые процессы на реках СССР, 1990; Русловые процессы на реках Алтая, 1996; Русловые процессы на реках Европейской части России и сопредельных государств, 1999), разработать принципы районирования территорий по природным факторам русловых процессов, совокупности их воздействия на русла рек, распространению типа русловых процессов и морфодинамических типов русел (Беркович и др., 1985; Чалов, Белый, 1975; Чалов, 1980; Чернов, 1995, 2006).

Работы, посвященные вопросам региональных закономерностей русловых деформаций, охватывающие бассейны рек, территории субъектов федерации и им подобные природные или природно-территориальные единицы, длительное время не получали развития, во-первых, вследствие явной недостаточности данных и неразработанности методологической базы и, во-вторых, из-за отсутствия непосредственных прикладных заказов.

Тем не менее, региональный анализ русловых процессов на уровне бассейнов, административно-территориальных единиц позволяет определить специфику развития русел рек в конкретных природных условиях, при их пространственном изменении и антропогенных воздействиях.

Изучению рек Удмуртии посвящено много работ, но вопрос исследования русловых процессов в них фактически не освещен. Некоторые данные о морфодинамике русел крупных и средних рек территории — Вятке, Каме, Чепце, Кильмези, о проявлении русловых процессов на этих реках можно найти в работах, посвященных рекам северной Евразии, Русской равнины, бассейну Волги, Камскому бассейну. Исследования русловых процессов на малых реках, преобладающих на территории Удмуртии, до сих пор практически не проводились.

А для малых рек характерен специфический гидрологический режим. Существенно отличаются у них русловые деформации и транспорт наносов. Поэтому изучение морфодинамики малых рек представляет собой большой научный и практический интерес.

Малые реки, как известно, гораздо быстрее и интенсивнее, нежели крупные, реагируют на природные и антропогенные изменения в бассейне. Испытывая влияние антропогенного фактора, реки в свою очередь могут также негативно вторгаться в жизнь людей. Под влиянием боковой эрозии могут разрушаться инженерные сооружения, коммуникации, страдать населенные пункты, утрачиваться ценные сельскохозяйственные и лесные угодья, рекреационные зоны. Изучая русловые процессы, можно прогнозировать возникновение этих опасных ситуаций на реках конкретной территории.

В информации о русловых процессах нуждаются практически все отрасли человеческой деятельности, связанные с использованием рек. Для рационального использования и охраны водных ресурсов необходимы исследования характеристик русел и русловых деформаций. Результаты этих исследований являются составной частью гидрологического обоснования проектов различных водохозяйственных мероприятий.

Исходя из актуальности и недостаточной изученности рассматриваемых вопросов, выявление территориальных особенностей и закономерностей морфодинамики русел малых и средних рек Удмуртии является весьма интересным.

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РУСЕЛ РЕК УДМУРТИИ

Формирование речного русла начинается с момента появления постоянного водотока. Для существования реки нужно такое количество воды, которое будет превышать испарение, фильтрацию в грунты, транспирацию водной растительности и обеспечит эрозию ложа и сток наносов, т.е. перемещение твердого материала, поступающего в поток с водосбора и в результате размыва грунтов ложа реки (Маккавеев, 1971). Отсюда развитие речных русел — производное сложного сочетания различных факторов, степень проявления которых неодинакова в конкретных природных условиях (Чалов, 1984). Русловые процессы рассматриваются как составная часть физико-географической среды: геологические, климатические, почвенные и геоботанические условия каждой территории предопределяют тот или иной морфологический облик протекающих здесь рек и особенности их русловых деформаций.

1.1. Геолого-геоморфологические условия

Среди природных факторов большое влияние на формирование поверхностного стока и русловых деформаций оказывают геолого-геоморфологические условия. От характера рельефа, состава коренных и четвертичных отложений зависит рисунок и густота речной сети, интенсивность и формы проявления деформаций русла.

Удмуртия расположена на востоке Русской равнины, в среднем Предуралье. Располагается в пределах докембрийской Русской

платформы. Приуроченность изучаемой территории к платформенной структуре обусловила равнинность ее рельефа.

В строении рельефа в Удмуртии, как и всей Русской равнины, отчетливо проявилось влияние всех основных факторов рельефообразования: истории геологического развития; условий залегания и вещественного состава горных пород; новейших тектонических движений; климата и, в последнее время, хозяйственной деятельности.

В истории геологического развития территории выделяются 3 тектонических мегацикла: раннедокембрийский, позднедокембрийский и палеозойско-кайнозойский. В результате воздействия этих циклов сформировались как крупные тектонические элементы, так и различные по составу породы (Геология и нефтеносность..., 1976, Удмуртская Республика, 2000).

Из крупных структурных элементов платформы в пределах республики выделяют Татарский свод, занимающий западную часть и Верхнекамская впадина, расположенная на востоке. Эти две крупные структуры разделяются Удмуртской системой глубинных разломов субмеридианального простирания. Обе структуры осложнены многочисленными разломами, преимущественно северо-восточного простирания. Разломы ограничивают горсты и грабены, выраженные в рельефе кристаллического фундамента. Направленность разломов оказывает влияние на рисунок речной сети. В осадочном чехле выделяются соответствующие им валы и прогибы, а также многочисленные локальные структуры (Илларионов, 2004).

Мощность осадочного чехла изменяется от 1500-1800 м в западной части Удмуртии (Татарский свод) до 5000-7000 м в восточной части, т.е. в Верхнекамской впадине (Геология и нефтеносность..., 1976). Осадочный чехол слагается породами верхнего протерозоя, девона, карбона, перми, триаса и четвертичного периода. На дневную поверхность выходят только верхнепермские и более молодые отложения.

Верхний протерозой распространен только на востоке республики (Верхнекамская впадина) и представлен песчаниками, аргиллитами и алевролитами. Отложения девонской системы распространены повсеместно, представлены известняками, песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Каменноугольная система представлена тремя отделами, слагается известняками, аргиллитами, доломитами, алевролитами, песчаниками, гипсами с прослоями углистых сланцев и каменных углей.

Породы пермской системы распространены практически повсеместно, за исключением крайнего севера, где они погружаются под триасовые. Нижний отдел пермской системы сложен известняками, доломитами, гипсами и ангидритами. Верхний отдел представлен 3 ярусами — уфимским, казанским и татарским — выходящими на дневную поверхность. Отложения верхнего отдела представлены доломитами, известняками, сероцветными мергелями, красноцветными и коричневыми глинами и аргиллитами, алевролитами, песчаниками и конгломератами.

Триасовая система представлена только ветлужским ярусом нижнего отдела. Триасовые отложения распространены локально вблизи северной границы республики. По составу они близки к верхнепермским: состоят из чередующихся слоев песчаников, конгломератов и глин красно-коричневой окраски.

Неогеновая система представлена только акчагыльским ярусом верхнего плиоцена. Залегают эти отложения в сравнительно узких, глубоко врезаемых долинах Палео-Ижа, Палео-Кырыкмаса, Палео-Валы и др. рек южной Удмуртии. Состав отложений преимущественно глинистый. Внутри толщи глин имеются прослойки песков и алевроитов; в основании залегают галечники (Геология и нефтеносность..., 1976).

Отложения четвертичной системы залегают на территории Удмуртии в виде почти сплошного чехла рыхлых отложений, сравнительно небольшой мощности. По происхождению они подразделяются на элювиальные, склоновые, аллювиальные, болотные и эоловые (Бутаков, 1986).

Состав и характер залегания горных пород, выходящих на дневную поверхность, оказали существенное влияние на рельеф территории Удмуртии.

Длительный континентальный период развития рельефа, начавшийся с мезозоя, сопровождался неоднократной сменой тектонического режима и климата, что нашло выражение в образовании 3-х разновозрастных и разновысотных поверхностей выравнивания. Закономерно сгруппированное различие высот отражает ступенчатый характер строения денудационных равнин и является морфологическим выражением трех стадий денудационного выравнивания рельефа.

Верхняя ступень или наиболее древняя поверхность располагается на отметках более 250 м, средняя ступень имеет абсолютную

отметку 180-200 м, а нижняя 140-160 м. По своему происхождению все они являются денудационными (Дедков и др., 1974).

Особенности состава и условий залегания толщ казанского и татарского яруса пермской системы обуславливают некоторую специфику морфологии денудационных равнин. Слабо выраженный общий моноклиальный наклон пластов на север придает поверхности равнин черты куэстового строения (Дедков, 1974). Это объясняется, прежде всего, составом пород: поверхность равнины, сложенная устойчивыми и малоподатливыми процессам выветривания и размыва породами, характеризуется рельефом со слабым уклоном в сторону падения пластов горных пород. В местах выхода менее устойчивых и более податливых пород куэстовое строение поверхности заменяется на останцово — холмистое.

А. Г. Илларионов (1990) выделяет на территории Удмуртии 3 широтные куэстовые гряды: южная, совпадающая с правым склоном долины реки Камы на ее нижнем широтном отрезке; центральная — Шарканско-Мултанская, разделяющая реки бассейна Чепцы от рек бассейна Сивы, Ижа и Валы; северная Кулиго — Пудемская — является водоразделом верховий Камы и Вятки с одной стороны и правобережных притоков Чепцы — с другой.

Куэстовый характер строения денудационных равнин оказывает определенное влияние на морфологию долин малых рек и, соответственно, на формирование поверхностного стока.

Важную роль в становлении орографии Удмуртии сыграли и новейшие тектонические движения, существенно перестроившие древний структурный план. С их проявлением связано, прежде всего, обособление крупных морфоструктурных и орографических элементов на территории республики — возвышенностей и низменностей.

Самая крупная из возвышенностей — Верхнекамская — возникла на месте древней одноименной впадины и представляет собой типичную обращенную морфоструктуру (Бутаков и др., 1977). К ней приурочена наиболее высокая абсолютная отметка поверхности всей территории республики — 332 м (рис. 1.1). Соотношение двух других возвышенностей, Можгинской и Сарапульской, с древними структурами не совсем определено. Максимальные высоты этих возвышенностей составляют около 250 м (265 и 249 м соответственно). Первая из них отделяет реки Кильмезского бассейна от правобережных притоков Ижа, а вторая — служит водоразделом между левыми притоками Ижа и правыми притоками Камы.

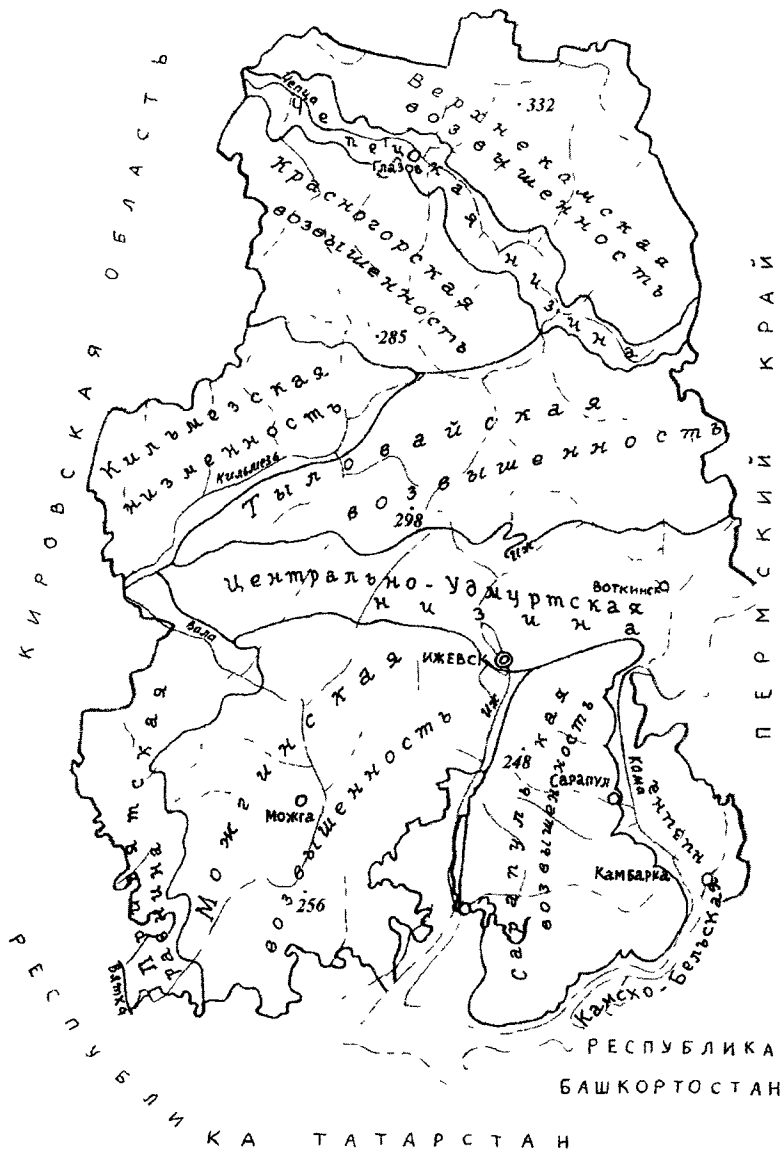


Рис. 1.1. Орфографическая карта Удмуртии
(по А. Г. Илларионову, 1990)

Кильмезская низменность вклинивается в западную часть Верхнекамской возвышенности. По отношению к древним структурам является гетерогенной. В пределах большей части низменности абсолютные отметки ее поверхности ниже 200 м и лишь редкие вершины холмов останцового характера достигают 220-230 м.

Следствием проявления новейших тектонических движений является степень расчленения территории Удмуртии. Наиболее низкие абсолютные отметки рельефа приурочены к днищам долин Камы и Вятки и составляют соответственно 56 и 51 м. В итоге общая амплитуда расчленения рельефа составляет почти 280 м. Однако анализ распределения глубин местных базисов эрозии свидетельствует о резко дифференцированном характере вертикального расчленения территории республики (Рысин, Бутаков, 1981). Наибольшая величина вертикального расчленения наблюдается вдоль правобережья реки Камы — почти 130 м (126,8). В пределах Верхнекамской возвышенности, несмотря на большие значения абсолютных отметок ее поверхности, величина вертикального расчленения незначительная — в среднем 56,2 м. В бассейне Чепцы средняя глубина расчленения рельефа составляет около 80 м. Средняя глубина расчленения Кильмезской низменности — 67 м.

В плиоцене заложилась долинная сеть основных рек (Кама, Вятка, Чепца, Иж, Вала и Кильмезь). Об этом свидетельствует плиоценовый возраст погребенных врезов, вскрытых в их днищах (Горецкий, 1964; Плиоцен и плейстоцен..., 1981).

Большое морфологическое разнообразие долин малых и средних рек обусловлено геологическими причинами, но в большей степени на формирование их современного облика оказали влияние крупные климатические циклы плейстоцена, сопровождаемые чередованием умеренно-гумидного и перигляциального типов морфогенеза (Дедков и др., 1977). Во время межледниковья шло формирование речных террас (Илларионов, 1990; Стурман, 1992). В эпоху оледенений в условиях сокращения водности рек и активизации склоновых процессов поверхности террас перекрывались толщей перигляциального аллювия, а в долинах малых рек — чехлом делювиально-солифлюкционных отложений. Накопление четвертичных отложений в речных долинах различалось по территории Удмуртии. В. И. Стурман (1992) делит территорию Удмуртии по условиям формирования и характеру распространения четвертичных образований на 3 региона: северный, средний и южный.

В пределах северной Удмуртии на наиболее высоких отметках поверхности залегают элювиально-делювиальные образования, представляющие собой суглинки, супеси, пески, плохо сортированные, обычно неслоистые, со значительным содержанием валунов, гальки и гравия, кварцевых песчаников, яшм. Их мощность достигает 7-9 м. Продукты размыва и переотложения этих образований в виде прерывистого суглинистого чехла небольшой мощности (1-3 м) встречаются на выположенных участках водораздельных склонов, в понижениях водоразделов.

Ниже на пологих склонах речных долин северной и восточной экспозиции залегают шлейфы делювиально-солифлюкционных суглинков со щебнем, гравием и галькой из верхнепермских пород. Их мощность 2-9 м. На крутых склонах южной и западной экспозиции спорадически встречаются коллювиальные образования — осыпи и оползни.

Долины рек северной Удмуртии характеризуются слабо развитым террасовым комплексом. Состав аллювия преимущественно песчаный, со значительным участием гравия и гальки. Пойменные и старичные суглинки и супеси имеют подчиненное значение. В долинах малых рек (верхней Камы, верхней Вятки, Кампызепа, Варыжа, Люка, Пызепа, Юса) выделяется лишь пойма и I надпойменная терраса. Мощность аллювия достигает 7-10 м. В пределах пойм и террас часто встречаются болотные отложения, представленные торфами. Исключением является долина Чепцы: здесь встречается 4 надпойменные террасы. Четвертая терраса является цокольной. В нижней части разреза преобладают пески, гравий, галька с подчиненными суглинками и супесями. Верхняя часть разреза представляет собой перигляциальный аллювий — суглинки и супеси. Общая мощность аллювия от 24 до 32 м. Третья терраса в нижней части сложена аллювием песчано-галечного состава, в верхней — суглинистым перигляциальным аллювием, вверх по разрезу постепенно переходящим в делювиально-солифлюкционные отложения. Мощность аллювия — от 16 до 22 м. Вторая терраса по строению напоминает третью, но отличается значительно меньшей высотой и лучшей выраженностью в рельефе. Мощность аллювия здесь — 9-13 м. Первая терраса не несет делювиально-солифлюкционного покрова, поэтому в ее составе господствуют пески. Общая мощность 8-12 м.

Пойма слагается преимущественно русловыми песками с галечниками в основании. Пойменные фации представлены супесями и суглинками небольшой мощности. Значительно участие старичных образований — торфов, илов, илистых суглинков. Общая мощность аллювия — всего 6-7 м. В пределах поймы широко распространены болотные отложения (торф).

Наиболее яркой и характерной чертой средней части Удмуртии является широкое распространение песчаных покровов. Основные массивы начинаются от третьей среднечетвертичной террасы Вятки и прослеживаются в виде суживающихся полос в направлении на восток и северо-восток (Вятский и Кильмезский массивы). Пески преимущественно кварцевые, со значительным содержанием кремня. Преобладает мелкая фракция песков. Поверхность песчаных массивов неровная и представляет собой сочетание дюн и междюнных понижений, нередко заболоченных. Мощность песков, как правило, 1-7 м, но в пределах крупных дюн может достигать 25 м (Бутаков, 1986). На «островах» среди песчаных массивов на поверхность выходят коренные породы и продукты их переработки, в т.ч. элювиально-делювиальные пуговые образования. На пологих водораздельных склонах, а также склонах речных долин залегают делювиально-солифлюкционные суглинки со щебнем мощностью до 20 м. В речных долинах Валы, Кильмези имеется до трех надпойменных террас. Они слагаются главным образом кварцевыми песками. Мощность аллювия доходит до 28 м.

В пределах южной Удмуртии наиболее высокие отметки приурочены к «пугам», где развиты элювиально-делювиальные россыпи гравия, гальки с песчаным, супесчаным и суглинистым заполнителем. Их мощность достигает 8 м. Делювиально-солифлюкционные отложения приурочены главным образом к пологим склонам северной и восточной экспозиции, а также ко второй, третьей и четвертой надпойменным террасам. Они представлены суглинками с включениями щебня. Мощность этих отложений доходит до 20 м, т.е. наибольшая для Удмуртии.

Комплекс отложений речных долин в южной Удмуртии развит наиболее полно. Третья надпойменная терраса, выраженная в долине Камы, Ижа, в нижней части разреза слагается русловыми песками и галечниками, в верхней части — суглинисто-супесчаным перигляциальным аллювием. Вторая надпойменная терраса (долины Камы, Ижа, Валы) тоже сложена песчаным

гумидным аллювием в нижней части и супесчано-суглинистым перигляциальным в верхней части. Мощность аллювия третьей и второй террас достигает до 20 м. Первая надпойменная терраса распространена более широко: в долинах Ижа, Валы, Постолки, Бобинки, Чажа, Сюги и др. рек. По строению и составу она сходна со второй. Мощность аллювия от 14 до 24 м в долине Ижа и от 4 до 10 м в долинах остальных рек. Поймы слагаются русловыми песками и галечниками, пойменными супесями и суглинками, старичными глинами и торфами. Мощность в долине Ижа — 12-15 м, на остальных реках — до 10 м.

Практически для всех рек Удмуртии характерно распространение преимущественно песчаных и песчано-галечных руслообразующих наносов. Состав руслообразующих наносов определяет устойчивость русел. Крупные и средние реки Удмуртии — Кама, Вятка, Чепца, Кильмезь — характеризуются преобладанием неустойчивых русел с числом Лохтина в среднем 1,3 (Морфология и динамика русел рек..., 1999).

В плейстоцене сформировалась и одна из характернейших морфологических черт долин малых рек — асимметрия их склонов. На малых реках широтного и меридионального направления наиболее четко проявилась климатическая асимметрия (Бутаков, 1977; Бутаков, Бабанов, Мозжерин, Алексенцева, 1977; Бабанов, 1979; Алексенцева, 1981). Для крупных рек Удмуртии — Кама, Вятка, Чепца (в низовьях) — характерен планетарный тип асимметрии, связанный с проявлением закона Бэра-Бабине. В условиях моноклиналиного залегания горных пород в долинах широтного направления наблюдается наложение климатического типа асимметрии на структурный тип (Илларионов, 1990).

Долины рек республики характеризуются широкими днищами. Для рек Удмуртии характерны так называемые унаследованные поймы, чей генезис непосредственно связан с перигляциальными условиями плейстоцена, когда шло формирование широких мульдообразных долин рек и балок (Бутаков, 1986), днища которых впоследствии были перекрыты голоценовым аллювием, представляющим современную высокую пойму.

В большинстве случаев малые реки имеют очень широкое днище долины, зачастую несопоставимое с размером русла. Значение ширины поймы изменяется по длине малых рек: в верховьях ширина поймы составляет 25-75 м, к устью увеличивается

в среднем до 200-300 м. Отношение ширины днища речных долин к ширине русла (W_0/V) в условиях свободного меандрирования для малых и средних рек Удмуртии в среднем составляет 52,2 (Перевощиков, 2003). По данным Н. Е. Кондратьева и др. (1982) данное соотношение для свободно меандрирующих рек Русской равнины составляет 18,3; по данным А. В. Чернова (1983) — 24.

Современное рельефообразование в Удмуртии представлено плоскостным смывом, эрозией временных и постоянных водотоков, склоновыми процессами, активность которых определяется ландшафтными условиями и характером антропогенного воздействия.

Одним из наиболее ярких геоморфологических процессов, в значительной степени изменяющих и формирующих современный рельеф, являются русловые процессы. Степень их проявления во многом зависит от характера рельефа и состава слагающих территорию пород.

Большое влияние на морфологию и динамику речных русел оказывает продольный уклон реки, от которого зависят формы транспорта наносов. В связи с этим выделяют три разновидности рек по русловому процессу: горные, полугорные и равнинные. В пределах равнинной территории Удмуртии перепады высот небольшие, уклоны поверхности меняются незначительно. Большинство рек, согласно Р. С. Чалову (1984), относятся к категории равнинных. Полугорное русло характерно лишь для верховий, где водоток имеет порядок ниже 3-го (по Философову-Стралеру).

В зависимости от размываемости пород, в которых формируется русло, выделяют свободные или ограниченные условия развития русловых деформаций, что проявляется в образовании широкопойменных или врезанных русел (Чалов, Алабян и др., 1998). Широкое распространение на территории Удмуртии рыхлых отложений четвертичного периода, перекрывающих коренные породы, наличие широких унаследованных пойм обуславливают преобладание свободных условий руслоформирования и широкопойменных русел. В районах выхода коренных пород на поверхность возникают частичные ограничения в развитии русловых деформаций, проявляющиеся в формировании вынужденных и адаптированных излучин при подходе или расположении реки возле коренного берега. Примеры такого рода можно наблюдать на реках Чепца, Лоза, Ита, в верховьях Вятки и Камы.

1.2. Климатические условия

Временный поверхностный сток наблюдается почти на всех участках поверхности суши, но постоянные русловые потоки возникают лишь при определенных физико-географических условиях. Река является, в первую очередь, «продуктом климата» (Воейков, 1884; Львович, 1986).

Многочисленные климатические факторы (атмосферные осадки, испарение, температура воздуха, солнечная радиация и др.) играют большую роль в формировании гидрологического режима рек.

Климат на территории Удмуртии умеренно континентальный, с продолжительной холодной и многоснежной зимой, теплым летом, с хорошо выраженными переходными временами года — весной и осенью (Агроклиматические ресурсы Удмуртской АССР, 1974).

Значительное влияние на климатические условия территории оказывают умеренные воздушные массы Атлантики, приобретающие континентальные черты из-за удаленности Удмуртии от океана. Однако именно с ними связана основная масса осадков, зимние оттепели и прохладная влажная погода летом. С юга и юго-востока нередко происходит вторжение континентальных тропических воздушных масс, приносящих летом засушливую жаркую погоду, а зимой потепление. При вторжении арктического воздуха происходит резкое понижение температуры, вызывающее зимой сильные морозы, а весной и осенью интенсивные заморозки. В целом на территории Удмуртии в течение всего года господствуют континентальные воздушные массы умеренных широт, определяющие температурный режим, характер осадков, силу и направление ветров.

Среднегодовая температура воздуха составляет около $1,6^{\circ}\text{C}$ в северо-восточных районах Удмуртии и около $2,8^{\circ}\text{C}$ в юго-восточных (Агроклиматические ресурсы Удмуртской АССР, 1974; Рысин, 2003).

Влияние температурного режима на величину и распределение стока сказывается через изменение испарения и непосредственно в периоды снеготаяния. Вскрытие и замерзание водоемов, рост ледяного покрова, условия протекания воды в теплый период года при открытом русле и при наличии ледяного покрова — все эти и другие особенности режима вод суши тесно связаны с температурными условиями атмосферы и почвы.

Первые осенние заморозки в воздухе в среднем начинаются 14-25 сентября. Самые ранние даты осеннего заморозка — 13-27 августа, в юго-восточных районах — 5-7 сентября. На поверхности почвы повсеместно заморозки возможны в первой половине августа. Продолжительность периода без заморозков в воздухе изменяется по территории Удмуртии в среднем от 110 дней на севере до 135 дней на юге. Промерзание почвы начинается обычно до появления снежного покрова: в третьей декаде октября в северной половине республики и в первой декаде ноября — в южной.

К концу ноября промерзший слой почвы составляет 30-40 см, а к концу декабря — 45-60. В марте промерзание почвы достигает наибольших значений: в северных районах 70-100 см, а на остальной территории — 65-90 см.

На большей части территории Удмуртии полное оттаивание почвы происходит в последней пятидневке апреля, на севере в начале мая.

На территории республики оттепели возможны в любой из зимних месяцев. Больше их бывает в ноябре и марте (около 9-11 дней за месяц).

Атмосферные осадки являются основным источником пополнения запасов вод суши. Различный характер выпадения осадков оказывает существенное влияние на процесс стока поверхностных вод и накопления запасов подземных вод. В среднем за год на большей части Удмуртии выпадает 500-600 мм осадков (Агроклиматические ресурсы Удмуртской АССР, 1974; Рысин, 2003). Количество их в отдельные годы бывает различным, однако в большинстве лет значительных отклонений годовой суммы осадков от нормы не бывает. На теплый период (апрель-октябрь), когда выпадают, главным образом, жидкие осадки, приходится 300-400 мм. За пять месяцев вегетационного периода (май-сентябрь), сумма осадков составляет 250-310 мм. Дожди в летние месяцы часто выпадают в виде интенсивных, но кратковременных ливней. Ежегодно возможны ливни с количеством осадков до 30 мм. Ливни, дающие 50-60 мм осадков, бывают раз в 10 лет. Максимальное число дней с ливнями приходится на июль месяц. Осадки значительной интенсивности и продолжительности могут способствовать сильным подъемам уровня воды в реках, вплоть до затопления пойменной поверхности, проводить огромную по объемам эрозионную деятельность.

В климатических условиях изучаемой территории значение снежного покрова как фактора режима вод суши весьма велико. Снежный покров снижает степень промерзания грунтов и водоемов. В период весеннего таяния в реки поступают большие массы воды, что приводит к резкому увеличению водности рек и активизации русловых процессов.

Снежный покров на территории республики образуется во второй декаде ноября и достигает максимальной высоты во второй декаде марта (55-60 см, местами 70 см — в северо-восточных районах; 45-55 см — на остальной территории).

Интенсивное снеготаяние начинается 5-10 апреля и окончательный сход снежного покрова происходит в конце второй-начале третьей декады апреля. Продолжительность снеготаяния на севере составляет около 25 дней, на юге — 20 дней. Средняя продолжительность залегания снежного покрова — 160-170 дней. Максимальные запасы влаги в снеге накапливаются к весне и в среднем на севере республики составляют 156 мм, в южных районах — 144 мм. Запасы влаги в снежном покрове далеко не полностью поступают в почву, образуя поверхностный сток.

Количество воды в снежном покрове зависит от его плотности. Плотность свежевыпавшего снега мала и составляет около $0,1 \text{ г/см}^3$. В течение зимы она увеличивается в основном под влиянием оттепелей. В марте обычно плотность снежного покрова достигает максимальной величины, составляя $0,25-0,30 \text{ г/см}^3$.

Большую часть года преобладает юго-западное направление ветра. Средняя повторяемость ветра этого направления — 20-30%. Летом преобладают ветры северо-западных румбов. Средняя годовая скорость ветра 3-4 м/с. Колебание ее по месяцам незначительное: от 2,6 до 5,1 м/с. Наибольшие скорости ветра отмечаются зимой (октябрь-март), наименьшие — летом, в июле и августе. Штилевая погода бывает редко, в среднем всего 6-13 дней в году.

Ветры оказывают влияние на перераспределение снежного покрова, соответственно, западные склоны оказываются более занесенными снегом, более увлажненными.

Достаточно влажный климат территории Удмуртии обуславливает формирование хорошо развитой речной сети. Гидрологический режим рек, руслоформирующие расходы, влияющие на интенсивность развития русловых процессов, определяются, прежде всего, климатическими параметрами.

1.3. Гидрография

Гидрографическая сеть территории Удмуртии приурочена к бассейнам рек Камы и Вятки. По данным Казанского отдела гидрологии и водных ресурсов Сев. НИИГиМа (1973) суммарная протяженность рек Удмуртии превышает 29,7 тыс. км. Большинство водотоков имеют длину менее 10 км, их насчитывается более 7000, что составляет почти 95 % от общего количества всех рек Удмуртии. Суммарная протяженность самых малых рек превышает 19 тыс. км. Малых рек (длиной до 100 км) насчитывается 368, их общая длина превышает 8 тыс. км. Общее количество средних рек (длиной до 500 км) и крупных (длиной более 500 км) рек всего 15, их суммарная протяженность в пределах Удмуртии — 2186 км (Ведомости длин..., 1973).

Реки покрывают республику густой сетью. «Гидрографический центр» расположен на Верхнекамской возвышенности. Здесь берут начало Кама, Вятка и их многочисленные притоки.

Современная конфигурация речной сети Удмуртии сформировалась в основном под влиянием событий четвертичного периода: климатических ритмов, неотектонических движений, оледенений и процессов выветривания.

Средняя густота речной сети Удмуртии составляет 0,54 км/км². Ее распределение по территории в силу неоднородности физико-географических факторов неравномерное: проявляется зональное увеличение густоты речной сети с юга (0,30-0,45 км/км²) на север (0,60-0,70 км/км²). В центральных районах данный показатель имеет значение 0,48-0,52 км/км². Наибольшей густотой (0,8-1,0 км/км²) характеризуются верхние звенья речной сети (Рысин, 1995).

Особенность рисунка речной сети Удмуртии — меридианальное направление течения многих рек, особенно в возвышенной северной части: большинство правых притоков р. Чепцы текут с севера на юг, левые притоки — с юга на север. Близкое к меридианальному направлению течения имеют реки более низменной южной и западной частей республики — Иж, Сива, Тойма, притоки Кильмези, Валы.

Величина среднего многолетнего объема речного стока территории Удмуртии составляет 65,7 км³. Основная его доля падает на две транзитные реки — Каму и Вятку. Объем стока малых и средних рек республики незначительный — 7,9 км³ (Ресурсы..., 1973; Многолетние..., 1988).

Наиболее крупными реками республики (после Камы и Вятки) являются Чепца с Лозой и Лекмой, Кильмезь с Валой и Лумпуном (бассейн р. Вятки), Иж, Сива, Тойма -- правые притоки р. Камы (табл.1.1).

Таблица 1.1.

Характеристика основных рек Удмуртии

Название реки	Бассейн	Длина, км	Площадь водосбора, км ²	Средний многолетний расход реки, м ³ /с (пункт)
Кама	Волги	2032	522000	1730 (г. Сарапул)
Вятка	Камы	1370	129000	868 (г. В. Поляны)
Чепца	Вятки	501	20400	123 (д. Градобои)
Кильмезь	Чепцы	270	17240	89,5 (д. Вичмарь)
Иж	Камы	270	8510	17,7 (г. Агрыз)
Сива	Камы	206	4870	21,5 (д. Беркуты)
Вала	Кильмези	196	7360	21,4 (с. Вавож)
Лумпун	Кильмези	158	1550	8,1 (д. Шмыки)
Лоза	Чепцы	127	3030	7,7 (п. Игра)
Лекма	Чепцы	127	1580	9,8 (устье)
Тойма	Камы	124	1450	6,3 (с. Гусевка)

Р. Кама — крупнейшая река Удмуртии. На протяжении 35 км в истоках и 180 км в среднем течении протекает по территории республики. В пределах Удмуртии в среднем течении ширина русла колеблется от 500 до 1500 м., глубина на перекатах составляет 1,5-2,5 м, на плесах достигает 3-8 м. Главные правые притоки Камы на территории Удмуртии — рр. Сива, Нечкинка, Бол. Сарапулка, Мал. Сарапулка, Иж, Тойма; левые — Бол. Ужуиха, Шолья, Камбарка, Буй. Среднегодовой расход воды у г. Сарапула до создания Камской и Воткинской ГЭС составлял 1730 м³/сек. В настоящее время сток Камы в пределах Удмуртии регулируется водохранилищем Воткинской ГЭС. В связи с этим русло реки и характер русловых процессов сильно изменены. В дальнейшем в работе р. Кама не рассматривается.

Крупнейшим правым притоком р. Камы является р. Вятка, которая по территории Удмуртии протекает в своем верхнем течении около 20 км на севере и в нижнем течении на протяжении 11 км на юго-западе. Ширина ее русла у с. Крымская Слудка — 320-350 м, глубина на перекатах — 2-3 м. Характеризуется небольшими уклонами и небольшой скоростью течения. По территории Удмуртии

протекают ее левые притоки — Чепца, Кильмезь, Умяк, Казанка, Пыжманка, Люга.

Река Чепца пересекает территорию Удмуртии в своем среднем и нижнем течении на протяжении 285 км. Площадь ее бассейна в пределах республики — 19126 км² (Кузьминых, 1972). Бассейн отличается асимметричным строением: левобережье почти в 2,5 раза превышает площадь правобережья. Густота речной сети в пределах бассейна составляет 0,61 км/км². Долина реки трапецеидальной формы, хорошо разработана. В верховьях ширина долины от 300-400 м, в устьевой зоне увеличивается до 8-10 км. Широкая долина свидетельствует о ее полноводности в прошлом. Правый склон долины крутой, высокий, левый — пологий. Средний уклон реки изменяется по длине реки от 0,05‰ в верховьях до 0,02‰ в устье. Ширина русла в верхнем течении изменяется от 5-10 до 25-35 м, в среднем течении от 30-50 до 100-140 м. Глубина в верховьях составляет 0,1-0,6 м на перекатах и 1-3 м на плесах, в среднем течении — 0,4-1,5 и 2-6 м соответственно. Чепца по сравнению с другими реками Удмуртии отличается быстрым течением: скорость на плесах колеблется от 0,4 до 0,5 м/с, на перекатах — до 1,3 м/с.

Река имеет свыше 60 притоков. Наиболее крупные правые притоки — Лып с Юсом, Люк, Пызеп с Варыжем, Люм, Пудем; левые — Ирымка, Лоза, Кеп, Юнда, Сепыч, Убыть, Лекма, Лема, Сада.

Река Кильмезь — второй (после Чепцы) по длине и площади бассейна приток р. Вятки. Длина реки в пределах Удмуртии 195 км, площадь водосбора — 6045 км². Густота речной сети в пределах бассейна 0,48 км/км². В верховьях уклон реки 0,13‰, к устью понижается до 0,04‰. Долина Кильмези слабо врезанная, сравнительно широкая (местами до 3 км), сложена преимущественно песками. Пойма широкая, заболоченная, сильно залесенная. Русло в верховьях шириной до 20-50 м, к устью увеличивается до 75 м (Кузьминых, 1972). В Кильмезь впадает более 25 притоков: правые — Пестерь, Уть с Турнэ, Кырчма, Визирма, Лумпун и др.; левые притоки — Вала, Арлеть, Большой Кутык и др.

Река Иж протекает в центральной части Удмуртии. Общая длина реки 270 км, в пределах республики — 191 км. Площадь бассейна — 8510 км². Густота речной сети — 0,46 км/км². Средний уклон реки 0,06‰. Ширина русла в среднем течении изменяется от 15 до 30 м, в нижнем достигает 50-60 м. Глубина на перекатах изменяется от 0,5-1,0 м в верхнем течении, до 1,5-3,3 м в среднем

и нижнем. Средняя скорость течения — 0,3 м/с. Иж принимает более 30 притоков. Наиболее крупные левые притоки в пределах Удмуртии — Мукшинка, Вожойка, Позимь, Кырыкмас, и др.; правые — Селычка, Чур, Люк, Сепыч, Постолка, Бобинка, Чаж и др.

В восточной части республики протекает река Сива. Общая длина реки — 206 км, на территории республики — 72 км. Площадь бассейна 4870 км², густота речной сети — 0,3 км/км². Средний уклон составляет 0,08‰. Ширина русла в нижнем течении доходит до 30-40 м, к устью увеличивается до 50-60 м. Глубина изменяется от 0,3-0,8 м на перекатах и до 1,5-2,1 м на плесах. Преобладающая скорость течения — 0,6-0,8 м/с. Главные ее притоки — Лып, Кивара, Вотка.

Таким образом, речная сеть Удмуртии хорошо развита. Территория дренируется многочисленными реками, среди которых преобладают малые.

1.4. Почвенно-растительный покров

Почвенно-растительный покров Удмуртии сформировался в условиях умеренно-континентального климата, холмисто-увалистого рельефа на продуктах выветривания осадочных пород перми и триаса, переотложенных в четвертичном периоде аллювиальными, делювиально-солифлюкционными и эоловыми процессами.

В прошлом в лесах Удмуртии доминировали хвойные породы. Их сведение привело к формированию вторичных лесов, представленных мелколиственными, а в южных районах широколиственными породами деревьев, сменивших подзолистое почвообразование дерновым. Наибольшая интенсивность сведения лесов была характерна для южных районов, бассейнов рек правобережья р. Камы и нижнего течения р. Ижа, о чем свидетельствуют минимальные показатели лесистости данного региона и частичное остепнение (Редкие и исчезающие виды..., 1988).

В целом Удмуртия расположена в лесной зоне. Северная часть относится к подзоне южной тайги, а южная — к зоне широколиственно-хвойных лесов Русской равнины. В настоящее время леса занимают примерно 20,14 тыс. км², что составляет 47,9% от всей площади республики (О состоянии..., 2004). Наибольшей лесистостью отличаются западные, центральные районы и крайний север республики (до 74%). Минимальные показатели лесистости характерны для южных и юго-восточных районов (до 18%).

Растительность, являясь функцией климата, почв, подстилающих их грунтов и материнских пород, а также хозяйственной деятельности, несомненно, оказывает влияние на процесс формирования речного стока. Весенние половодья и осенние паводки под влиянием леса заметно удлиняются, а межень укорачивается (Шикломанов, 1989). Леса способствуют увеличению осадков. Создавая ветровую и тепловую тень, лес оказывает влияние на более равномерное накопление снега, уменьшение его плотности и теплопроводности и поэтому — уменьшение глубины промерзания почв. Снеготаяние в лесу начинается и заканчивается позже, чем в поле и отличается большей продолжительностью и меньшей интенсивностью. Рыхлая лесная подстилка обладает большей влагоемкостью, проницаемостью и шероховатостью, поэтому почва получает больше воды и пополняются запасы подземных вод; паводок на реках лесных бассейнов уплотняется, благодаря чему исчезают характерные для рек безлесных бассейнов паводочные пики, а повышенная водность сохраняется и в первую половину лета (Шикломанов, 1989).

Растительность оказывает существенное влияние, непосредственное и косвенное, на работу рек. Ослабляя смыв со склонов и уменьшая количество твердого материала, поступающего с междуречных пространств, растительный покров создает условия для более глубокого врезания речных долин — активизации глупбинной эрозии.

Сведение лесов вызывает резкое увеличение половодного и паводочного расходов, но при некотором сокращении их продолжительности. Этот момент является важным в отношении русловых процессов, т.к. именно с весенним половодьем связано прохождение руслоформирующих расходов и затопление пойменной поверхности. Изменения гидродинамических характеристик потока оказывают влияние на весь ход эрозионно-аккумулятивных процессов в днище речной долины и, в частности, на изменение динамики русловых процессов (Дедков, Можерин, 1984).

Характером растительного покрова во многом определяются особенности почвенного покрова. На протяжении последних тысячелетий господствующим, почвообразующим процессом на территории Удмуртии является подзолистый, наряду с которым широко распространен дерновый и болотный. Однако неоднородность природных условий на исследуемой территории обусловила широ-

кий спектр сочетания факторов почвообразования, что нашло свое отражение в большой пестроте ее почвенного покрова.

Количественная оценка распространения того или иного типа почв разного механического состава в речных бассейнах очень важна для оценки роли этого фактора в формировании режима речного стока. Для характеристики стока почвы представляют интерес как емкости, обладающие определенной водопроницаемостью, влагоемкостью, инфильтрацией. Количественное влияние почвенного покрова на средний многолетний сток сводится и к размеру испарения, которое для малопроницаемых грунтов обычно больше, чем для сильнопроницаемых (Львович, 1986).

В почвенном покрове Удмуртии ведущая роль принадлежит подзолистым почвам (69,3%) (табл. 1.2), среди которых наибольшее распространение получили дерново-подзолистые (59,2%), сформировавшиеся на породах преимущественно супесчано-суглинистого состава (О состоянии природной..., 2004; Ковриго, 2004). По механическому составу встречаются суглинистые, супесчаные и песчаные дерново-подзолистые почвы.

Таблица 1.2.

Структура почвенного покрова Удмуртии (О состоянии природной..., 2004)

Почвы	Общая площадь		Преобладающий механический состав
	тыс. га	%	
Подзолистые	422,6	10,1	Супесчаные, среднесуглинистые
Дерново-подзолистые	2491,1	59,2	
Дерново-карбонатные	114,2	2,7	Глинистые, тяжелосуглинистые
Дерново-глеевые	25,2	0,6	Тяжелосуглинистые
Серые лесные	337,7	8,0	Средне-, тяжелосуглинистые
Пойменные, болотные	425,0	10,1	Супесчаные
Овражно-балочные	321,3	7,7	Тяжелосуглинистые
Прочие (в т.ч. под водой)	69,2	1,6	
Всего	4205,7	100,0	

Аллювиальные и серые лесные почвы по своей доле занимают соответственно 2 и 3 места. Если подзолистые и аллювиальные почвы встречаются повсеместно, то основные массивы серых лесных оподзоленных почв находятся в юго-восточной части республики.

Значительная расчлененность рельефа овражно-балочной сетью способствует широкому распространению смытых и намывных почв (7,7%).

Ограничены в своем распространении дерново-карбонатные почвы, занимающие всего 2,7% территории. В основном они формируются на элювии карбонатных коренных пород перми и триаса и приурочены, как правило, к возвышенным водораздельным участкам, к местам выхода на дневную поверхность соответствующих пород. Основные массивы их сосредоточены в южной и восточной частях Удмуртии. Дерново-карбонатные почвы в основном представлены тяжелыми суглинками, содержащими до 50% физической глины.

Дерново-глеевые, болотные почвы и торфяники занимают 4,8% территории Удмуртии, из них на долю пойменных болотных почв приходится около 4,2%. Они распространены повсеместно в речных долинах и понижениях рельефа с избыточным увлажнением (Кузнецов, 1994).

На основе методики определения противозерозионной устойчивости почв Г. В. Бастркова (1975, 1983), основанной на сопротивлении почв размыву, И. И. Рысиным (1990) было установлено, что наименьшими показателями эрозионной прочности характеризуются дерновые сильно- и среднеподзолистые супесчаные и легкосуглинистые почвы; дерново-подзолистые, серые лесные и дерново-карбонатные почвы средней и сильной смывости. Максимальная эрозионная прочность характерна для темно-серых, дерново-слабоподзолистых, серых лесных и дерново-карбонатных тяжелосуглинистых почв, где в качестве основных критериев устойчивости почвы выступают высокое содержание гумуса и тяжелосуглинистый состав почвообразующих пород.

Огромное количество продуктов смыва почв междуречных пространств сносится в речные долины, отлагаясь частично в поймах, частично поступая в русло. С этим тесно связан сток речных наносов, интенсивность и направленность развития русловых процессов.

Таким образом, развитие речных русел на территории Удмуртии определяется сочетанием различных природных факторов: 1) влажный климат способствует развитию густой речной сети; 2) небольшие перепады высот и уклоны территории обуславливают преобладание равнинных рек; 3) широкое распространение легкоразмываемых отложений определяет преобладание свободных условий руслоформирования и развитие широкопойменных русел.

2. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК УДМУРТИИ КАК ФАКТОР РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Русловые процессы проявляются в постоянно происходящих изменениях морфологии речного русла под действием речного потока. Эти изменения — следствие непрерывного взаимодействия потока и русла реки, образующих вместе единый комплекс (Великанов, 1958). Соответственно, основным ведущим фактором русловых процессов является сток воды, а потоку принадлежит активная роль в русловом процессе. Поэтому сток воды определяет главные особенности руслоформирующей деятельности реки. Водоносность реки, сезонные и многолетние изменения стока, интенсивность колебания горизонтов воды, ледовый режим — все это влияет на транспортирующую способность потока и ее изменения по длине реки и во времени, условия размыва русла и аккумуляцию наносов, главные морфометрические характеристики русла (Чалов, 1984).

Важным фактором, определяющим механизм руслового процесса, является количество и состав речных наносов. Перемещаясь во взвешенном или влекомом состоянии, они создают аккумулятивные формы рельефа речного русла, в значительной степени определяют характер самого течения, вызывают уменьшение или увеличение живой силы потока.

По образному выражению Н. С. Лелявского (1893) «двигательной пружиной» руслового процесса является движение воды, характер которого определяется гидрологическим режимом. Среди гидрологических факторов наиболее существенную роль в русловом режиме играет сток воды, характеризуемый водоносностью рек, многолетней и внутригодовой неравномерностью стока. Показателями водо-

носности реки служат средний многолетний расход воды (норма стока), максимальные расходы весеннего половодья и продолжительность волны половодья.

Основная доля стока рек приходится на Каму и Вятку. Среднегодовой объем стока р. Чепцы составляет 2,9 км³, Кильмези с Валой — 1,73 км³, Ижа — 1,08 км³ (Рысин, 1995). Величины средних расходов рек Удмуртии также невелики: не превышают 3 м³/сек на самых малых реках и увеличиваются до 20 м³/сек и более на средних.

Реки республики характеризуются высокой водностью. Наглядным показателем водности является модуль стока (рис. 2.1). Наиболее низкий модуль стока — 4,0-4,8 л/с • км² - наблюдается на реках южной части республики, что объясняется небольшим количеством осадков и небольшими площадями лесов и болот. По направлению на север модуль стока возрастает в средней части республики до 6,5 л/с • км², на севере до 8,5 и более л/с • км² (Многолетние ..., 1988).

По классификации Б. Д. Зайкова реки Удмуртии относятся к восточно-европейскому типу. В водном режиме четко проявляются весеннее половодье, летняя межень, летние и осенние дождевые паводки, зимняя межень (рис. 2.2) (Ресурсы поверхностных вод..., 1973). Питание рек осуществляется, тальми снеговыми, подземными и дождевыми водами. Доля источников питания различна для рек северной и южной частей Удмуртии (О состоянии природной среды..., 2004) (табл. 2.1).

Таблица 2.1.

Доля источников питания рек Удмуртии (%)

Районы Удмуртии	Источники питания		
	Талые снеговые воды	Дождевые воды	Подземные воды
Северный	56	20	24
Южный	60	10	30

Внутригодовое распределение стока неравномерно. В период весеннего половодья проходит в среднем 60-70 % годового стока (изменяясь по годам от 45 до 85 %). На долю летне-осенней межени остается не более 10,0-12,0 %, зимней межени — 18,0 %. На реках южной части Удмуртии в весенний период проходит 75-80 % годового стока, в летне-осенний период 20,0-25,0 % стока, в зимнюю межень — 8,0-10,0 % (Многолетние..., 1988; Ресурсы..., 1973).

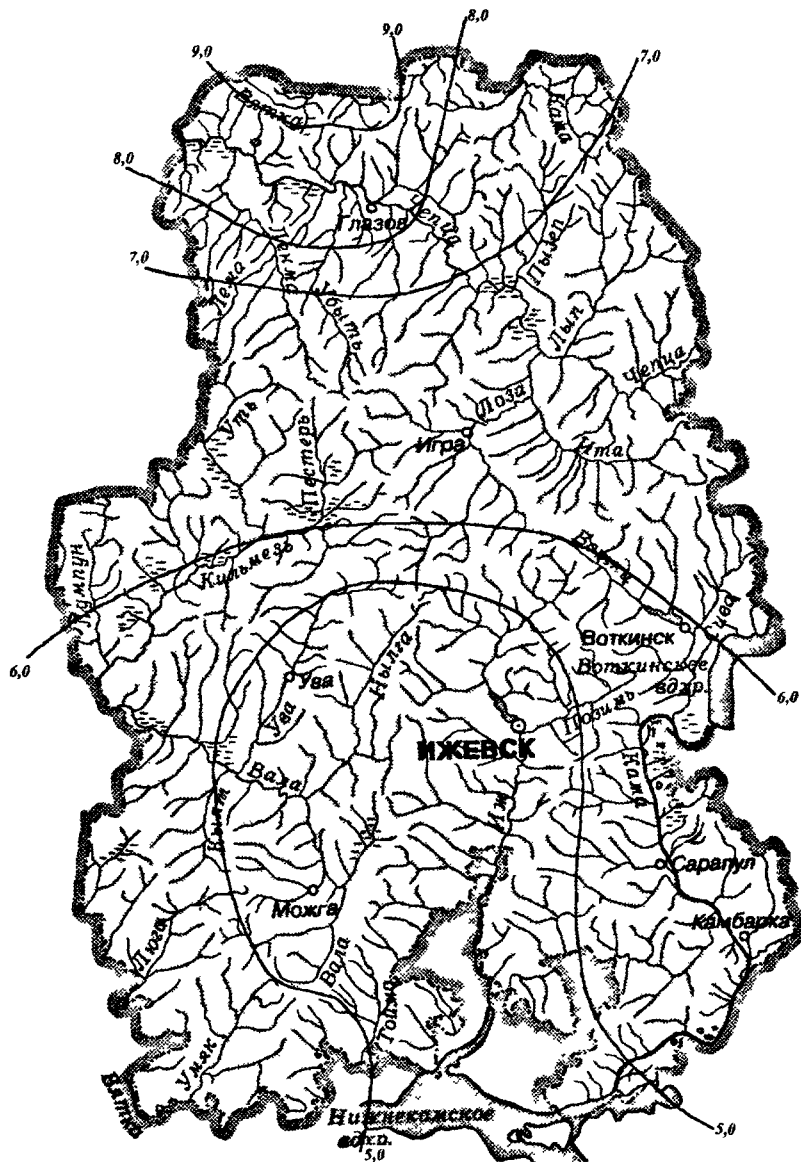


Рис. 2.1. Средний годовой сток рек ($л/сек \cdot км^2$) (Ресурсы поверхностных вод СССР..., 1973; Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 1988)

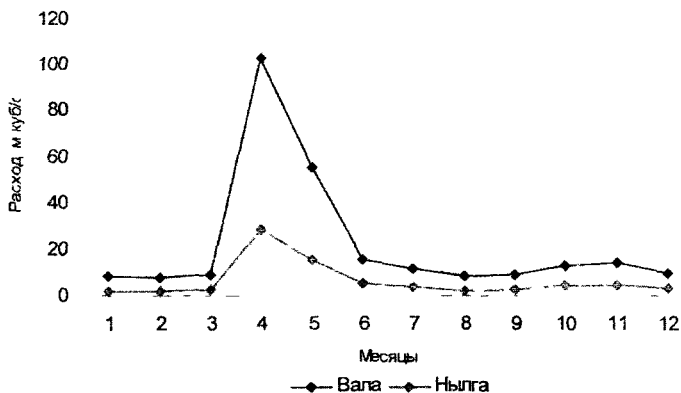


Рис. 2.2. Многолетние среднемесячные расходы рек Вала и Нылга

Вскрытие рек весной происходит одновременно. Небольшие реки южной Удмуртии вскрываются 10-12 апреля. В бассейнах рр. Кильмези и Чепцы, по данным многолетних наблюдений, вскрытие происходит в среднем 17-19 апреля. Средняя продолжительность весеннего ледохода на малых реках 1-4 дня, на средних и крупных 5-7 дней. Продолжительность весеннего половодья на малых реках около месяца, на средних — 40-45 дней. На реках со значительной заболоченностью бассейна половодье возрастает до 50-52 дней. Средний слой весеннего стока изменяется в пределах республики от 90 мм (190 мм при 1 %-ной обеспеченности) на юге до 160 мм (300 мм при 1 %-ной обеспеченности) на севере (рис.2.3). При этом модуль стока 1 %-ной обеспеченности может изменяться в значительном диапазоне от 100 л/с·км² (р. Кильмезь) до 1000 л/с·км² (р. Вала) (Ресурсы поверхностных вод, 1973). Соответствующие нормы весеннего стока обеспечивают быстрый подъем уровня воды в реках, величина которого составляет в среднем 3,5-4,5 м, достигая на отдельных реках до 5-6 м (Тойма, Вала) относительно наинизшего летне-меженного уровня (Рысин, 1995).

Самые низкие уровни на малых реках южной Удмуртии (Тойма, Б. Сарапулка) устанавливаются в июле, на реках северной половины — в августе. В летний период возможны временные дождевые паводки различной интенсивности, количество которых в среднем составляет от 1 до 3 за сезон, увеличиваясь в дождливые годы до 4-8. В отдельные годы в результате обильных ливневых осадков малые реки могут выйти из берегов.

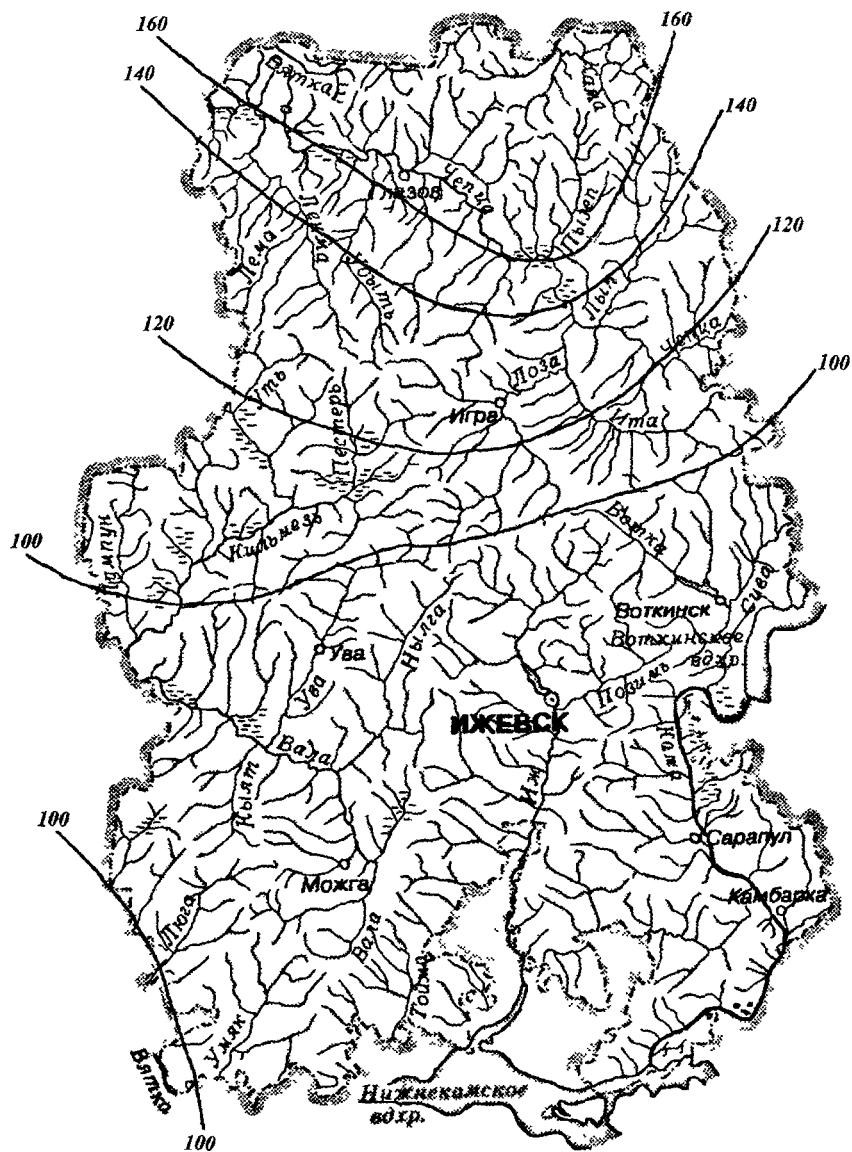


Рис. 2.3. Средний слой весеннего стока (мм)
 (Ресурсы поверхностных вод СССР..., 1973)

В осенний период уровень воды увеличивается из-за дождей обложного характера (в среднем на 1-2 м). Низкие уровни наблюдаются в зимние месяцы из-за перехода рек на грунтовое питание. Средние низшие уровни зимней межени вследствие ледового покрова обычно выше летне-меженных на 0,10-0,25 м.

Режим годового стока рек аналогичен режиму их уровней. Максимальные расходы наблюдаются в период весеннего половодья и превышают среднегодовые расходы в 10-20 раз. На малых реках южной половины республики, отличающихся низкой залесенностью водосборов, расходы половодья превышают среднегодовые в 30-40 раз и более. Паводочные расходы по величине уступают половодным. Минимальными являются расходы в периоды летней и зимней межени. Меженные расходы меньше среднегодовых в 4-6 раз (табл.2.2).

Таблица 2.2.

Основные характеристики стока рек Удмуртии (Рысин, 1995)

Река (пункт)	Среднегодовой расход, м ³ /с	Среднегодовой модуль, л/с•км ²	Средние расходы, м ³ /с		
			Наибольший годовой	наименьший	
				летний	зимний
Чепца (с. Полом)	35,3	5,95	683	4,07	4,35
Чепца (г. Глазов)	62,3	6,39	1020	10,9	8,59
Лоза (пгт Игра)	6,81	6,14	117	1,42	1,27
Кильмезь (д. Вичмарь)	84,6	5,16	1020	21,8	19,4
Лумпун (д. Шмыки)	7,47	6,17	155	1,59	1,35
Вала (с. Вавож)	20,0	4,19	277	3,75	4,22
Нылга (с. Нылга)	5,14	4,38	57,5	0,83	1,24
Иж (г. Агрыз)	17,7	4,46	240	4,50	4,50
Позимь (г. Ижевск)	3,22	4,19	35,8	0,60	0,40
Б. Сарапулка (с. Поркачево)	1,14	4,62	47,5	0,19	0,17
Тойма (с. Гусевка)	6,3	4,85	219	0,89	0,83

Эрозионно-аккумулятивная деятельность речного потока зависит от того, насколько он насыщен наносами. Соответственно, важным фактором русловых процессов, помимо стока воды, является сток наносов (Алексеевский, Чалов, 1998; Алексеевский, 1998; Бутаков и др., 2000; Чалов, Штанкова, 2003 и др.). Отдельные характеристики стока наносов — величины стока влекомых и взвешенных наносов, степень изменения стока по длине реки, соотношения активной и пассивной функций наносов — определяют тип русла, интенсивность русловых деформаций.

Среднегодовая мутность рек Удмуртии колеблется в пределах 70-160 г/м³ (Удмуртская Республика..., 2000). Показатель мутности воды изменяется в течение года: пик мутности отмечается в период весеннего половодья и летних паводков, на порядок превышая среднегодовые показатели (значения ее достигают 600-800 г/м³, а в отдельных случаях 1000 г/м³) (рис. 2.4). При этом в южных районах республики мутность отдельных рек может достигать аномально высоких значений (2500 г/м³ р. Тойма). В зимний период мутность снижается до 20-40 г/м³ (Рысин, 1995; Перевощиков, 1997). В целом за весенний период реками переносится от 93 % до 97 % годового стока наносов (апрель — 77-88 % от сезонного объема стока). Из летних месяцев выделяется июль, сток наносов которого составляет порядка 26-36 % от летне-осенних объемов стока (Ресурсы поверхностных вод..., 1973).

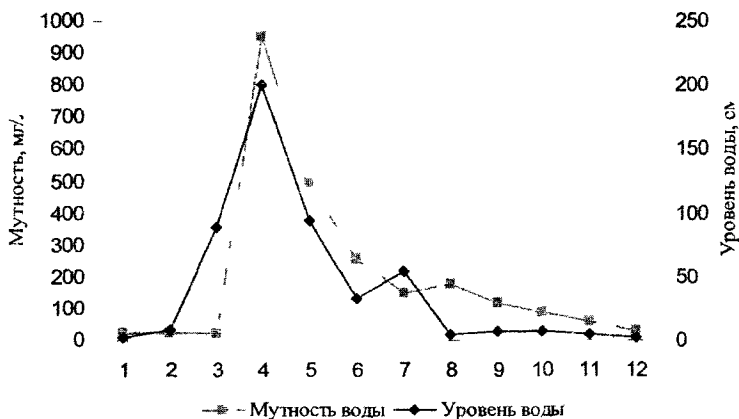


Рис. 2.4. Изменение мутности воды реки Сепожки за период 1999-2000 гг.

Среднегодовые модули стока взвешенных наносов рек Удмуртии изменяются от 30 т/год · км² и менее в северных и западных районах до 90 т/год · км² и более в южных (рис. 2.5) (Ресурсы поверхностных вод..., 1985; Рысин, 1981).

Минимальный сток взвешенных наносов (менее 30 т/год · км²) происходит в бассейне р. Чепцы и р. Кильмези в среднем течении, что объясняется наибольшей залесенностью их водосборов. К тому же второй бассейн отличается малыми глубинами расчленения (50-60 м) и большой заболоченностью.

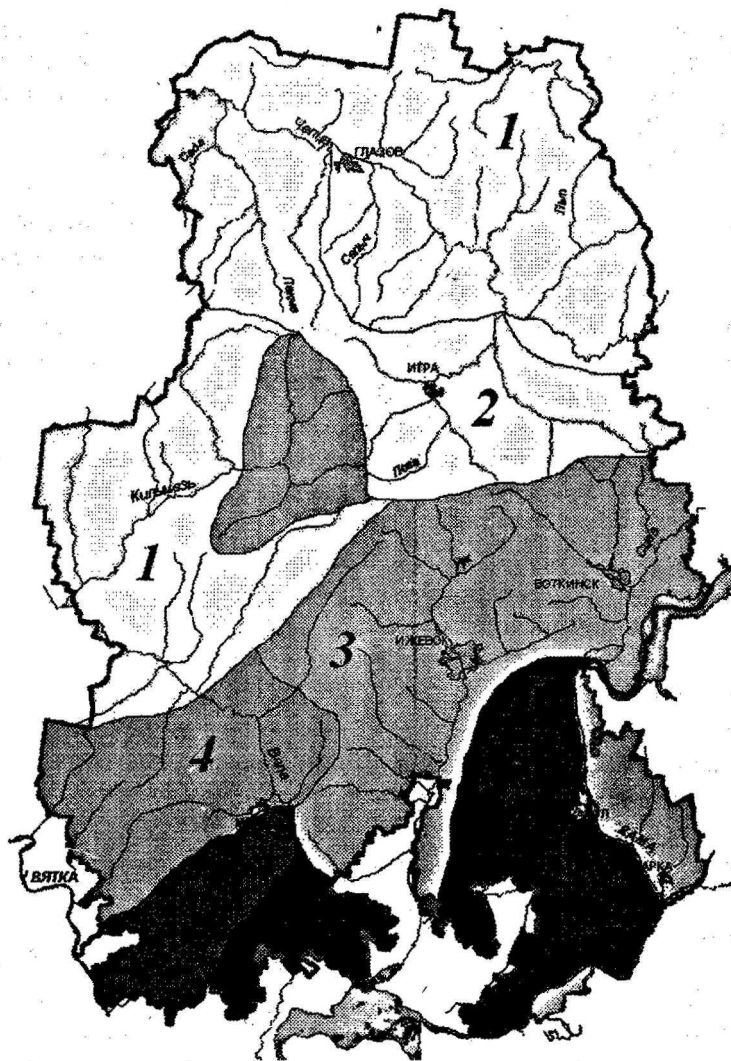
Модуль стока взвешенных наносов повышается до 30-45 т/год · км² в бассейнах рек Лозы, Иты, Убыти и Лекмы, что обусловлено уменьшением их залесенности и увеличением распаханности. Отдельные районы здесь по залесенности не уступают южным. В бассейне р. Лозы широко распространены легко размываемые песчаные отложения.

Повышение модулей стока взвешенных наносов до 45-60 т/год · км² в бассейне верхней Кильмези вызвано уменьшением лесистости, особенно в ее левобережной части, увеличением глубины эрозионного расчленения до 75-100 м и широким распространением легкоразмываемых песчаных отложений.

Аналогичные модули стока взвешенных наносов характерны для бассейнов рек Сивы, Ижа и Нылги. Лесистость в этих районах уже составляет 30-40 %, глубины расчленения достигают 100-120 м, но здесь широко распространены дерново-карбонатные почвы, более устойчивые в отношении смыва по сравнению с дерново-подзолистыми почвами в бассейнах последних рек. Определенное влияние на твердый сток оказывает и овражная эрозия, получившая здесь распространение.

Модули стока взвешенных наносов в бассейнах средней Валы и левых притоков р. Вятки (рек Люги, Пыжманки, Казанки) достигают 60-75 т/год · км², что также объясняется уменьшением лесистости и увеличением их распаханности (35-45 %), широким распространением песчаных отложений, значительными глубинами местных базисов эрозии (120-140 м) и развитием овражной эрозии.

Максимальная интенсивность эрозии отмечается в бассейнах рек Умяк, Тойма, Кырыкмас и на правобережье Камы, где модули стока наносов достигают 75-90 т/год · км² и выше. Бассейны этих рек имеют минимальную лесистость (10-20 %) и наибольшую распаханность (60-70 %). Глубины местных базисов эрозии здесь составляют 120-150 м, отмечается интенсивное развитие овражной эрозии.



Условные знаки:



<30



30-45



45-60



60-75



75-90



>90

Рис. 2.5. Модули стока взвешенных наносов рек Удмуртии (т/км²·год)
(по И. И. Рысину, 1981)

Левобережье Камы в отличие от ее правобережной части имеет незначительные модули стока взвешенных наносов (45-60 т/год · км²) вследствие ее большой залесенности, слабой распаханности, малых уклонов поверхности и глубин местных базисов эрозии (60-80 м).

Таким образом, величина стока взвешенных наносов рек определяется как геолого-геоморфологическими условиями, так и в значительной степени изменением почвенно-растительного покрова человеком (распашкой земель, вырубкой лесов и др.). В связи с этим южные и восточные районы республики характеризуются повышенными величинами данного показателя.

Если величины стока взвешенных наносов можно получить по данным гидропостов, где определяется мутность рек (по графикам связи измеренных расходов воды и наносов), то расходы влекомых наносов на реках не измеряются. Но в последнее время появились работы, где приводятся данные о стоке влекомых наносов, рассчитанные по методике Н.И. Алексеевского (1998), основанной на зависимости стока наносов от размеров и скоростей смещения гряд и порядка водотоков (Чалов, Штанкова, 2000; Штанкова, 2002; Чалов, Штанкова, 2003 и др.). В частности в работе Р.С. Чалова, Н.Н. Штанковой (2000) анализируются значения стока влекомых наносов на реках бассейна Камы. Величины годового стока влекомых наносов для рек территории Удмуртии составляют 40-120 тыс. т. По величине модуля стока влекомых наносов Удмуртия характеризуется повышенными значениями данного показателя — 10-20 т/год · км². Для понимания условий руслоформирования наибольшее значение имеет доля стока влекомых наносов в общем стоке наносов, или его соотношение со стоком взвешенных наносов. В целом при прочих равных условиях ее величина возрастает с юга на север и с востока на запад (рис.2.6). Для рек крайнего юга Удмуртии доля стока влекомых наносов составляет менее 25%. Небольшие значения стока влекомых наносов по отношению к общему стоку характерны для рек, где реализация транспортирующей способности происходит за счет бассейновой составляющей стока наносов, представленной продуктами эрозии почв. Реки северо-восточной и центральной частей Удмуртии характеризуются повышенной долей стока влекомых наносов — 25-50%. Самая большая величина доли стока влекомых наносов — более 50% — характерна для западных, северо-западных районов, где, наоборот, реализация транспортирующей способности осуществляется за счет русловой составляющей (Штанкова, 2002; Чалов, Штанкова, 2003).

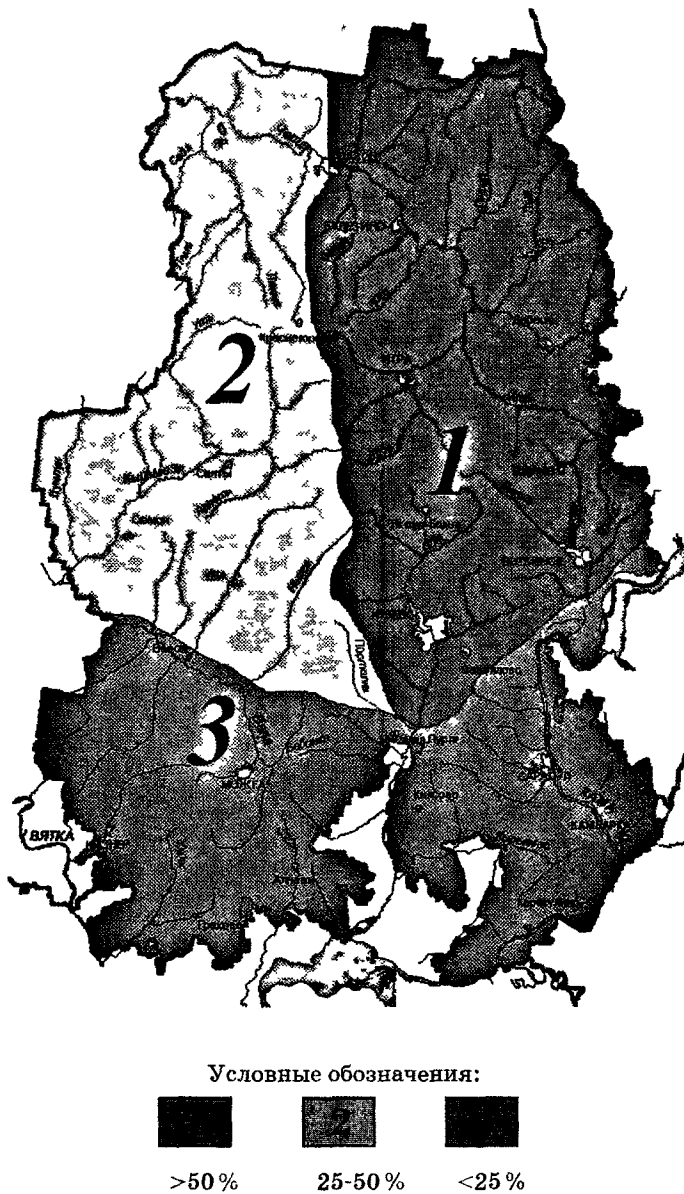


Рис. 2 6. Районирование территории Удмуртии по соотношению стока влекомых наносов и общего стока наносов (в %) (по Р. С. Чалову, Н. Н. Штанковой, 2000)

Среди влекомых наносов и донных отложений на реках бассейна Камы, а значит, и на всей территории Удмуртии по гранулометрическому составу преобладают песчаные и песчано-галечные. В широкопойменных руслах с относительно высокими значениями стока влекомых наносов отмечается преобладание излучин, минимальные показатели характеризуют повышенную встречаемость прямолинейного русла.

Русловой поток формирует свое русло непрерывно. В процессе формирования русла участвуют все расходы — от минимальных до максимальных, и, следовательно, все они могут быть названы руслоформирующими. Но руслоформирование в течение года протекает неравномерно, т.к. сезонно изменяются величины стока воды и наносов. Н. И. Маккавеев (1955) в качестве руслоформирующего расхода Q_{ϕ} понимает расход воды Q ($\text{м}^3/\text{сек}$), при котором в многолетнем плане происходит наибольшая доля годового объема стока наносов и осуществляются наиболее существенные переформирования русла, определяющие его морфологию.

Особенности гидрологического режима рек лесной зоны Русской равнины приводят к тому, что основной перенос донных наносов и русловые деформации совершаются в период весеннего половодья (Беркович, Власов, 1982).

На это указывают и расчеты руслоформирующих расходов, результаты которых приводят Н. И. Маккавеев и Р. С. Чалов (1986). На большинстве рек Русской равнины основное руслоформирующее значение имеют расходы средневысокого половодья, когда уровни воды достигают высоты бровок пойменных берегов.

В соответствии со схемой районирования бассейна р. Камы по условиям прохождения руслоформирующих расходов Q_{ϕ} (Бутаков, Назаров и др., 2000) территория Удмуртии характеризуется наличием среднего и нижнего интервала Q_{ϕ} , протекающих в бровках поймы и верхнего интервала Q_{ϕ} , проходящего при затопленной пойме (табл. 2.3).

Условия прохождения руслоформирующих расходов воды наряду с соотношением стока влекомых и взвешенных наносов сказываются в преимущественном распространении на реках тех или иных морфо-динамических типов русел. Прорванные излучины встречаются только на реках, на которых Q_{ϕ} проходит при затопленной пойме. Отличительной особенностью большинства рек Удмуртии является крайне низкая обеспеченность ($P\%$) верхнего интервала руслоформирующих расходов, что является основной причиной

слабого развития данного типа излучин и разветвленных русел. Руслоформирующие расходы, проходящие в пределах русла, способствуют формированию излучин, широкому распространению крутых излучин сложных форм (петлеобразных, синусоидальных).

Таблица. 2.3.

**Руслоформирующие расходы воды на реках Удмуртии
(расчеты выполнены Н. Н. Штанковой)
(по Г. П. Бутакову, Н. Н. Назарову и др., 2000)**

Река (пост)	Руслоформирующие расходы					
	при затоплении поймы		в пределах русла			
	верхний		средний		нижний	
	м ³ /с	P, %	м ³ /с	P, %	м ³ /с	P, %
р. Иж (г. Агрыз)	320	0,001	100	4,1	10	55
р. Кильмезь (д. Вичмарь)	1120	0,45	600	3,41	107	31,4
р. Вала (с. Вавож)	210	0,01	103	0,91	6,67	64
р. Чепца (с. Полом)	501	0,01	320	2,8	21	75,8
р. Чепца (г. Глазов)	1220	0,41	751	1,8	—	-
р. Лоза (пгт Игра)	164	0,01	91	11,14	44	3,64

Таким образом, условия прохождения руслоформирующих расходов воды, сток наносов и доля в нем влекомой составляющей оказывают большое влияние на ход русловых процессов, образование различных морфодинамических типов русел. На территории Удмуртии сочетание данных факторов привело к широкому развитию меандрирующего русла и формированию различных видов излучин.

3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

3.1. История изучения рек Удмуртии

Изучению рек территории Удмуртии посвящено много работ, но в большинстве из них рассматриваются либо общие вопросы изучения речной сети республики, режима рек, либо, наоборот, узконаправленные — характеристика рисунка речной сети, изучение источников загрязнения рек и т.д. Исследование русловых процессов, морфодинамики на реках республики — вопрос, изученный и освещенный в литературе очень слабо.

Общие сведения о речной сети Удмуртии, основные гидрологические, морфологические и морфометрические характеристики крупных рек можно встретить в работах многих авторов (Широбоков, 1969; Кузьминых, 1972; Рысин 1995; Энциклопедия..., 2000 и др.). Детальные гидрологические характеристики крупных рек республики — данные сетевых наблюдений гидрологических постов — опубликованы в «Гидрологических ежегодниках» (бассейн р. Камы), ежегодном «Государственном водном кадастре» (бассейн р. Камы), в «Ресурсах поверхностных вод СССР. Средний Урал и Приуралье» (1973), в «Многолетних данных о режиме и ресурсах поверхностных вод суши (бассейн р. Кама)», 1988 и др.

Для оценки водных ресурсов Удмуртии в 1973 году подробное изучение малых рек республики проводит Казанский отдел гидрологии и водных ресурсов Сев. НИИГиМа (В.П. Бурлаков и др.). Полученные в результате исследования гидрологические и морфометрические характеристики малых рек можно найти в «Ведомостях меженных расходов воды различных обеспеченнос-

тей на реках Удмуртской АССР» (1973) и «Ведомостях длин и площадей водосборов рек Удмуртской АССР» (1973).

С целью изучения основных природных и антропогенных источников заиления и загрязнения малых рек для восстановления водности и улучшения экологической обстановки в их бассейнах в 1990 г. проводится научное исследование сотрудниками кафедры физической географии УдГУ (Егоров, Илларионов, Рысин, Стурман, 1990). В ходе выполнения работы дан анализ и оценка факторов и условий, влияющих на водность и экологическую обстановку бассейнов малых рек — природных (геолого-геоморфологических, климатических, гидрологических, почвенно-ботанических) и антропогенных, собрано большое количество данных по морфометрии и гидрологии малых и средних рек республики (среднегодовой и меженный расходы, годовой объем стока, площадь водосбора, количество притоков, длины и уклоны рек и т.д.). Исследования осуществлялись по 385 бассейнам рек 3-4 порядков (по Философову-Стралеру).

Проявлению русловых процессов, морфологии и динамике русел рек Удмуртии посвящено очень мало работ. А.А. Перевощиков (1997) в кандидатской диссертации «Закономерности формирования антропогенно обусловленного пойменного аллювия в долинах малых рек Удмуртии» рассматривает лишь аккумулятивную составляющую русловых процессов.

Первой работой, в которой была представлена морфодинамическая характеристика русел наиболее крупных рек Удмуртии, стало исследование Р.С. Чалова и А.В. Чернова (1996), посвященное районированию Камского бассейна по факторам и формам проявления русловых процессов. Районирование было выполнено путем последовательного наложения на единую картографическую основу серии схем с частными районированиями: по водному режиму рек, по геолого-геоморфологическим условиям развития русловых деформаций, по руслоформирующим расходам, по распространению горных, полугорных и равнинных рек.

Позднее были опубликованы более подробные данные о распространении морфодинамических типов русел на территории Камского и Волжского бассейнов (Власов, 1999; Бутаков, Назаров и др., 2000; Чалов, Штанкова, 2000; 2003). Как и в первом исследовании, объектами изучения стали в основном крупные реки.

Некоторые данные о морфодинамике русел крупных и средних рек территории Удмуртии — Вятке, Каме, Чепце Кильмези, о проявлении русловых процессов на этих реках можно найти в работах, посвященных рекам северной Евразии, Русской равнины (Чалов, Алабян, Иванов и др., 1998; Морфология и динамика русел рек Европейской части России и сопредельных государств. Карта масштаба 1: 2000000, 1999; Чалов, Завадский, Панин, 2004).

Малые реки республики оставались практически не изученными в отношении этого вопроса. Лишь с 1999 года нами начинаются первые работы по изучению русловых процессов и морфодинамики русел на малых реках Удмуртии.

Исследования, проведенные в ходе написания работы, выполнены частично на основе анализа данных о реках, собранных сотрудниками кафедры физической географии и ландшафтной экологии УдГУ, а также с использованием собственного материала, полученного в результате дистанционных и натурных наблюдений в течение 1999-2006 гг.

3.2. Методика исследования

3.2.1. Натурные исследования

Для изучения динамики рельефа, а следовательно, и динамики русел широко используются разнообразные методы натурных исследований. Среди них большое значение имеют стационарные наблюдения (Спиридонов, 1970). Они осуществляются в течение длительного времени, но охватывают лишь сравнительно небольшой участок или несколько участков в наиболее характерных местах. Эти участки выбираются аэровизуально или по крупномасштабным картам. Для территории Удмуртии по топографическим картам было выделено 55 ключевых участков, достаточно равномерно распределенных по территории, охватывающих реки разного порядка и разнообразные природные ландшафты (рис.3.2.1). Основными критериями выбора участков являлись: 1) яркое проявление русловых процессов на данной территории; 2) типичность развития охват рек, развивающихся в условиях различных ландшафтов; 3) транспортная доступность участка.

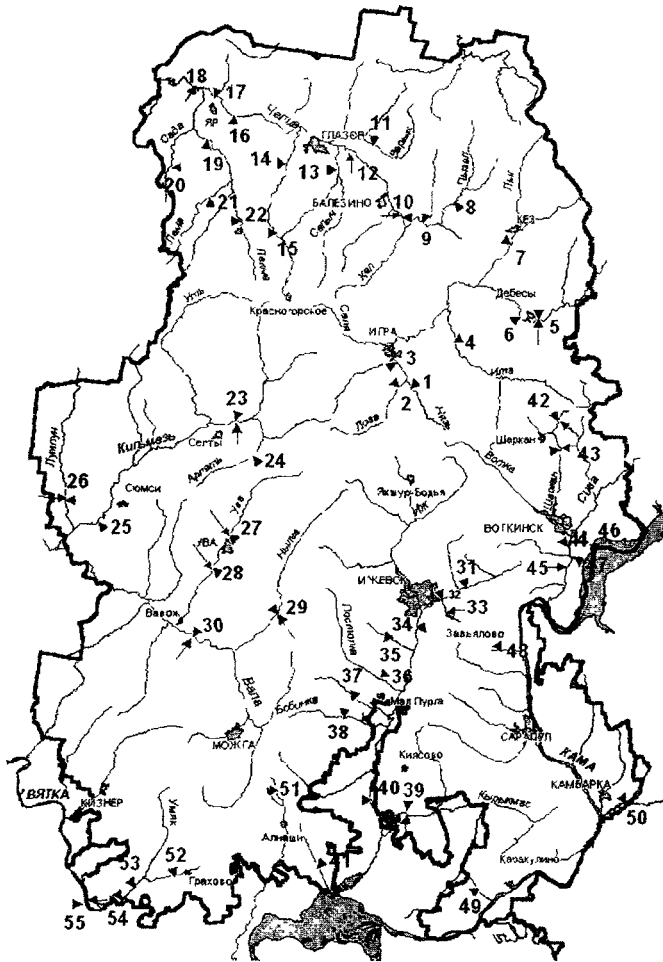


Рис. 3.2.1. Карта-схема расположения ключевых участков по изучению морфодинамики русел рек

Условные знаки:

- ▼ — места расположения реперов и марок;
- ↑ — места тахеометрической съемки.

На реках в пределах ключевых участков были определены основные морфологические и морфометрические параметры, проведены детальные описания данных территорий (прилож. 1,2).

Полевые работы на изучаемых реках проводятся ежегодно (с 1999 года) в летний период, а на отдельных участках (расположенных на реках вблизи г. Ижевска — №№ 31, 32, 34-38, 48) дополнительно еще весной и осенью. Главная задача натурных исследований — изучение скоростей бокового смещения русел. Одним из методов изучения динамики рельефа является метод стержней и марок (Спиридонов, 1970). Сущность его заключается в проведении повторных замеров расстояний до неподвижных стержневых реперов или марок. Металлические стержневые репера забиваются вертикально в грунт на такую глубину, чтобы обеспечить полную их устойчивость, и на такое расстояние от береговой линии, чтобы они могли длительно существовать в условиях размыва. В качестве «марок» в основном используют отдельно стоящие деревья, столбы, окрашиваемые для того, чтобы сделать их хорошо заметными. Применяются и земляные марки — выкопанные углубления в форме буквы «Т», хорошо сохраняющиеся в течение длительного времени (длинная часть марки указывает направление, в котором проводится замер). Измерения осуществляются по строго определенному направлению (азимуту) с помощью стальной мерной ленты до пересечения углублений, где также забивается стальной стержень. В результате определяются данные, измеренные с точностью до сантиметров. Общее количество реперов и марок, заложенных на ключевых участках — около 300.

Метод реперов и марок имеет недостаток — наблюдаются только отдельные точечные участки размыва, а полную картину оценить довольно сложно. Более наглядно и детально смещение русла можно наблюдать, проводя плановую тахеометрическую съемку. В этом случае измерению подлежит весь участок размываемого берега. На 30 ключевых участках, расположенных на реках Удмуртии, применяется данный метод исследований. В зависимости от размеров излучин и протяженности фронта размыва, длины участков съемки колеблются от 50-100 до 400-500 метров. Для производства топографо-геодезических работ вначале применялись отечественные оптические теодолиты Т30, 2Т30, а с 2001 года электронный тахеометр «Trimble 3305», позволяющий представлять измерения в электронном виде, а обработка данных ведется автоматическими методами с использованием программного комплекса «CREDO».

В камеральных условиях создаются топопланы береговых уступов, по которым определяются средние и максимальные значения размывов, площади (S , m^2) смытых берегов. Значения площадей

размытых территорий определяются весовым способом (Аполлов, 1963) после наложения планов друг на друга. Длины участков (l , м) варьируют в значительных пределах, и полученные значения площадей размыва также сильно отличаются. Для сравнения этих показателей рассчитываются значения удельных площадей ($S_{уд}$, м²/м), т.е. соотношенных с длиной участка: $S_{уд} = S/l$.

3.2.2. Использование картографического материала и аэрофотоснимков

Большое количество данных о реках можно получить, анализируя картографический материал и аэрофотоснимки.

Для изучаемых рек Удмуртии по топографическим картам 1:10000, 1:25000, 1:50000 масштабов были определены различные морфологические и морфометрические характеристики русла.

Реки от истока до устья были разделены на отдельные достаточно однородные по водности участки, границами которых служили места впадения наиболее крупных притоков. Впадая в реку, крупный приток существенно меняет гидрологические показатели реки, что часто сказывается на смене типа русла, формы излучин. Поэтому на начальном этапе участки на реках выделялись визуально по степени извилистости, характеру рисунка (типу) излучин. Длины участков на малых реках и в верховьях средних рек составляют порядка 7-12 км, в среднем и нижнем течении увеличиваются до 35-40 км. Общее количество выделенных участков на реках республики составило 245.

Для каждого из участков изучаемых рек определялись характерные значения параметров излучин (рис. 3.2.2) — шаг L , радиус кривизны r , стрела прогиба h , длина l . Шаг излучины L представляет собой расстояние между точками перегиба соседних излучин. При этом прямая линия, проходящая через точки перегиба русла между несколькими смежными излучинами, называется осью пояса меандрирования. Перпендикуляр, проведенный от оси пояса меандрирования к вершине излучины, характеризует стрелу прогиба h . Радиус, которым описывается кривая геометрической оси русла на большей части протяжения излучины (сегментной, петлеобразной) или ее привершинной части (синусоидальной), является радиусом кривизны излучины r . Суммарная длина двух крыльев составляет длину излучины по руслу l (Чалов, Завадский, Панин, 2004).

Расчеты были проведены для 3827 отдельных излучин.

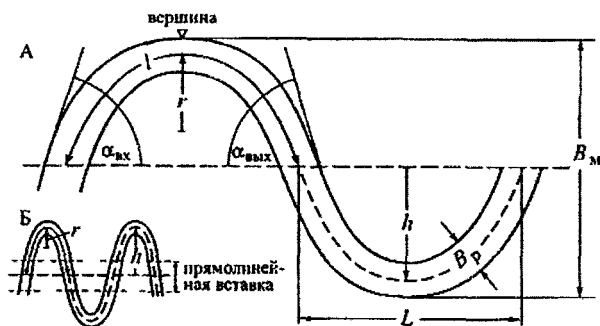


Рис. 3.2.2. Морфологические элементы и параметры сегментных (А) и синусоидальных (Б) излучин.

Размеры излучин одного участка реки порой очень сильно отличаются между собой, например, рядом могут располагаться излучины, значения радиуса которых составляют 50 и 200 м. Применять метод осреднения всех значений параметров и использовать их среднюю величину на участке не совсем правильно. Смешивание излучин, находящихся на разных стадиях развития, происходит и при применении в качестве характерных параметров значений 50 %-ной обеспеченности (медианных значений) (Чалов, Завадский, Панин, 2004). Наиболее удачным, по мнению А.С. Завадского (2004), является использование модальных значений параметров или средних значений параметров для излучин со степенью развитости от 1,40 до 1,70, т.к. именно сегментные излучины наиболее полно отражают условия формирования русла.

Модальным значением называется значение признака с наибольшей частотой, т.е. наиболее часто встречающееся значение признака. В данной работе были использованы именно модальные значения основных параметров излучин — L , r , h , l , т.к. они достаточно полно отражают общую картину, наблюдаемую на том или ином участке. Для безразмерных параметров — l/L и r/h — использовались осредненные значения.

По соотношению основных параметров излучин, и прежде всего l/L , были выделены, в соответствии с морфодинамической классификацией МГУ, основные морфодинамические типы русел — прямолинейные и меандрирующие, а также разделены излучины по стадиям развития. На территории Удмуртии в бассейнах изу-

чаемых рек выделено 6 типов русел: прямолинейные ($1/L < 1,15$), сегментные пологие излучины ($1,15 < 1/L < 1,40$), сегментные разветвленные ($1,40 < 1/L < 1,70$), сегментные крутые ($1,70 < 1/L < 2,00$), петлеобразные ($1/L > 2,00$), прорванные ($1/L = 1,50-2,00$).

С учетом данных показателей участки рек, выделенные первоначально визуально, уточнялись и корректировались.

По топографическим картам были определены также значения площадей водосборов, длин рек, уклонов. Длины потоков устанавливались с помощью циркуля-измерителя раствором 2 мм. Для слабоизвилистых рек использовался также курвиметр. Площади водосборов определялись методом взвешивания. Для отдельных участков рек определялось километрическое падение, представляющее собой отношение разности высот в начале и конце изучаемого участка (либо разницы значений урезов воды) к длине участка (м/км). По значениям падения определялись и соответствующие им уклоны (%).

Для отдельных участков рек, а также для всех ключевых участков был определен порядок реки (N).

Традиционно используемая система определения порядков рек от главной реки к притокам удобна лишь для упорядочивания гидрографической информации в специальных справочных материалах. Она лишена физического содержания, поскольку не учитывает масштабный эффект в изменении гидрологических и других характеристик. Поэтому для гидрологических расчетов должна применяться такая схема исчисления порядков, которая бы учитывала изменение (увеличение) порядка реки вдоль речной сети вследствие боковой приточности (Алексеевский, 2000). Впервые подобная схема была предложена Р. Хортоном (1948). В соответствии с ней реками первого порядка считаются водотоки, не имеющие притоков. Слияние двух рек первого порядка означает возникновение реки второго порядка. В дальнейшем порядок реки изменяется на единицу лишь в случае слияния однопорядковых водотоков. В целом данную систему можно считать удачной, т.к. она приводит в соответствие густоту расчленения речных бассейнов малыми водотоками и размер главной водной артерии. Р. Хортон считал возможным использовать свою схему лишь для притоков главной реки, определения ее порядка в нижней части речной системы. Полученный таким образом порядок он распространял на всю длину главной реки, что вызывало оправданную критику оппонентов, указывающих на необходимость использования общих принципов

кодировки, справедливых как для притоков, так и для различных участков главной артерии стока (Алексеевский, 2000). В работах Р. Стралера и В. П. Философова доказано, что использование данной системы оправдано для всех звеньев речной сети. Допущение, что порядок реки изменяется лишь при слиянии однопорядковых по размеру водотоков, является достаточно грубым, поскольку и меньшие по размеру (водности) притоки оказывают существенное влияние на характер стока главной реки. Для определения осредненных характеристик потока и русла более удобными являются предложения Р. Шриве и А. Шайдеггера. Суть предложения Р. Шриве состоит в том, что порядок реки ниже узла слияния двух потоков принимается равным сумме порядков (n_1+n_2) сливающихся рек:

$$N_{\text{шр}} = n_1 + n_2.$$

На произвольном участке водотока значение $N_{\text{шр}}$ оказывается равным числу рек, образующих русловую сеть (значения $N_{\text{шр}}$ при этом для нижних участков крупных рек имеют очень большие значения).

Близкий подход предлагал А. Шайдеггер. Для ограничения величины порядка рек он рекомендовал использовать формулу:

$$N_{\text{ш}} = \log_2 (P) + 1,$$

где P — число притоков первого порядка (поток длиной менее 10 км). В этом случае значения $N_{\text{ш}}$ — рациональные числа. Изменение $N_{\text{ш}}$ происходит постепенно, плавно, при расчетах учитываются все притоки первого порядка, влияющие на изменения водоносности реки. Это создает предпосылки для учета согласованных колебаний $N_{\text{ш}}$ и характеристик водного объекта.

Именно схема определения порядка водотоков А. Шайдеггера была использована в работе. Количества рек первого порядка определялись по топографическим картам масштаба 1:25000, 1:50000.

Картографический материал можно использовать и для изучения русловых процессов, определения скоростей размыва берегов. Метод сопоставления картографических материалов за разные годы довольно часто применяют наряду со специальными наблюдениями (Спиридонов, 1970). Для территории Удмуртии сравнивались крупномасштабные, аэрофототопокарты масштаба 1:10000 полученные по залетам 1933, 1934 и 1987 гг., аэрофотоснимки 1:40000 масштаба 1957 гг. залетов, топографические карты масштаба 1:50000 1984 года съемки и космические снимки территории

1999 и 2005 гг. Данный вид работ проведен для 3/4 территории площади Удмуртии.

Путем сопоставления разновременных топографических карт и аэрофотоматериалов были определены:

- 1) среднегодовые скорости бокового смещения, м/год;
- 2) площади размытых участков, определенные методом взвешивания (m^2);
- 3) величины изменения основных параметров излучин — Δl , ΔL , Δh , $\Delta l/L$.
- 4) величина и направленность продольного и поперечного смещения русел.

Продольное смещение определялось как среднее расстояние, на которое сместилась излучина вниз по течению относительно прежнего положения; поперечное (относительно оси пояса меандрирования) — как величина смещения излучины вправо или влево относительно прежнего положения (рис. 3.2.3).

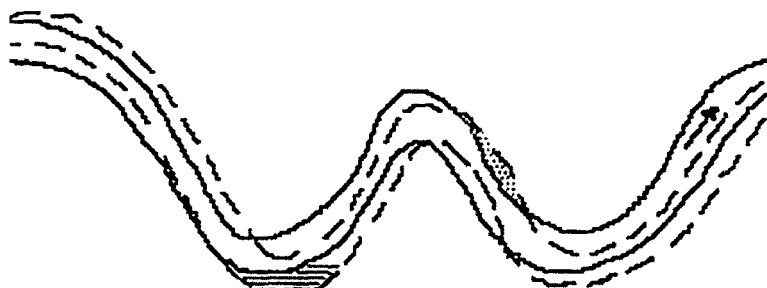


Рис. 3.2.3. Продольное и поперечное смещение излучин
р. Сепыч

— — положение русла в 1933 году;

— — — положение русла в 1987 году

Для предварительной оценки размыва берегов по Р. С. Чалову (1995) можно воспользоваться значениями скоростей размыва, полученными натурно для рек, размывающих породы того же состава. Поэтому на отдельных участках рек из-за отсутствия картографического материала скорости смещения были определены по аналогии с реками, развивающимися в сходных условиях, при этом полученные результаты уточнялись путем сопоставления данных участков рек по космическим снимкам 1999 и 2005 годов съемки.

3.2.3. Методика расчета анализируемых показателей

Одним из традиционных методов исследования меандрирующих рек является построение эмпирических зависимостей между параметрами излучин и количественными показателями, характеризующими условия формирования русла (Чалов, Алабян и др., 1998; Чалов, Завадский и др., 2004). Чаще всего в качестве факторов русловых процессов в них фигурируют различные показатели расходов воды (руслоформирующие, среднегодовые, руслонаполняющие расходы, расходы воды в половодье и т.д.), площадь водосбора, уклоны долины и водной поверхности (Кондратьев и др., 1959, 1982; Маккавеев, 1955, 1971, 1986). Известны зависимости, учитывающие скорость водного потока, крупность донных отложений, показатели шероховатости русла и его устойчивости, ширину поймы (Антроповский, 1969).

В некоторых случаях можно использовать в качестве показателя водности такой параметр как длина реки, а точнее расстояние от истока. Это связано с тесной зависимостью этого показателя от площади водосбора, который в свою очередь связан с расходами воды (Чалов, Завадский, Панин, 2004).

Исследования, проведенные О. М. Пахомовой (2001) на ряде рек России, позволили выявить различие в характере связи порядковой структуры речной сети с характерными значениями параметров свободных излучин.

В качестве показателей процесса меандрирования, кроме параметров излучин, некоторые исследователи используют ширину пояса меандрирования, количество излучин на участке, различные показатели динамики излучин. Н. И. Маккавеев (1955) получил эмпирическую зависимость радиуса (r) и руслоформирующих расходов воды (Q_ϕ):

$$r = kQ_\phi^{0.5}l^{-1}$$

В зарубежной литературе чаще всего встречаются эмпирические зависимости между водностью реки и шагом излучины (Ackers, Charlton, 1970; Carlston, 1965) и др.

Наибольшее распространение получили эмпирические зависимости параметров излучин (L и r) от характерных расходов воды. Выбор этих параметров обуславливается тем, что они наиболее полно характеризуют размер излучины по сравнению с такими

параметрами как стрела прогиба h и длина l , которые зависят от ее формы и существенно изменяются. Для безразмерных характеристик (степени развитости l/L , показателя формы g/h) подобного рода зависимости отличаются большой неустойчивостью и часто вообще не выявляются (Чалов, Завадский, Панин, 2004).

Гидролого-морфологический анализ был проведен для малых и средних рек Удмуртии. Значения гидрологических показателей (среднегодовые расходы, расходы и уровни весеннего половодья и др.) были предоставлены УЦГМС Удмуртской республики. Но ввиду недостаточной гидрологической изученности исследуемых рек Удмуртии (имеется лишь 9 гидрологических постов на изучаемых реках) для выявления эмпирических зависимостей использовались показатели длины реки от истока, площадь водосбора и порядок реки.

С целью выявления роли факторов в развитии русловых процессов применялись методы математической статистики. Данные обрабатывались с помощью компьютерных программ «Excel-2003», «Statistika 6.0» и др.

Определялся характер и наличие связи между интенсивностью русловых процессов (бокового размыва) и анализируемыми факторами. Для линейных зависимостей рассчитывался коэффициент корреляции (r), для криволинейных — корреляционное отношение (η) (корреляционное отношение, в отличие от коэффициента корреляции, измеряет степень криволинейных и прямолинейных связей, оно всегда положительно и имеет значения от 0 до 1) (Плохинский, 1970). Зависимости рассчитывались при достоверности показателей не менее 95 %.

Существует много методик определения количественных характеристик показателя сопротивления размыву (В. М. Лохтин, М. А. Великанов, Н. И. Маккавеев). Г. В. Бастратовым (1972, 1983, 1993) для оценки прочностных характеристик горных пород и почв был предложен метод определения сопротивления размыву воздействием на грунт свободной компактной струей воды из цилиндрического насадка. Для определения прочностных характеристик пойменных отложений рек Удмуртии по этому методу на всех ключевых участках в нескольких местах были отобраны пробы грунта. Общее число проб составило 91.

Для определения сопротивления взятый грунт разрыхляется, очищается от растительных остатков и насыпается в мешочек

общим весом около 2 кг (для трехкратной повторности определения сопротивления размыву). После высушивания, измельчения и просеивания грунт равномерно насыпается в цилиндры с внутренним диаметром 0,07 м и высотой 0,12 м, установленные с прокладкой из фильтровальной бумаги на перфорированную поверхность. Затем грунт уплотняется на 10 мм. Освободившийся объем цилиндра постепенно заполняется водой до полного насыщения ею грунта (до появления на фильтровальной бумаге сплошной водяной каймы вокруг цилиндра). Затем образцы выдерживаются в течение 24 часов при температуре +20°C.

Далее для испытания образца цилиндр помещается в испытательный прибор нижним концом к насадку (насадка Вентури). По 3-м точкам сечения на расстоянии 12 мм от внутренней стенки цилиндра, образец размывается насквозь. Испытания проводятся в приборе с диаметром отверстия насадка 0,0025 м, при постоянной мощности струи 1 Вт и при скорости размыва не менее 0,01 м/с.

Сопротивление размыву при воздействии свободной компактной струи можно выразить двумя показателями: статическим сопротивлением размыву (R_c) и динамическим R с одинаковой единицей измерения — ньютон (Н). Наиболее просто использование динамического сопротивления, которое выражается отношением мощности размывающей струи к скорости размыва:

$$R=N/V_p=Nt_p/l_p,$$

где N -мощность струи на выходе из насадка, Вт; V_p -средняя скорость размыва, м/с; t_p -время размыва, с; l_p -глубина (длина) размыва, м.

Полученные значения сопротивления размыву характеризуют способность грунтов противостоять эрозии, зависят, прежде всего, от механического состава грунтов.

Данные о лесистости водосборов рек были заимствованы из работы И.И. Рысина (1998). Лесистость пойм ключевых участков определялась по крупномасштабным топографическим картам и уточнялась визуально непосредственно на месте в ходе полевых исследований.

При оценке влияния антропогенных факторов использовались многочисленные литературные данные (Маккавеев, 1955; Кузьминых, 1972; Лапшенков, 1979; Шикломанов,

1979; Смищенко, 1982; Векслер, Доненберг, 1983; Боровков, 1989; Барышников, 1990; Стурман, 1997; Беркович, 2001; Перевощиков, 1997, 2003; и др.), а также результаты натуральных наблюдений.

Реки республики достаточно разнообразны по величине, водности, ряду морфологических и морфометрических показателей. Порядок рек (по схеме А. Шайдеггера) изменяется от 1-2 до 15. От порядка рек зависят многие показатели, в частности интенсивность горизонтальных деформаций. По О. М. Пахомовой (2002) на свободных излучинах рек с песчаными и супесчаными берегами при переходе их через 9-10 и 13-15 порядки (по А. Шайдеггеру) происходит резкое увеличение скорости размыва, что свидетельствует в пользу того, чтобы считать 10-й порядок границей между малыми и средними, а 14-й порядок между средними и большими реками. Среди изучаемых на территории Удмуртии преобладают реки 4-10 порядков, и, по данным О. М. Пахомовой, практически все входят в группу малых рек. Но внутри этой группы показатели интенсивности русловых деформаций также различаются. Для более детального изучения русловых процессов на малых реках возможна их разбивка на более мелкие подразделения. В связи с этим реки республики были поделены на очень малые (I группа), малые (II группа), средние (III группа) и большие, отличающиеся по гидрологическим, морфометрическим и морфологическим показателям (табл. 3.2.1).

К категории больших рек (с порядком выше 14), рассматриваемых в работе, относится лишь одна р. Вятка. В связи с малочисленностью данной группы ее целесообразно объединить с группой средних рек.

Таблица 3.2.1.

**Морфометрические характеристики
рек разных порядков**

Группы рек	Порядок рек	Среднегодовые расходы, м ³ /сек	Длина рек, км	Ширина русла, м	Глубина русла, м
I	до 6	<1,5	< 25	<15	<0,7
II	6-9	1,5- 20,0	25-100	15-50	0,7-1,5
III	выше 9	> 20,0	> 100	> 50	>1,5

4. ТИПЫ РУСЕЛ И ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТИИ

4.1. Классификации русел рек и их анализ

Формирование речного русла начинается с момента появления постоянного водотока. Для существования реки нужно такое количество воды, которое будет превышать испарение, фильтрацию, транспирацию водной растительности и обеспечит эрозию ложа и сток наносов, т.е. перемещение твердого материала, поступающего в поток с водосбора и в результате размыва грунтов ложа реки (Маккавеев, 1955, 1971). Таким образом, развитие речных русел — сложное сочетание различных факторов: климатических, геологических, геоморфологических, почвенно-ботанических, степень проявления которых неодинакова в конкретных природных условиях.

По определению Н.И. Маккавеева (1955), к типу русловых следует отнести потоки, глубина, ширина и скорость течения которых настолько значительны, что основными динамическими факторами, определяющими главные закономерности эрозионно-аккумулятивной деятельности этих потоков, являются силы, возникающие при поступательном движении воды. Непрерывное взаимодействие потока и русла, образующих вместе единый комплекс, в котором активная роль принадлежит потоку, является основным содержанием руслового процесса, представляющего собой главный результат образования и развития постоянных

водотоков. Русловые процессы — есть совокупность явлений, возникающих при взаимодействии руслового потока и грунтов, слагающих русла и берега рек, определяющих развитие различных форм речных русел и руслового рельефа и режим их сезонных, многолетних и вековых изменений, обуславливающих размывы дна и берегов и осуществляющих транспорт и аккумуляцию наносов (Чалов, 1987).

Физической причиной русловых процессов является нарушение баланса наносов на тех или иных участках речного русла. Изменение расхода наносов вдоль потока должно неизбежно сопровождаться изменениями русла: при увеличении расхода наносов вдоль реки должен происходить размыв русла (эрозия), при уменьшении расхода — намыв русла (аккумуляция). Эти непрерывные переформирования русла, происходящие под действием текущей воды (изменение положения и размеров русла, поймы и отдельных русловых образований, т. е. размыв и намыв дна и берегов), называются русловыми деформациями.

Русловые деформации по времени своего развития могут быть направленными и периодическими. Направленные (необратимые) включают в себя деформации, вызывающие трансформацию продольного профиля в результате глубинной эрозии или аккумуляции, и деформации, изменяющие план русла в результате боковой эрозии. Периодические (обратимые) деформации — это либо наращивание гребней перекатов в половодье, либо размыв гребней в межень.

По направленности развития, роли в осуществлении эрозии грунтов, транспорта и аккумуляции наносов все русловые деформации делятся на три группы (Чалов, 1987):

1) вертикальные, вызывающие трансформацию продольного профиля реки (врезание или аккумуляция) и изменения отметок дна русла.

2) горизонтальные, связанные с перемещением русла в плане (плановые деформации).

3) грядовое движение наносов — наиболее универсальный вид русловых деформаций, проявляющийся в морфологии русла. Оно включает в себя как горизонтальные (изменения положения гряд в русле), так и вертикальные (смыв наносов с верхнего склона и накопление на низовом откосе, сезонные изменения высоты гребня и т. д.) деформации, протекающие одновременно и с одинаковыми скоростями.

Каждый из видов русловых деформаций может проявляться по всей реке в целом или на участках значительного протяжения. В этом случае они представляют собой общие деформации. Если они проявляются в пределах форм русла, или на перекатах, либо на ограниченных по длине отрезках русла, то такие деформации являются местными или локальными, вызывающими изменения отдельных форм русла.

В зависимости от распространения русловых деформаций во времени вверх или вниз по течению реки они являются регрессивными или трансгрессивными.

Русловые деформации, русловые процессы, а следовательно, и типы русел, которые они создают, очень разнообразны. Вопросы типизации речных русел неоднократно рассматривались как в отечественной (Краснов, 1897; Щукин, 1933; Львович, 1938; З.И. Гринберг, 1950; Великанов, 1958; Россинский, Кузьмин, 1947, 1958; Алтунин, 1962; Маккавеев, 1955, 1971; А. В. Караушев, 1969; Чалов, 1979, 1996; Кондратьев, Попов, Сниценко, 1956, 1965, 1968, 1982; Гришанин, 1972; А. Д. Курдюмов, 1977), так и в зарубежной (Leopold, Wolman, 1957; Richards, 1980; Schumm, 1977) литературе. Накопление информации о формах русел, особенностях их деформаций, расширение географии исследований, применение новых методов изучения русловых процессов приводило к дополнению ранее предложенных классификаций, а также разработке новых классификационных схем.

Одна из первых классификаций русел была основана на оценке степени их устойчивости. М.И. Львович (1938), используя число Лохтина, разделил русла на устойчивые и неустойчивые. Впоследствии этот показатель использовали в своих классификациях и другие исследователи (Великанов, 1958; Маккавеев, 1971; Чалов, 1979, 1997 и др.).

Другим направлением в типизации речных русел является выделение равнинных, полугорных и горных рек, основанное на учете различных форм транспорта наносов и механизмов его взаимодействия с руслом. Первая классификация такого рода была предложена Н.И. Маккавеевым (1955). Подобный подход к выделению типов русел имеется в работах В.Ф. Талмазы и А.Н. Крошкина (1968), Р.С. Чалова (1979).

Наиболее широко распространены морфодинамические классификации русел рек, основанные на различиях в очертании речных

русел в плане и соответствующих им горизонтальных деформаций. Эта группа классификаций наиболее многочисленна. К ней относятся схемы, предложенные К. И. Россинским и И. А. Кузьминым (1947), Н. И. Маккавеевым (1949), Л. Леополдом и М. Волманом (Leopold, Wolman, 1957), О. В. Андреевым и И. А. Ярославцевым (1958), И. В. Поповым (1965); Кондратьевым и др., (1982), К. В. Гришаниным (1972), Р. С. Чаловым (1979), Н. А. Ржаницыным (1985) и многими другими.

Первая морфодинамическая классификация принадлежит К. И. Россинскому и И. А. Кузьмину (1947, 1958), выделившим прямолинейные (соответствующий тип деформаций — периодическое расширение), извилистые (развитие излучин, меандрирование) и разбросанные (блуждание) русла. Довольно близка к ней классификация речных русел, предложенная О. В. Андреевым и И. А. Ярославцевым (1958). Изучая характер развития горизонтальных деформаций равнинных рек, они выделили три основных типа русел: разветвленные на рукава, меандрирующие и немеандрирующие.

И. В. Попов (1956), типизируя русла по изменениям их плановых очертаний, выделил 4 типа: 1) меандрирование или формирование излучин (с 7 разновидностями); 2) перемещение прямолинейных участков русла параллельно самим себе; 3) перемещение русла за счет перераспределения стока по рукавам и формирования островов; 4) блуждающие русла.

Н. И. Маккавеев (1955, 1969, 1971) выделял меандрирующие и немеандрирующие русла. Среди немеандрирующих им выделялись прямолинейные и разветвленные на рукава, а среди меандрирующих — врезанные, свободные и вынужденные (адаптированные) излучины, различающиеся по форме (очертаниям) в плане — сегментные, синусоидальные, сундучные, омега-видные, заваленные, прорванные. Подобный подход применял Н. П. Матвеев (1970), выделяя 7 «геометрических» типов русел.

В дальнейшем появляются иные подходы классификации речных русел. В них извилистость остается одним из ведущих признаков, но наряду с ней учитываются транспортирующая способность потока, устойчивость русла, форма транспорта наносов, направленность вертикальных деформаций и т. д. Наиболее отчетливо это проявилось в классификации Государственного гидрологического института (ГГИ) (Попов, 1965; Кондратьев,

1968; Кондратьев, Попов, Снисченко, 1968). В ней типы русла (русловых процессов) располагаются в определенной последовательности: 1) ленточно-грядовый; 2) побочневый; 3) ограниченное меандрирование; 4) свободное меандрирование; 5) незавершенное меандрирование; 6) пойменная многорукавность; 7) русловая многорукавность. Эта последовательность типов русла образует закономерный ряд, соответствующий изменению транспортирующей способности потока. С другой стороны, придание извилистости русла функции ведущего классификационного признака обуславливает то, что меандрирование представлено тремя типами русла, а если учесть, что при развитии побочней динамическая ось потока в межень оказывается также извилистой, — четырьмя. В то же время разветвленные русла даются очень обобщенно, а прямолинейные русла отсутствуют (хотя к ним можно отнести типы русла, выделенные по формам руслового рельефа — ленточногрядовый, побочневый, осередковый).

Данная классификация критиковалась с позиции нарушения ведущего признака: в ней в один ряд поставлены русловые формы различного порядка и механизмы их формирования (побочни, осередки, ленточные гряды — формы руслового рельефа, отражающие грядовое движение наносов, и излуцины, русловая и пойменная многорукавность — формы самого русла) (Чалов, 1979).

К. В. Гришанин (1972), основываясь на классификацию ГГИ, соотносит предложенные ими типы русла с тремя главными типами речных русел, предложенными К. И. Россинским и И. А. Кузьминым, Н. И. Маккавеевым, выделяя: 1) русла прямолинейные или слабо изогнутые одорукавные с расположенными в них в шахматном порядке побочнями; 2) извилистые или меандрирующие русла (дополнительно к ним относит вынужденные излуцины); 3) разветвленные русла.

Некоторые исследователи пытались классифицировать реки одновременно и по устойчивости русла, и по его морфологии. Так, в классификации И. Ф. Карасева (1975), близкой по структуре к классификации ГГИ, все семь типов русел, отнесены к динамически устойчивым руслам. Дополнительно рассматриваются два типа динамически неустойчивых русел — с глубинной эрозией и аккумуляцией.

Большинство зарубежных морфодинамических классификаций опираются на принципы классификации К. И. Россинского

и И. А. Кузьмина, дополняя их новыми признаками (Leopold, Wolman, 1957; Rihards, 1980; Schumm, 1977; Шен Юйчан и Гун Гоюань, 1999 и др.).

Последней из предложенных отечественных классификаций русел рек является морфодинамическая классификация Р. С. Чалова (Чалов, 1996, 1997; Чалов, Алабян и др., 1998), являющаяся развитием схемы, предложенной Н. И. Маккавеевым и Р. С. Чаловым (1986). По своей структуре она многоуровневая, состоит из системы блоков (рис. 4.1.1), каждый из которых соответствует уровню развития русловых процессов и форм их проявления; русловые процессы предыдущего блока образуют фон, на котором происходят процессы руслоформирования каждого следующего блока.

Блок I составляют типы русловых процессов, соответствующие горным, полугорным и равнинным рекам.

Блок II включает «геоморфологические» типы русел — широкопойменные, врезанные и адаптированные. Врезанные (беспойменные) русла, формирующиеся в условиях ограниченного развития горизонтальных русловых деформаций. В их пределах русло контролируется высокими незатопляемыми берегами, сложенными коренными породами и представленными уступами водораздельных поверхностей или цокольных террас. Русло при этом повторяет в плане изгибы долины, пойма узкая, как правило, односторонняя, приуроченная к выпуклым берегам излучин, нередко отсутствует. Адаптированные русла формируются либо в широкопойменном русле при подходе или расположении реки возле коренного берега как одиночные формы русла, либо в относительно узкой долине, в которой река последовательно переходит от одного коренного берега к другому и имеет чередующуюся то левую, то правобережную пойму. Широкопойменные русла соответствуют свободному развитию русловых деформаций, когда коренные породы не ограничивают горизонтальные смещения русла.

Блок III включает макроформы русла, которые прямо не связаны с горизонтальными русловыми деформациями, превышают предельные размеры русловых форм при современной водности реки, величине стока, крупности наносов, ширине русла, но в то же время оказывают влияние на их развитие.

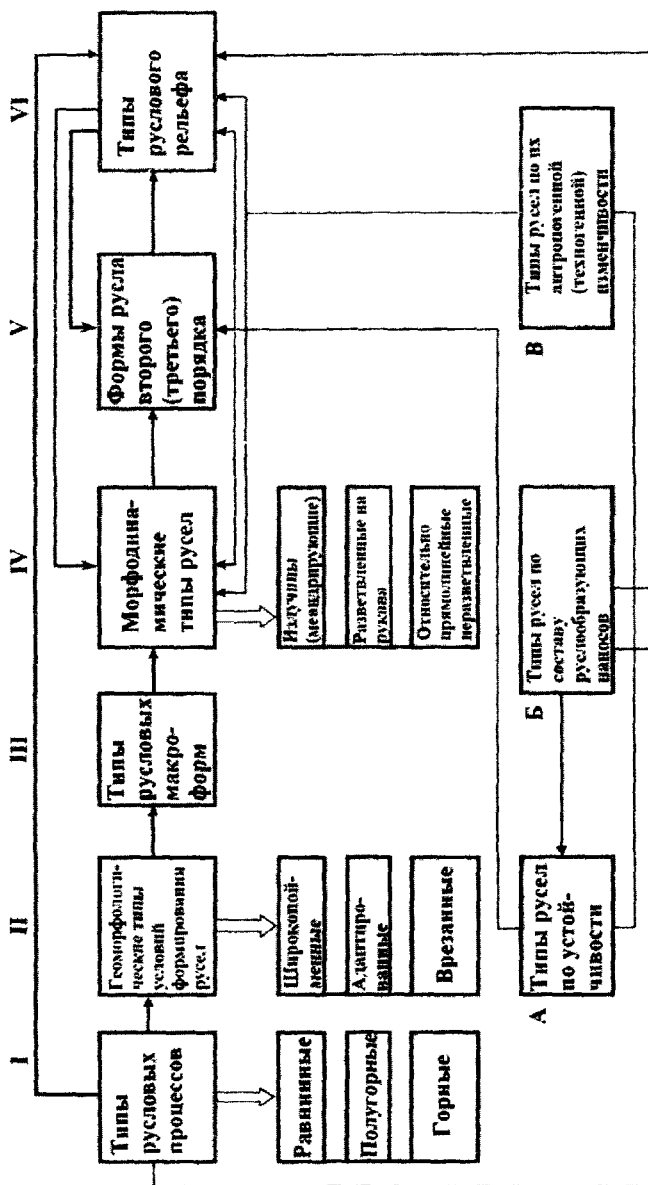


Рис. 4.1.1. Структура морфологической классификации русел: I, II.. — основные блоки; А, Б, В — дополнительные блоки (по Р. С. Чалову, А. М. Алабяну и др., 1998)

Для каждого геоморфологического типа русла характерен определенный морфодинамический тип (блок IV), характеризующийся определенным морфологическим обликом русла реки видом русловых деформаций: излучины (меандрирующие русла), разветвления (русловая многорукавность) или прямолинейные неразветвленные русла. Каждый из типов может развиваться на фоне тех или иных макроформ, быть широкопойменным, адаптированным или врезанным. В свою очередь каждый морфодинамический тип русла представлен различными модификациями (подтипами). В классификации равнинных рек эти подтипы соотносятся со свободными, адаптированными или ограниченными условиями развития русловых деформаций. Среди свободных излучин в широкопойменном русле выделено четыре разновидности, имеющие разную форму в плане (морфологию) и направленность смещения (горизонтальные деформации) — сегментные, прорванные, петлеобразные, синусоидальные.

Блок V классификации включает в себя формы русла второго и третьего порядков, осложняющие излучины, разветвления или относительно прямолинейное неразветвленное русло.

Блок VI образуют формы руслового рельефа и русловые деформации, связанные с грядовым движением наносов, или скульптурные, обусловленные неровностями коренного ложа реки.

Дополнительные (параллельные) блоки классифицируют русла по степени их устойчивости (блок А), дающей интегральную оценку интенсивности их переформирований, по составу руслообразующих наносов (блок Б), определяющих отличие в морфологии и динамике русел, и по степени антропогенной измененности русел (блок В).

На основе данной морфодинамической классификации Р. С. Чалова проводится выделение типов русел на реках Удмуртии. Но рассматриваются не все блоки классификации. Из типов русловых процессов (блок I) во внимание берутся лишь те, которые соответствуют равнинным рекам. Из трех «геоморфологических» типов русел (блок II) подробно рассматриваются в дальнейшем лишь широкопойменные, а среди собственно морфодинамических типов (блок IV) широкопойменных русел — прямолинейные и свободные извилистые (меандрирующие).

4.2. Распределение русел рек разных морфодинамических типов на территории Удмуртии

Сравнительно небольшие уклоны и скорости потока, спокойный его характер, преимущественно песчаный состав наносов обуславливают распространение на территории Удмуртии по особенностям развития русловых процессов равнинных рек. В верховьях рек, где водоток имеет порядок ниже 3-го (по Философovu-Стралеру), где уклоны велики, встречаются участки полугорного русла.

Равнинный рельеф, широкие унаследованные поймы, распространение на изучаемой территории легкоразмываемых отложений четвертичного периода обусловили преобладание свободных условий руслоформирования и широкопойменных рек. Поэтому в рамках районирования Камского бассейна по факторам и формам проявления русловых процессов на малых и средних реках (Чалов, Чернов, 1996) территория Удмуртии входит в состав Камско-Вятского района, характеризующегося преобладанием широкопойменных русел.

Основой для выделения той или иной формы русла служат его конфигурация в плане и наличие в русле островов. В первом случае неразветвленные русла разделяются на извилистые (образующие излучины, меандрирующие) и относительно прямолинейные, во втором — русла являются разветвленными на рукава.

Чтобы оценить, является русло относительно прямолинейным или извилистым (меандрирующим), В.В. Иванов (Чалов, Алабян и др., 1998) предложил использовать показатель степени развитости излучин — l/L . К прямолинейному неразветвленному руслу относятся участки рек с относительно прямолинейными берегами, имеющие общий пологий изгиб, при котором соотношение длины русла (l) и прямой линии шага изгиба (L) не превышает 1,10-1,15 (Иванов, Чалов, 1991). Конфигурация русла при этом не изменяется. При $l/L > 1,10-1,15$ развиваются излучины, соответственно, значение $l/L = 1,10-1,15$ является пороговым для возникновения процесса меандрирования и перехода от прямолинейного русла к извилистому.

Меандрирующее русло в условиях свободного развития русловых деформаций (широкопойменные русла) составляет 74 % от длины рек (для рек длиной более 500 км); для рек меньшей протяженности его доля становится еще более весомой (Морфология и динамика русел рек ..., 1999; Завадский, 2001). Подобная картина наблюдается и на территории Удмуртии: от общей протяжен-

ности рек 78% составляют извилистые меандрирующие русла; на прямолинейные неразветвленные участки русла приходится 22%; разветвленные русла не имеют самостоятельного значения. Данная закономерность характерна как в целом для Удмуртии, так и для отдельных речных бассейнов (рис. 4.2.1, табл. 4.2.1).

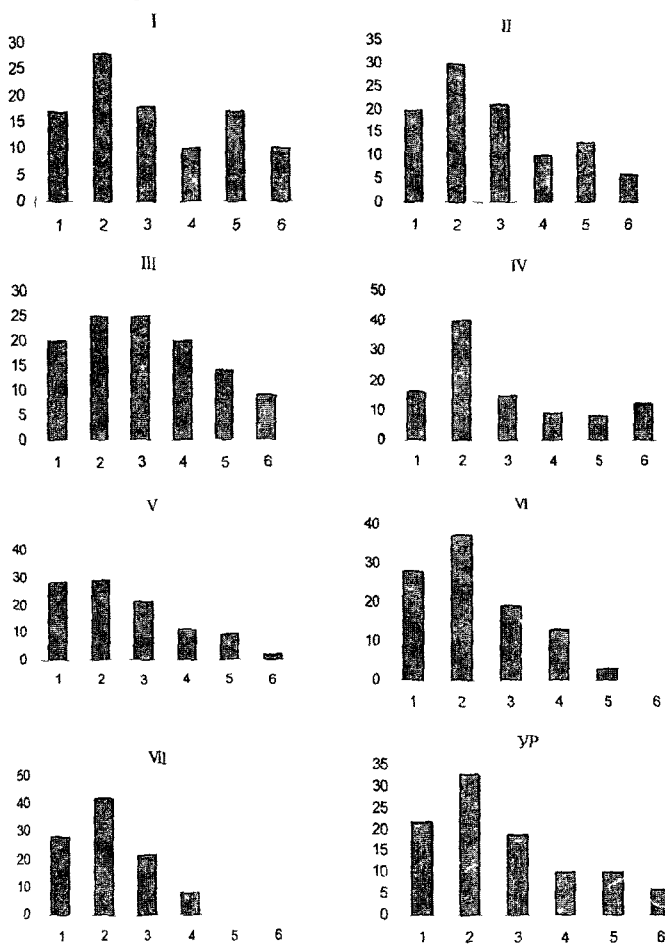


Рис. 4.2.1. Распределение русел с различными морфодинамическими типами по речным бассейнам Удмуртии (%): 1-прямолинейное русло; 2- пологие излучины; 3-развитые излучины; 4-крутые излучины; 5-петлеобразные и синусоидальные излучины; 6- прорванные и пологие излучины. I-VII- бассейны рек: I-Чепцы; II-Валы; III-Кильмези; IV-Сивы; V-Ижа; VI-р. Тойма и левые притоки Вятки; VII-правые притоки Камы

Благодаря широкому развитию процессов меандрирования наиболее распространенной формой русла на территории Удмуртии являются излучины (рис.4.2.2).

Таблица 4.2.1.

Соотношение морфодинамических типов широкопойменного русла в различных речных бассейнах Удмуртии
(в % от длины русла)

Морфодинамический тип русла	Чепца	Вала	Киль-мезь	Сива	Иж	Тойма и левые притоки Вятки	Правые притоки Камы	Среднее по Удмуртии
1. относительно прямолинейные неразветвленные	17	20	20	16	28	28	28	22
2. свободные извилистые	83	80	80	84	72	72	72	78
а) пологие сегментные излучины	28	30	25	40	29	37	42	33
б) развитые сегментные излучины	18	21	20	15	21	19	22	19
в) крутые сегментные излучины	10	10	12	9	11	13	8	10
г) петлеобразные и синусоидальные излучины	17	13	14	8	9	3	0	10
д) пологие и прорванные	10	6	9	12	2	0	0	6

Согласно морфодинамической классификации, в первую очередь излучины подразделяются на свободные, врезанные и адаптированные, формирование которых определяется геолого-геоморфологическими условиями. На следующем этапе — собственно морфодинамическом — излучины делятся по форме в плане, характеру их деформаций. Выделяются сегментные, прорванные, петлеоб-

разные и синусоидальные излучины (Чалов, Алабян и др., 1998). Геолого-геоморфологические условия территории Удмуртии обусловили преобладание свободных излучин.

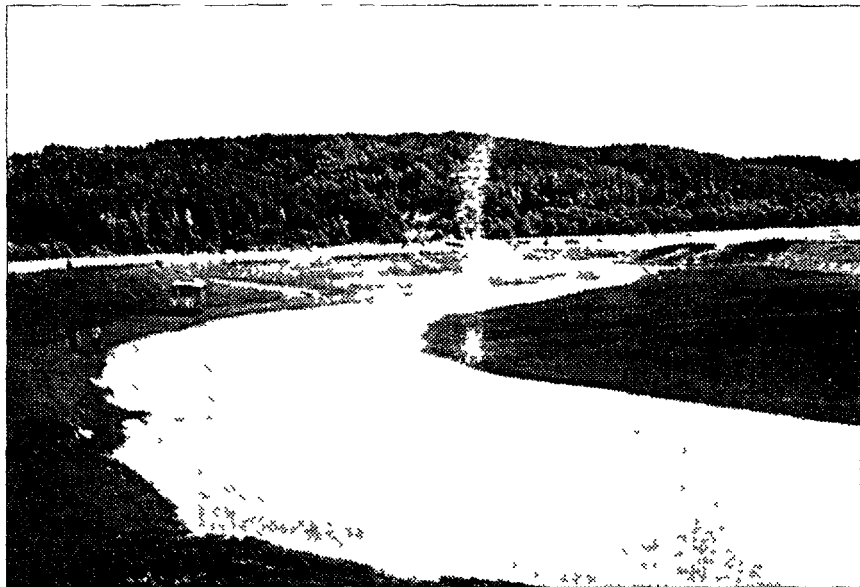


Рис. 4.2.2. Меандрирующее русло реки Убыть (левый приток р. Чепцы) у д. Чура Глазовского района Удмуртии

В процессе своего развития свободные излучины проходят несколько стадий, каждая из которых различается по интенсивности и направленности трансформации плановых очертаний самой излучины (рис. 4.2.3).

На первой стадии пологая сегментная излучина, степень развитости которой характеризуется соотношением $1,15 < l/L < 1,40$, в основном деформируется за счет размыва выпуклого берега в верхнем крыле и вогнутого в нижнем. Одновременно, благодаря циркуляционным течениям, происходит более интенсивный размыв вогнутого берега в привершинной части. Это и определяет ее преимущественно продольное смещение. Примеры преобладающего продольного смещения можно наблюдать на пологих излучинах в среднем течении р. Чепцы, Лозы, Кильмези. На рис. 4.2.4 видно продольное смещение пологих излучин р. Юнды.

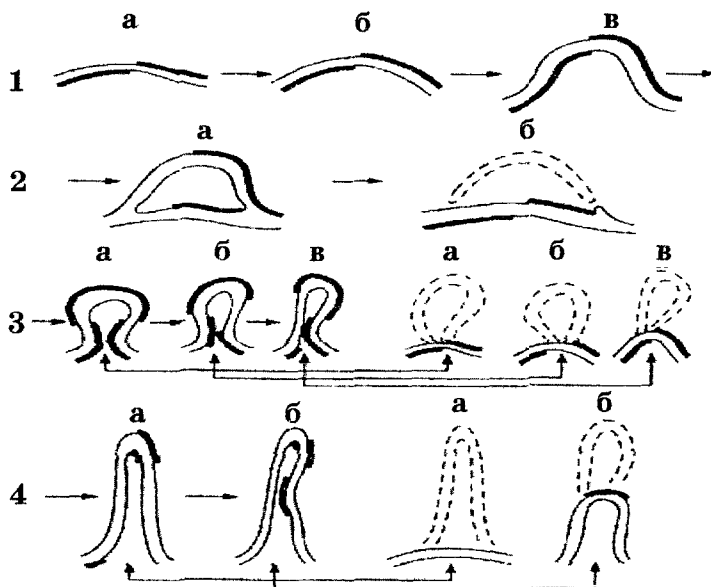
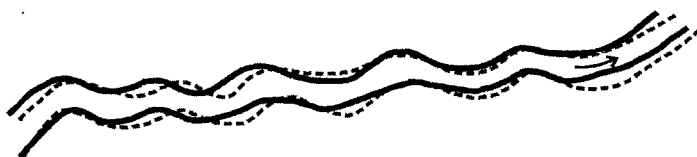


Рис. 4.2.3. Схема эволюции формы свободных излучин в процессе их смещения и изменение положения зон размыва берегов (Чалов, Завадский, Панин, 2004): 1- смещение сегментных излучин; 2- трансформация прорванной излучины; 3- пути возможной трансформации петлеобразной излучины; 4- трансформация синусоидальной излучины; а, б, в — стадии развития излучин разной формы.



Масштаб 1: 10000

Рис. 4.2.4. Развитие пологих излучин р. Юнды

— — положение русла в 1933 году;
 - - - положение русла в 1987 году

Вторая стадия развитой сегментной излучины ($1,40 < l/L < 1,70$) отличается активизацией как поперечной составляющей, так и продольного смещения. На фрагменте реконструкции рельефа поймы р. Чепцы (рис. 4.2.5) хорошо видны следы преобразования развитой сегментной излучины.

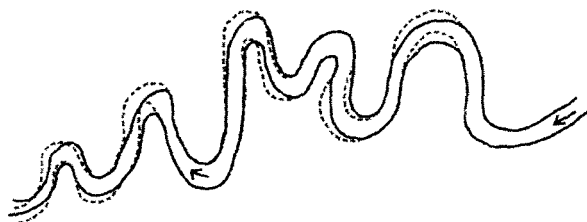


А

Б

Рис. 4.2.5. Развитая сегментная излучина р. Чепцы: А - космический снимок 2005 года; Б - восстановленный рисунок излучины по рельефу поймы

В третью стадию излучина становится крутой сегментной, степень ее развитости в среднем составляет (l/L) ср. = 1,7-2,0. Скорости деформаций достигают максимальных величин, сохраняя продольное смещение; в то же время излучина активно искривляется за счет размывов вогнутого берега, причем фронт размыва смещается вверх по отношению к ее вершине и геометрической оси (Чалов, Завадский, Панин, 2004). Хорошо видны такие переформирования на р. Убыть (рис. 4.2.6). Подобные примеры можно увидеть на многих реках республики после наложения одновременных карт или аэрофотоснимков.



Масштаб 1: 10000

Рис. 4.2.6. Крутые излучины р. Убыть
 — — — — — положение русла в 1934 году;
 - - - - - положение русла в 1987 году

Переход через критическое значение степени развитости излучины $l/L > 2,0$ означает начало четвертой стадии ее развития, причем пути эволюции излучины в эту стадию могут быть различными. Однако при благоприятных условиях уже при значении $l/L > 1,4$ происходит спрямление русла и образование прорванной излучи-

ны. Для этого варианта эволюции излучины дальнейшее ее развитие заключается либо в отмирании старого русла и превращении его в старичное озеро серповидной формы или широкую заболоченную ложбину с нижним концом в виде залива, либо его включение в систему ответвлений — рукавов, составляющих пойменную многоорукавность. Прорванные излучины встречаются только на реках, на которых руслоформирующий расход проходит при затопленной пойме. Условия руслоформирования на территории Удмуртии, и прежде всего крайне низкая обеспеченность верхнего интервала руслоформирующих расходов, неблагоприятны для образования прорванных излучин. Поэтому самостоятельного морфодинамического типа эти излучины не образуют, а встречаются лишь как отдельные элементы среди других типов русла (рис. 4.2.7).

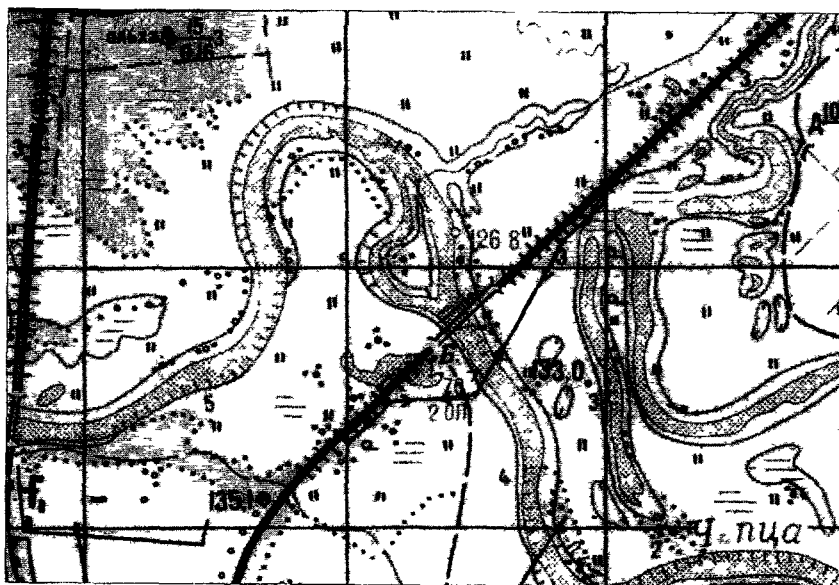
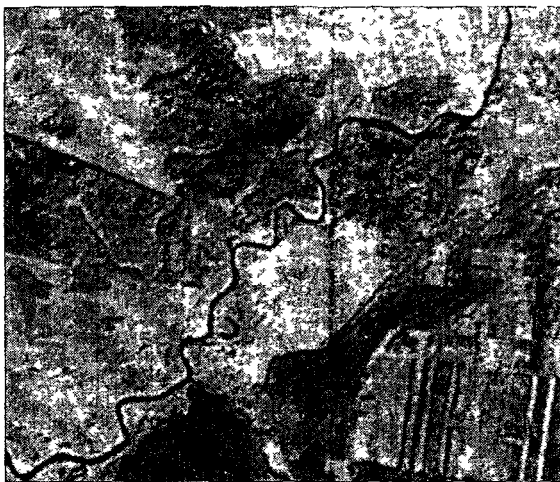


Рис. 4.2.7 Прорванная сегментная излучина р. Чепцы

Сегментные излучины являются наиболее распространенными на территории Удмуртии; доля их в среднем по республике составляет 62% (рис. 4.2.1, табл. 4.2.1). Значительное их количество отражает различные стадии развития излучин и является косвенным свидетельством активного процесса переформирования извилистого русла в целом. Чаще на реках встречаются все три стадии разви-

тия сегментных излучин — от пологих до крутых. По отдельным речным бассейнам республики доля сегментных излучин колеблется от 56 % в бассейне Чепцы до 69-72 % на притоках Камы и Вятки. На рисунке 4.2.8. показаны примеры сегментных излучин на реке Иж.

Среди сегментных излучин значительная доля приходится на пологие: доля их составляет в среднем 47 % среди всех типов излучин и около 53 % среди всех сегментных. Далее по распространенности следуют сегментные развитые (соответственно 25 % и 31 %) и сегментные крутые (13 % и 16 %).



*Рис. 4.2.8. Сегментные излучины реки Иж
(космический снимок 2005 года)*

Если спрямление крутой сегментной излучины не происходит, она на четвертой стадии развития трансформируется в излучину петлеобразной или синусоидальной формы, что можно видеть на рис. 4.2.9А. При этом происходит преимущественно поперечное смещение всей излучины (поперек дна долины, вдоль геометрической оси излучины) вследствие распространения фронта размыва вогнутого берега на всю привершинную часть излучины, захватывая верхнее ее крыло. Одновременно сохраняется размыв выпуклого берега в верхнем крыле в начале излучины и, вследствие искривления русла в привершинной части, начинается размыв того же выпуклого берега со стороны нижнего крыла излучины.

Таким образом, продольное смещение излучины может быть трансгрессивным (верхнее крыло) и регрессивным (нижнее крыло), а для всей петлеобразной излучины характерно поперечно-продольное смещение. Встречный размыв берегов на крыльях излучин очень часто приводит к спрямлению русла и образованию староречья (рис. 4.2.9Б).

На ключевом участке №13 на реке Сеныч весной 2002 года произошел прорыв петлеобразной излучины, образовались пологая излучина и старица. Пришлось закладывать новые репера и марки для дальнейшего изучения боковой эрозии.

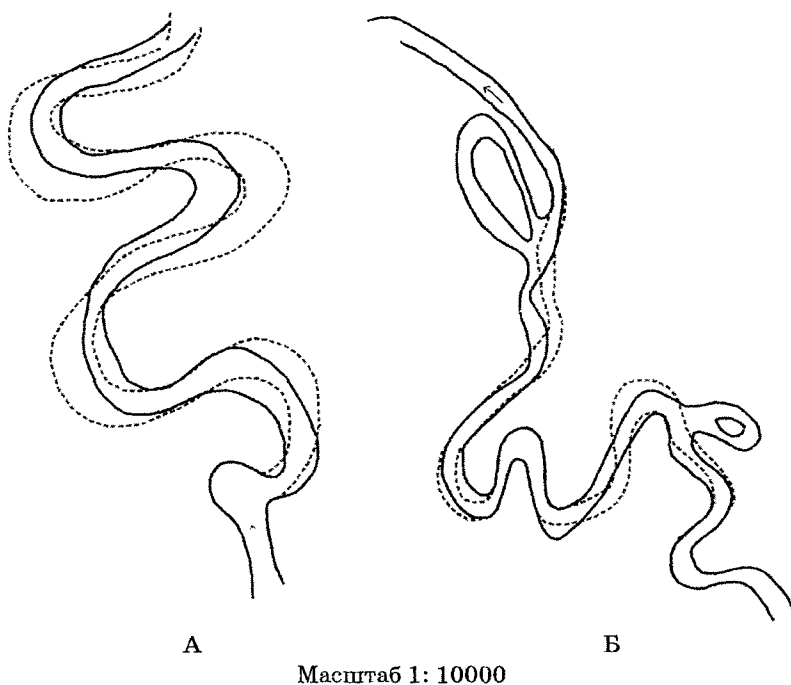


Рис. 4.2.9. Трансформация крутых излучин р. Сеныч в петлеобразные (А), спрямление петлеобразной излучины р. Убыть (Б):

— — — — — положение русла в 1934 году; - - - - - положение русла в 1987 году

Доля петлеобразных и синусоидальных излучин на территории Удмуртии высока — составляет 10% от суммарной протяженности рек и 13% среди различных видов излучин. Широкому рас-

пространению крутых излучин сложных форм (петлеобразных, синусоидальных) способствуют руслоформирующие расходы Q_{ϕ} , проходящие в пределах русла. Чаще петлеобразные и синусоидальные излучины встречаются в средних и нижних участках средних и крупных рек Удмуртии. Наибольшее их количество характерно для рек бассейнов Чепцы и Кильмези, Валу — 14-17% (табл. 4.2.1, рис. 4.2.1). Среди отдельных рек со значительной протяженностью излучин русла данного типа можно отметить Лозу, Иту, Лекму, Чепцу, Иж, Лумпун, Уть, Кильмезь, Уву (рис. 4.2.10, 4.2.11).



Рис.4.2.10. Петлеобразные излучины в нижнем течении реки Кильмезь

Разветвленные русла не имеют самостоятельного значения. Острова и осередки встречаются и в меандрирующих, и в прямолинейных руслах (русловая многорукавность), образуя формы второго порядка. Лишь в очень редких случаях они определяют морфологию коротких участков русел. Данная разновидность русла встречается в основном на крупных и средних реках Удмуртии. В среднем течении р. Чепцы встречаются одиночные разветвления, образованные отдельными островами или группами островов (рис.4.2.12).

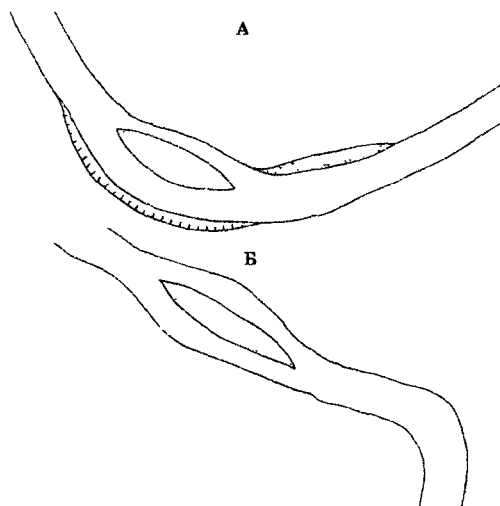


Рис.4.2.11. Спрявление петлеобразных излучины в среднем течении р. Чепцы

Часто участки разветвленного русла могут возникать при спрямлении излучин, развитии прорванных излучин, образуя разветвлено-извилистое русло. Впоследствии образовавшиеся рукава отчлениваются от русла, превращаются в старицы, а затем в озера. Но из-за крайне низкой обеспеченности верхнего интервала руслоформирующих расходов на реках Удмуртии данная разновидность разветвленного русла представлена очень слабо. Можно встретить такие формы русла на реках Чепца, Кильмезь, Вала, Сива (рис. 4.2.13).

Неширокое распространение на территории республики имеют адаптированные (вынужденные) излучины (около 2%). В тех местах, где русло реки подходит или расположено возле коренного берега эти излучины образуются как одиночные формы русла. Небольшими по протяженности участками данный тип излучин встречается в бассейне р. р. Чепцы, Лозы, Иты (рис. 4.2.14), характерен для верховий Вятки и Камы.

Относительно прямолинейные неразветвленные участки русла составляют 22% от всей длины рек Удмуртии. В условиях свободного развития русловых деформаций, когда поток достаточно легко размывает сложенные рыхлыми отложениями берега, среди широкопойменных прямолинейных русел выделяют две разновидности, отличающиеся друг от друга с точки зрения их генезиса.



Масштаб 1: 10000

Рис. 4.2.12. Одиночные разветвления в среднем течении р. Чепцы: А - в районе д. Кожило; Б - в районе д. Омутницы



Рис. 4.2.13. Образование разветвленного участка русла в нижнем течении р. Сивы



Рис. 4.2.14 Коренной берег р. Лозы у д. Сундур (Игринский р-н УР).
На дальнем плане — вынужденная излучина

К первой относятся русла, сформировавшиеся с самого начала как прямолинейные и длительное время сохраняющие свои плановые очертания. Их можно назвать «нетрансформирующимися» (Иванов, Чалов, 1991), подчеркивая тем самым пространственно-временную устойчивость их плановых очертаний.

Основным условием динамической устойчивости прямолинейной формы русла на территории Удмуртии является малый сток руслообразующих наносов. В этом случае формы рельефа русла имеют небольшую высоту, не образуют прирусловых отмелей (побочней, осередков), обсыхающих в межень и не могут составлять основы для развития пойменных сегментов или элементарных островов. Русла данного типа чаще всего встречаются в верхнем течении рек (рис. 4.2.15), где они не успели еще получить от размыва дна и берегов и с площади водосбора достаточное для образования групп гряд количество твердого материала. На территории республики данный тип русла характерен для верхних участков всех малых рек.

На реках Удмуртии очень часто спрямление русла происходит при встречном размыве берегов на крыльях петлеобразных излучин, развивающихся в условиях широких двусторонних пойм. Данная разновидность прямолинейного русла часто встречается среди меандрирующего русла Чепцы, Кильмези, Валы, Ижа и др. средних и крупных рек республики (рис. 4.2.11).

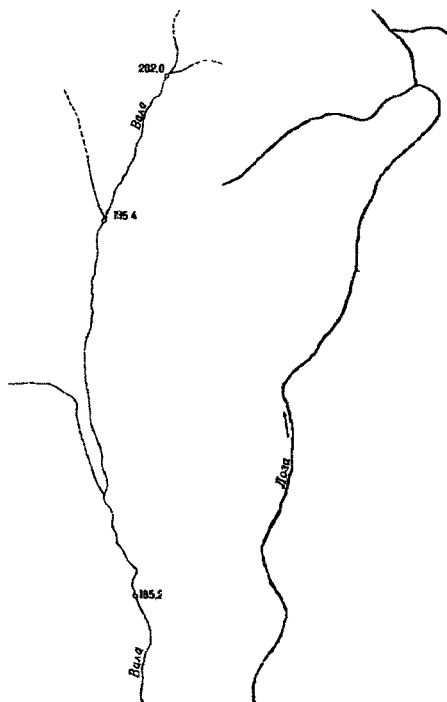


Рис. 4.2.15. Прямолинейные русла в верховьях рек Валы и Лозы



Рис. 4.2.16. Участок прямолинейного русла в среднем течении р. Чепца

Однако в ряде случаев повторное развитие излучин не происходит, и трансформирующиеся русла могут превратиться в нетрансформирующиеся. Обычно это бывает при изменении руслоформирующих факторов. Например, при прорыве излучин вдоль коренного берега последний может оказать на поток решающее воздействие, вследствие чего русло приобретает динамическую устойчивость, изменяя свой морфодинамический тип. Расположение потока вдоль коренного берега является наиболее частой причиной формирования прямолинейного русла, поскольку в этом случае ему соответствует определенная структура его скоростного поля и поперечная циркуляция, направленная в сторону пойменного берега и обеспечивающая вынос туда транспортируемого материала (Чалов, Алабян и др., 1998). Подобные условия формирования прямолинейного русла можно встретить на реках Удмуртии: такого рода участки встречаются в среднем и нижнем течении р. Чепцы (рис. 4.2.16), Кильмези (рис. 4.2.17) и др. рек республики. Поймы рек в таких местах имеют своеобразное сегментно-гвивистое строение. За весь период существования поймы процессы возникновения и развития излучин протекали многократно, поэтому в пределах современной поймы наблюдается значительное количество возникших в разное время гвивистых пойменных сегментов (Чернов, 1983).



Рис. 4.2.17. Участок прямолинейного русла р. Кильмезь

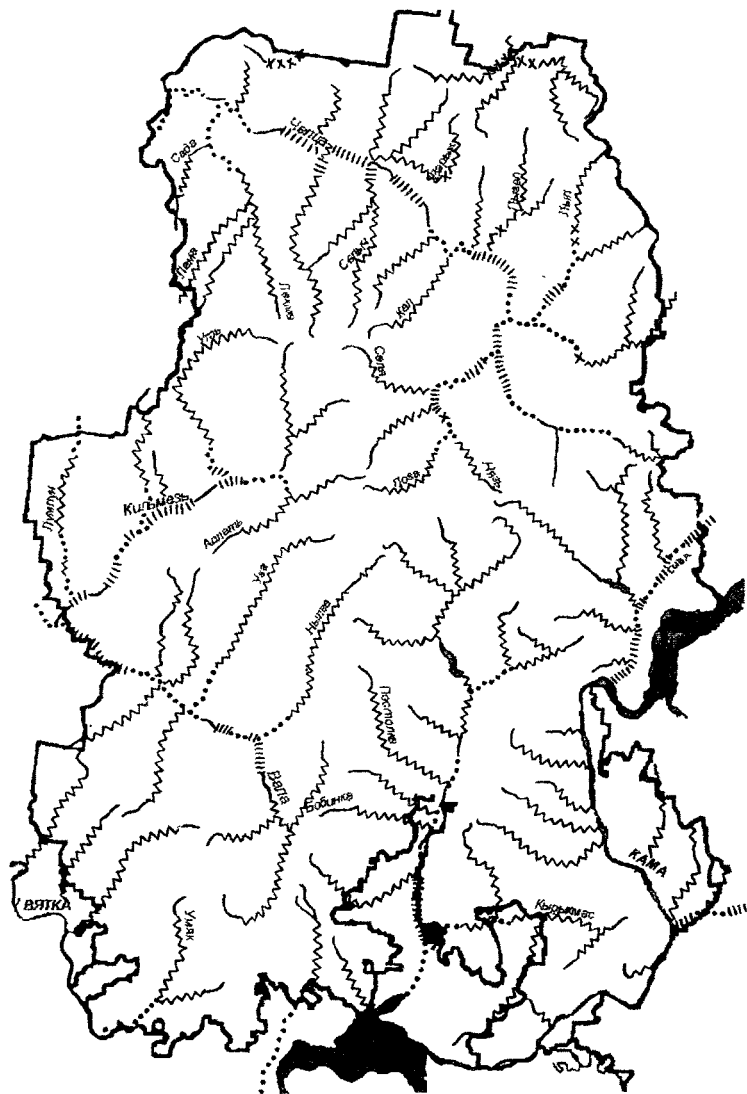


Рис. 4.2.18. Морфодинамические типы русел рек Удмуртии

Условные обозначения:

- — прямолнейные русла; МММ — сегментные излучины;
..... — петлеобразные, синусоидальные излучины;
|||| — прорванные и пологие излучины;
xxxx — адаптированные излучины

В целом доля относительно прямолинейного неразветвленного типа русла на реках республики, встречающегося в верхних и нижних участках рек, составляет от 16% в бассейне р. Сивы до 28% в бассейне Ижа, левых притоков Вятки и правых притоков Камы (таблица 4.2.1).

На основе полученных данных о морфодинамических типах русел рек Удмуртии была построена карта их распространения (рис. 4.2.18).

На карте ярко выделяется преобладание сегментных излучин на всех реках и, особенно на реках I и II групп. Большим разнообразием морфодинамических типов характеризуются реки III группы — Чепца, Кильмезь, Вала, Иж, Сива. Здесь высока доля петлеобразных излучин и спрямленных участков, встречаются прорванные излучины.

При преобладании сегментных излучин и прямолинейных участков русел по всей территории Удмуртии наблюдается несколько повышенная доля последних на юге, что возможно связано с низкими показателями стока влекомых наносов.

На севере республики выше доля петлеобразных и прорванных излучин. Существенным отличием северной половины Удмуртии является наличие на реках участков с адаптированными излучинами.

Таким образом, сочетание геолого-геоморфологических и гидрологических факторов — равнинного рельефа, легкоразмываемых отложений, руслоформирующих расходов, проходящих в основном в пределах русла, — обусловило преимущественное распространение на территории Удмуртии меандрирующего русла и формирование разнообразных видов излучин (сегментных, петлеобразных, синусоидальных).

5. ГИДРОЛОГО- МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РУСЕЛ РЕК УДМУРТИИ

5.1. Морфология и морфометрия русел рек

Русло любой реки характеризуется определенным набором морфологических и морфометрических параметров. В качестве основных морфометрических параметров рассматривают длину, ширину, глубину русла; к морфологическим относят те, сочетание которых определяют форму русла в плане. Для меандрирующего русла это основные параметры излучин шаг L , радиус кривизны r , стрела прогиба h , длина l (рис. 3.2.2) и безразмерные показатели (степень развитости l/L и коэффициент формы r/h).

Сочетание морфологических и морфометрических параметров различно у рек разного порядка, изменяется по длине реки от истока к устью, зависит от местных условий (состава пород, характера растительности и т.д.).

Три группы рек, рассматриваемые в работе, отличаются между собой не только порядком и водностью (табл. 3.2.1), но и характеристикой всех морфометрических и морфологических параметров.

Основные морфометрические параметры рек — длина, ширина и глубина — тесно связаны с водоносностью и порядком (N) (по А. Шайдеггеру) рек: с увеличением последних растут и значения параметров. Длины рек (S) I группы не превышают 25 км, II-ой — изменяются от 25 до 100 км, III-ей — превышают 100 км. Ширина русла (B) у самых малых рек не превышает 15 м, у средних (III группа) составляет уже более 50 м. Значения глубин (g) изменяются

от 0,2-0,7 м на реках I — ой группы до 1,5-3,5 и более м на реках III-ей группы. Связь длины, глубины и ширины русла с порядком водотока хорошо видна на рисунках 5.1.1-5.1.3. Зависимости $S(B, g)=f(N)$ описываются уравнениями $S=21,66N-101,3$; $B=7,99N-37,33$ и $g=0,22N-0,53$; значения коэффициентов корреляции составляют при этом соответственно 0,73, 0,77 и 0,79.

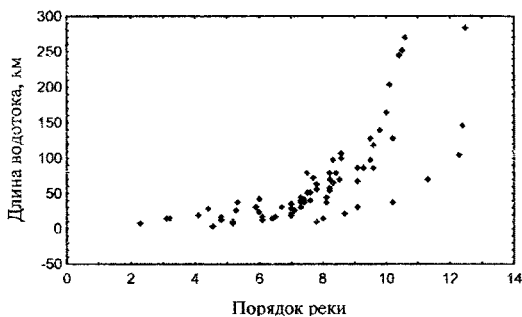


Рис. 5.1.1. Связь длины реки и ее порядка

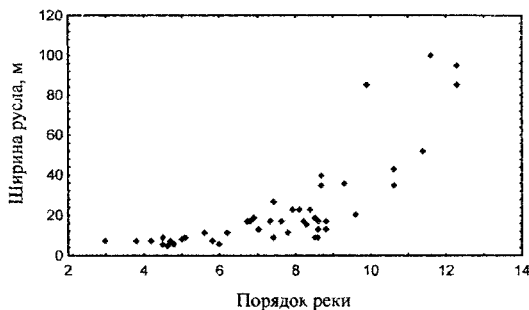


Рис. 5.1.2. Связь ширины русла реки и ее порядка

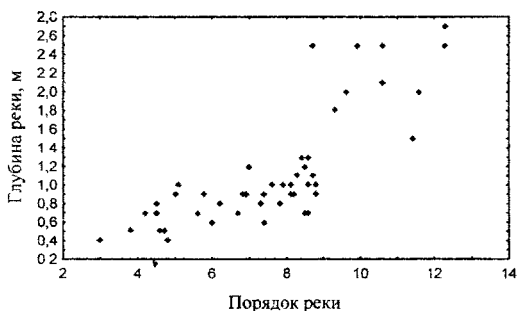


Рис. 5.1.3. Связь средней глубины реки и ее порядка

Между самими параметрами связь также тесная, значения коэффициентов корреляции составляют 0,8-0,9.

От размера реки — порядка, длины, ширины — зависят и размеры излучин: чем крупнее река, тем крупнее излучины. Для оценки размеров и формы излучин применяют показатели — параметры («измерители», по терминологии ГТИ (Попов, 1964, 1965; Кондратьев и др., 1982)): шаг L , радиус кривизны r , стрела прогиба h , длина по руслу l , а также безразмерные показатели — степень развитости l/L и показатель формы r/h . Они позволяют достаточно полно охарактеризовать геометрию очертаний изгиба русла в плане.

Величины основных параметров излучин на реках Удмуртии изменяются в значительных пределах, возрастая с увеличением порядка водотока (табл. 5.1.1, прилож. 3).

Таблица 5.1.1.

**Характерные значения параметров свободных излучин
на реках Удмуртии**

Параметр излучины, м	Реки		
	I гр.	II гр.	III гр.
L	< 300	300-700	> 700
r	< 50	50-150	> 150
h	< 100	100-200	> 200
l	< 500	500-1000	> 1000

Минимальные величины шага излучин L характерны для рек I-ой группы: модальные значения составляют 100-300 м. Но разброс в значениях довольно велик — от 100 до 700 м, — рядом могут располагаться излучины, значения шага которых отличается довольно существенно. Модальные значения шага для рек II-ой группы составляют 300-700 м, хотя встречаются излучины с величиной шага и 150 и 850 м. Максимальные значения шага излучин присущи наиболее крупным рекам — Чепце, Кильмези, Ижу, Сиве. В низовьях и средних участках течения этих рек значения шага излучин увеличиваются до 800-1200 и более м.

Величины радиуса кривизны r изменяются от 25-50 м на малых реках I-ой группы до 150-400 м и более на реках III-ей группы.

Значения радиуса кривизны и шага отличаются у излучин, находящихся на разных стадиях развития. В процессе развития сегментных излучин — от пологих до крутых — при постоянном расходе воды

величины r и L уменьшаются (Завадский, Каргаполова, Чалов, 2002). Данная закономерность наблюдается и на реках Удмуртии. На небольшом участке р. Лозы (1,5 км) в верхнем течении значения шага и радиуса излучин вниз по течению уменьшаются в связи со сменой их морфодинамического типа (табл. 5.1.2). При переходе в стадию петлеобразной или омеговидной излучины эти параметры могут как продолжать уменьшаться, так и увеличиваться в зависимости от особенностей развития таких излучин на конкретном участке реки.

Таблица 5.1.2.

Изменение параметров излучин на р. Лозе (верхнее течение)

№ излучины	Коэффициент развитости	Параметры излучины	
		L	r
1	1,2	180	50
2	1,3	180	50
3	1,4	150	40
4	1,4	150	40
5	1,6	140	30
6	1,8	130	30
7	1,8	125	25

Для всех видов излучин между параметрами L и r — наблюдается линейная связь (рис. 5.1.4). Значение коэффициента корреляции при этом составляет порядка 0,9. Связь описывается уравнением $r=aL+C$, где a — коэффициент, присущий каждой конкретной реке и изменяющийся в пределах 0,2-0,4 (табл. 5.1.3).

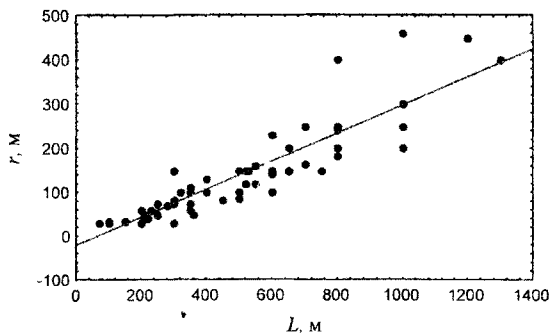


Рис. 5.1.4. Зависимость радиуса кривизны r от шага свободных излучин L

Таблица 5.1.3.

Параметры уравнения $r=aL+C$ и значения коэффициента корреляции (R) между шагом (L) и радиусом излучин (r) на реках Удмуртии

Реки	a	C	R
Чепца	0,3	4,42	0,98
Кильмезь	0,4	-42,78	0,94
Вала	0,3	-2,87	0,96
Иж	0,2	-1,68	0,94

Параметры, зависящие от формы излучин, стрела прогиба h и длина излучины l изменяются иначе. С увеличением степени развитости происходит последовательное возрастание их значений. Стрела прогиба увеличивается в среднем в два раза у излучин петлеобразных и синусоидальных; длина излучин возрастает более чем в полтора раза. Также наблюдается увеличение этих параметров с возрастанием порядка реки. Модальные значения стрелы прогиба колеблются от 25-100 м на малых реках до 200-400 м и более на реках III-ей группы. Длины излучин рек I-ой группы равны 200-500 м, II-ой — 500-1000 м, у рек III-ей группы увеличиваются в среднем до 2000-2500 м.

Ввиду того, что изменения h и l на всех излучинах происходят однонаправленно, между ними также существует тесная линейная зависимость (рис. 5.1.5). Значение коэффициента корреляции при этом составляет 0,9.

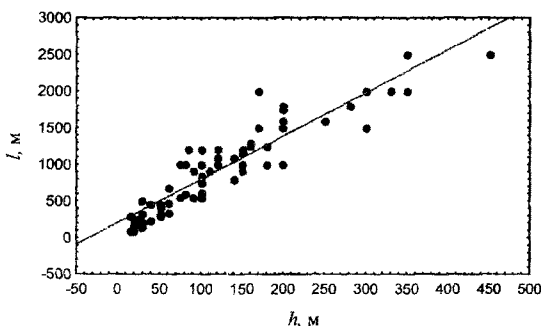


Рис. 5.1.5. Зависимость между длиной излучины l и стрелой прогиба h

Значения параметров излучин зависят от состава размываемых пород и характера лесистости. Реки, протекающие среди легкоразмываемых отложений, при прочих равных условиях характеризу-

ются большими значениями параметров. Реки Лекма (левый приток р. Чепцы) и Лумпун (правый приток р. Кильмези), имея одинаковые гидрологические характеристики, довольно сильно отличаются значениями основных параметров (табл. 5.1.4). Причина таких существенных различий — разный состав размываемых пород: р. Лумпун протекает по территории, сложенной песчаными отложениями, р. Лекма — суглинистыми.

Таблица 5.1.4.

**Основные гидрологические характеристики
и параметры свободных излучин
рек Лумпун и Лекма**

Гидрологические характеристики и параметры излучин	р. Лумпун	р. Лекма
Длина реки, км	158	127
Площадь водосбора, км ²	1550	1580
Среднегодовой расход, м ³ /сек	9,5	9,8
Ширина русла в нижнем течении, м	20-30	20-30
Шаг излучин, м	300-1100	100-600
Длина излучин, м	500-2300	250-1500
Радиус излучин, м	50-280	60-130
Стрела прогиба, м	30-330	25-250

Густой растительный покров на водосборе и в пойме реки приводит к снижению интенсивности боковой эрозии, к уменьшению поступления в русло руслообразующих наносов, что способствует уменьшению параметров излучин при неизменности показателей водоносности. В нижнем течении реки Увы (правый приток р. Валы) параметры излучин были определены на трех участках, практически одинаковых по водности, но различающихся по степени лесистости (табл. 5.1.5). Различия в значениях параметров наблюдаются довольно существенные: с уменьшением лесистости параметры излучин увеличиваются.

Не только основные параметры, но и некоторые из соотношений между ними используются для характеристики стадий развития излучин. В качестве таких безразмерных параметров выступают степень развитости l/L и коэффициент формы r/h .

Таблица 5.1.5.

Параметры свободных излучин нижнего течения р. Увы

Участок реки	Порядок водотока (по Шайдеггеру)	Лесистость, %	Значения параметров излучин, м			
			L	l	r	h
р. Кильцемка — р. Пурга	7,9	35,7	250-300	500-600	100-120	50-100
р. Пурга — р. Пужминка	8,1	12,2	300-400	500-800	100-150	50-100
р. Пужминка — устье	8,2	2,5	300-450	600-950	150-200	50-200

Зависимость между этими соотношениями имеет обратную степенную связь (Чалов, Завадский, 2004). Для рек Удмуртии рассчитанное значение коэффициента корреляции ($R=-0,343$) показывает отсутствие связи между данными показателями, но на построенном графике (рис. 5.1.6) зависимость визуально прослеживается, и хорошо вырисовывается верхняя огибающая.

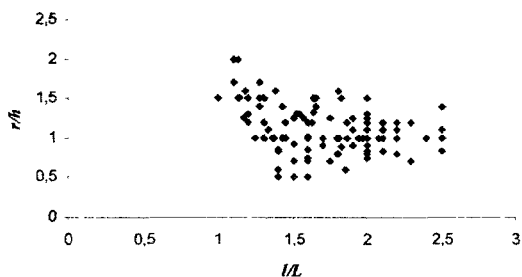


Рис. 5.1.6. Зависимость коэффициента формы r/h от степени развитости l/L свободных излучин

Таким образом, основные морфологические и морфометрические параметры русел рек изменяются по длине реки от истока к устью, зависят от местных условий (состава пород, характера растительности и т.д.).

Длина, ширина и глубина рек, тесно связанные с водностью, увеличиваются вниз по течению реки. Величины основных параметров излучин — длины, шага, радиуса кривизны и стрелы прогиба — изменяются в значительных пределах, возрастая с увеличением порядка водотока.

При неизменности показателей водоносности параметры излучин уменьшаются у рек, протекающих по залесенной местности, и увеличиваются у рек, протекающих среди легкоразмываемых отложений.

Морфологические параметры излучин связаны между собой определенными соотношениями. Наиболее тесная связь наблюдается между радиусом кривизны и шагом излучин.

5.2. Гидролого-морфологические зависимости

Одним из традиционных методов исследования меандрирующих рек является построение эмпирических зависимостей между параметрами излучин и количественными показателями, характеризующими водность реки.

Результаты исследований гидролого-морфологических зависимостей отдельно на малых, средних и больших реках показали, что параметры излучин связаны с расходами воды линейной зависимостью (Ромашин, 1968; Джуха, 1990; Павлов, 1994; Завадский, Чалов, 1996, 1997, 2000). В то же время опыт региональных исследований показывает, что в разных регионах характерные размеры излучин одинаковых по водности рек могут различаться, иногда весьма значительно (Чалов, Завадский, Панин, 2004), да и изменения параметров вниз по течению реки могут происходить по-разному.

Площадь водосборного бассейна (F), используемая в качестве показателя водности, по сравнению со среднемаксимальным расходом воды, с которым она связана через модуль стока, в большей мере отражает региональные особенности условий руслоформирования. Поэтому зависимости типа $r(L) = f(F)$ дифференцируются по рекам, причем для каждой конкретной реки эта связь очень четкая и характеризуется высоким коэффициентом корреляции (0,9). На рис. 5.2.1 приведен пример изменения параметров r и L в зависимости от площади водосбора для реки Иж и ее притоков Кырыкмас и Позимь. Ясно видно, что с увеличением площади водосбора значения радиуса и шага излучин растут. Уравнения зависимостей $r(L) = f(F)$ имеют линейный характер (табл. 5.2.1), отличаясь лишь параметрами. Для других рек Удмуртии связь между r , L и площадью водосбора имеет подобный же характер.

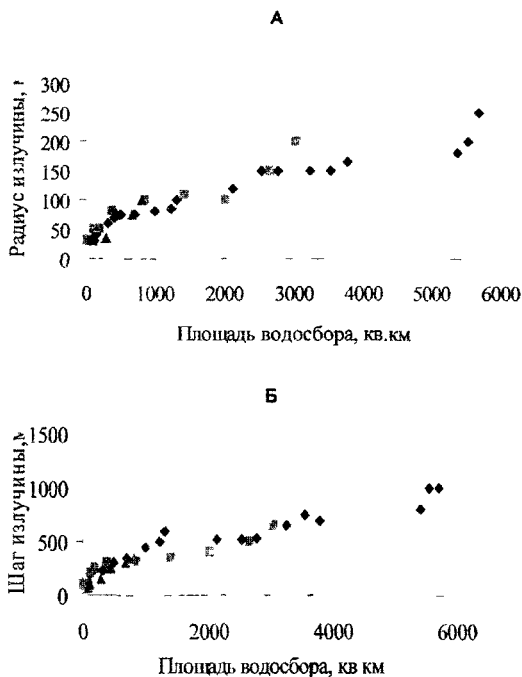


Рис. 5.2.1. Изменение радиуса (А) и шага (Б) излучин в зависимости от площади водосбора на реках бассейна р. Иж (◆ -Иж, ■ -Кырыкмас, ▲ -Позимь)

Таблица 5.2.1.

Уравнения связи и значения коэффициента корреляции (R) между шагом (L), радиусом излучин (r) и площадью водосбора (F) на реках бассейна р. Иж

Реки	L	r
Иж	$L=260,5956+0,123F$ R=0,96	$r=51,036+0,0298F$ R=0,96
Кырыкмас	$L=164,9412+0,1416F$ R=0,94	$r=40,9739+0,0454F$ R=0,94
Позимь	$L=51,542+0,3743F$ R=0,99	$r=21,34052+0,0912F$ R=0,94

Характер зависимости по мере нарастания площади водосбора изменяется, что особенно ярко прослеживается при переходе от средних рек к большим — в интервале площадей от 10000

до 20000 км², что соответствует среднегодовым расходам воды от 50 до 150 м³/с (Чалов, Завадский, 2004). На малых реках с небольшими значениями площадей бассейнов и расходов воды такую закономерность проследить сложнее. Но на территории Удмуртии некоторые отличия наблюдаются между реками II и III-ей групп, т.е. между малыми и средними. Пограничное значение площади водосбора между ними — 1500-2000 км² (рис. 5.2.2). Для малых рек значение коэффициента корреляции составляет 0,98, а зависимость описывается уравнением:

$$L=180,54+0,28F;$$

для средних рек $R=0,95$, уравнение имеет вид:

$$L=215,74+0,13F.$$

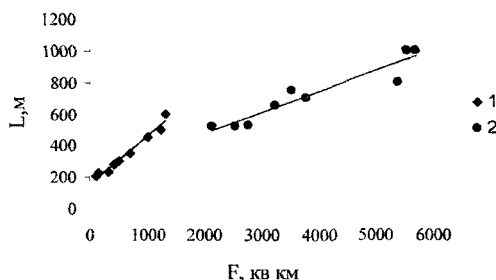


Рис. 5.2.2. Зависимость характерных значений шага свободных излучин (L) р. Иж от площади водосбора (F): 1- для рек I, II группы; 2- для рек III группы.

С площадью водосбора, а, следовательно, и с расходами воды связан такой параметр как длина реки (S), точнее расстояние от истока. Связь радиуса и шага излучин с длиной реки также имеет тесную линейную зависимость — $r(L)=f(S)$. Это видно из графиков на рисунке 5.2.3, построенных для рек бассейна Чепцы и таблицы 5.2.2.

Подобная же картина наблюдается практически на всех реках республики (прилож. 3). Коэффициент корреляции при этом составляет 0,75-0,9. На реках III-ей группы в нижних участках русел параметры r и L часто перестают увеличиваться в размерах вниз по течению. Объяснить это можно тем, что в низовьях реки, несмотря на продолжающееся увеличение длины, площадь водосборного бассейна и водность часто увеличиваются незначительно, а уклоны уменьшаются.

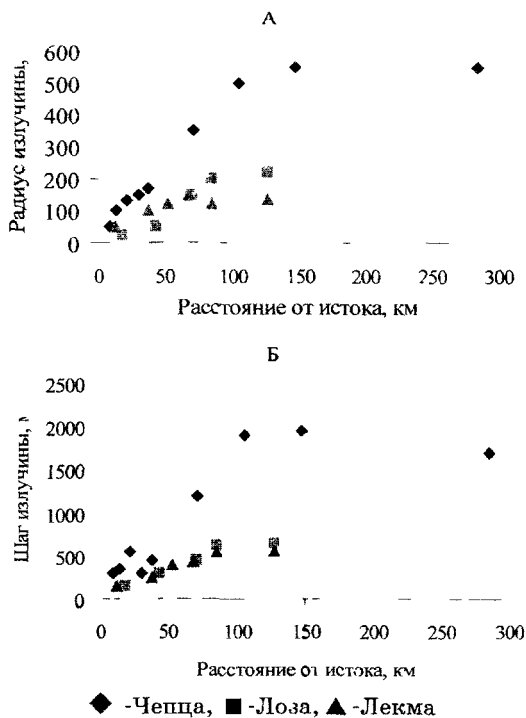


Рис. 5.2.3. Изменение значений радиуса (А) и шага (Б) излучин по длине реки (на примере рек бассейна р. Чепцы)

Таблица 5.2.2.

Уравнения связи и значения коэффициента корреляции (R) между шагом (L), радиусом излучин (r) и длиной реки (S) на реках бассейна р. Чепцы

Реки	L	r
Чепца	$L=461,884+6,298S$ R=0,78	$r=125,702+1,967S$ R=0,86
Лоза	$L=95,732+4,895S$ R=0,95	$r=10,422+2,018S$ R=0,95
Лекма	$L=145,399+3,826S$ R=0,93	$r=70,353+0,659S$ R=0,75

Значения длины излучины и стрелы прогиба изменяются несколько иначе, четкая линейная связь наблюдается далеко не на всех реках (рис.5.2.4): значения параметров могут умень-

шаться на отдельных участках рек, после чего вновь происходит их увеличение. Причина таких колебаний чаще всего заключается в смене преобладающей вниз по течению формы излучин (Чалов, Завадский, Панин 2004), морфодинамического типа русла или, что наблюдается нечасто, в снижении водности (забор воды из реки, усиленное испарение и др.).

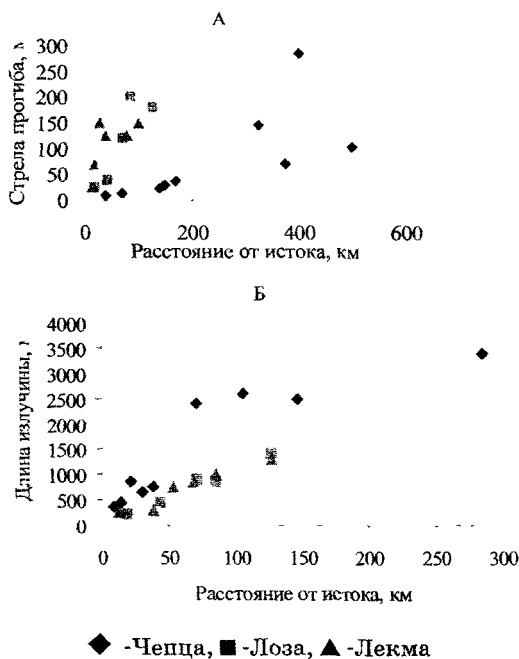


Рис. 5.2.4. Изменение значений стрелы прогиба (А) и длины (Б) излучин по длине реки (на примере рек бассейна р. Чепцы)

Существует тесная связь основных параметров свободных излучин с порядковой структурой речной сети. Значения r , h , l и L возрастают с увеличением порядка реки N , что соответствует их связи с показателями водности рек, возрастающими в этом же направлении (рис. 5.2.5).

Характер зависимости для малых, средних и больших рек несколько различен, и уравнения связи отличаются. По О.М. Пахомовой (2001) для рек, имеющих порядок ниже 14, зависимость имеет степенной характер, выше 14- линейный.

Большинство рек Удмуртии имеет порядок ниже 14. Но и в этой группе малых и средних рек довольно ярко видно различие в харак-

тере связи основных параметров свободных излучин с порядковой структурой речной сети. На графиках изменения параметров излучин на участках рек с разным порядком (рис.5.2.5) четко различаются правая и левая части. Точка перегиба приходится на 9 порядок, который является пограничным между реками II и III групп, т.е. между малыми и средними. Уравнения связи и для малых и для средних рек имеют линейный характер, но несколько отличаются величинами входящих в них коэффициентов (табл. 5.2.3). Если рассматривать всю совокупность точек, то зависимость получается степенная.

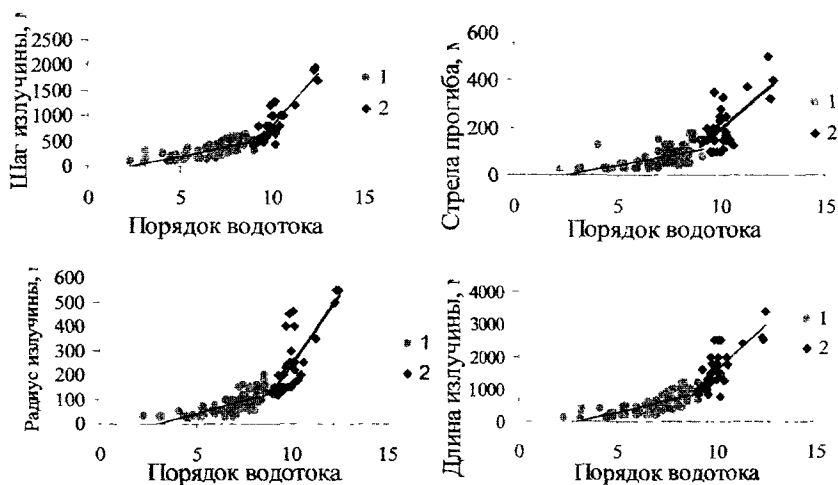


Рис. 5.2.5. Изменение параметров свободных излучин на реках различных порядков: 1- порядок до 9-го; 2- порядок выше 9-го

Таблица 5.2.3.

Уравнение связи между параметрами излучин и порядком рек
(R-коэффициент корреляции)

Порядок реки	Размер реки	Параметры излучин			
		L	r	l	h
N < 9	малые	L=69,8N-151,67 R=0,72	r=21,1N-63,34 R=0,73	l=154,8N-516,46 R=0,75	h=17,1N-45,54 R=0,63
N > 9	средние	L=410,4N-3299,7 R=0,89	r=112,9N-887,4 R=0,76	l=553,9N-3964,4 R=0,75	h=76,3N-566,92 R=0,67

О. М. Пахомовой (2001) зависимости $r(h, l, L) = f(N)$ были получены для рек степных ландшафтов бассейна р. Белой. Бассейны рек Удмуртии характеризуются повышенной лесистостью, но существенных различий в характере связей нет, зависимости получаются близкие.

Различия в характере связи параметров излучин обусловлены спецификой развития поперечной циркуляции на изгибе русла, изменяющейся по мере роста порядка реки и уменьшения относительной глубины русла (отношения глубины к ширине) (Завадский, 2001).

Таким образом, проведенный для рек Удмуртии гидролого-морфологический анализ позволил определить характер связей между основными параметрами излучин и показателями, отражающими гидрологический режим рек. С увеличением вниз по течению водоносности рек происходит увеличение параметров излучин. Однако эта закономерность четко прослеживается только для радиуса кривизны и шага излучин. Изменение средних значений стрелы прогиба и длины излучины при общей тенденции к увеличению зависит от трансформации преобладающей формы излучин, связанной со степенью их развитости.

Значения параметров тесно связаны с водоносностью рек (порядковой структурой водотока, площадью водосбора, длиной реки). Общий для всех рек характер зависимостей имеет степенной вид, но, если рассматривать отдельно малые реки, имеющие порядок до 9-го (I и II группы изучаемых рек), и средние с порядком выше 9-го, они трансформируются в линейные с различными параметрами уравнений регрессий для каждой группы рек.

6. ДИНАМИКА РУСЕЛ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК УДМУРТИИ И ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ЕЕ ОБУСЛОВЛИВАЮЩИЕ

6.1. Анализ горизонтальных русловых деформаций

Русло реки испытывает постоянные изменения под влиянием природных и антропогенных факторов.

Распределение скоростей потока по его длине, циркуляционные течения, связанные с ними особенности движения наносов и положения зон эрозии (размыва) и аккумуляции на излучинах русла обуславливают их направленное смещение, отступление размываемых берегов и рост отмелей у противоположных, аккумулятивных. При этом первый фактор — распределение скоростей потока — обуславливает продольное смещение излучин, второй — циркуляционные течения — поперечное (по отношению к оси пояса меандрирования).

Развитие излучин до определенных пределов сопровождается активизацией русловых деформаций и увеличением скоростей смещения. Наибольшие скорости смещения характерны для широкопойменных русел, с преобладанием свободных излучин.

Скорости и масштабы развития горизонтальных русловых деформаций можно характеризовать различными показателями. Один из них — отношение суммарной протяженности участков размывов правого и левого бережья ко всей длине оцениваемого отрезка русла, или доля размываемых берегов (Дрб) (%). Данный показатель изменяется в широких пределах — от нулевых значений, когда смещение русла отсутс-

твует или весьма незначительно, до самых высоких-80-100% (Назаров, Егоркина, 2004). На реках Удмуртии наблюдается аналогичная картина: доля размываемых берегов изменяется от 3-4% до 70% и более.

Наибольшие значения характерны для рек южной части — левобережья Вятки и правобережья Камы. Доля размываемых берегов здесь составляет в среднем 30-60% (табл. 6.1), на отдельных участках русел рек увеличиваясь до 90-100%.

Таблица 6.1.

Доля размываемых берегов в речных бассейнах Удмуртии (в % от суммарной длины рек)

Речной бассейн	Реки I группы	Реки II группы	Реки III группы	Среднее по бассейну	Лесистость %
Чепца	6,4	10,3	33,3	15,7	60
Вала	3,6	7,7	35,1	13,6	61,8
Кильмезь	0,1	8,	35,2	12,0	71,3
Сива	6,9	12,1	81	16,6	48,2
Иж	6,9	10,7	35,3	13,3	45,2
Левобережье Вятки и Тойма	9,2	28,9	14,5	19,7	45,5
Правобережье Камы	12,6	32,2	-	19,2	13,5
Левобережье Камы	2,4	10,9	42,8	10,4	75,6
Верховья Вятки и Камы	0	4,3	-	3,1	85,9

Для р. Сивы почти на всем ее протяжении на территории Удмуртии характерно наличие береговых размывов, доля которых превышает 70%. Большой показатель доли размываемых берегов характерен для рек бассейна р. Чепцы, в особенности ее левобережья. На рр. Лозе, Ите, Убыти, Лекме, Саде размывы характерны для 40% длины берегов.

Небольшие значения доли размываемых берегов — 3-12% — характерны для бассейнов Кильмези и Валы, верховьев Вятки и Камы.

Наблюдается связь значений доли размываемых берегов с порядковой структурой речной сети и лесистостью территории. С увеличением порядка реки доля размываемых берегов растет: для рек III-ей группы данный показатель составляет в среднем 30-40%, II-ой группы — 10-20%, I-ой — менее 10% (табл. 6.1). Реки, протекающие по лесистой местности, харак-

теризуются минимальными показателями доли размываемых берегов. Для лесистого бассейна р. Кильмези отношение суммарной протяженности участков береговых размывов ко всей длине оцениваемого отрезка русла в среднем составляет лишь 12 %, а для верховьев рек Вятки и Камы этот показатель еще меньше — 3-4 %. Связь этого показателя с лесистостью бассейна (Л) прослеживается очень четко: с уменьшением лесопокрытой площади доля размываемых берегов увеличивается (рис.6.1). Линейная связь описывается уравнением:

$$D_{pb} = 24,76 - 0,192 \times Л,$$

значение коэффициента корреляции высокое — $R = -0,826$.

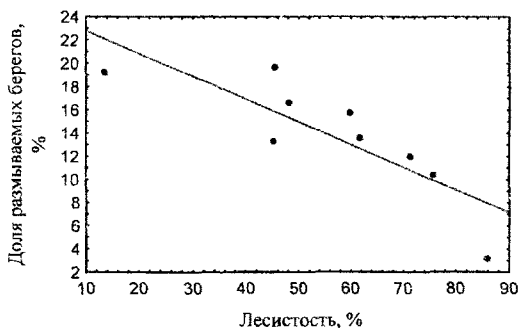


Рис. 6.1. Зависимость доли размываемых берегов от лесистости водосбора в основных речных бассейнах Удмуртии

Различия в величине доли размываемых берегов на реках республики хорошо видны на составленной карте, отображающей показатель доли размываемых берегов (рис. 6.2): резко выделяются средние и крупные реки — Вятка, Иж, Кырыкмас, Сива, Чепца — с повышенной долей размываемых берегов; очень малые (в том числе верховья крупных и средних рек) и малые реки с минимальными показателями.

Наблюдаются различия в данном показателе между северной и южной половиной республики. В речных бассейнах юга отмечаются высокие показатели доли размываемых берегов — 40 % и более как на крупных реках (Вятка, Иж, Сива, Вала), так и на малых (притоки Вятки, Камы). В северной половине республики данные величины ниже и для большинства рек, за исключением Чепцы, составляют менее 40 %.

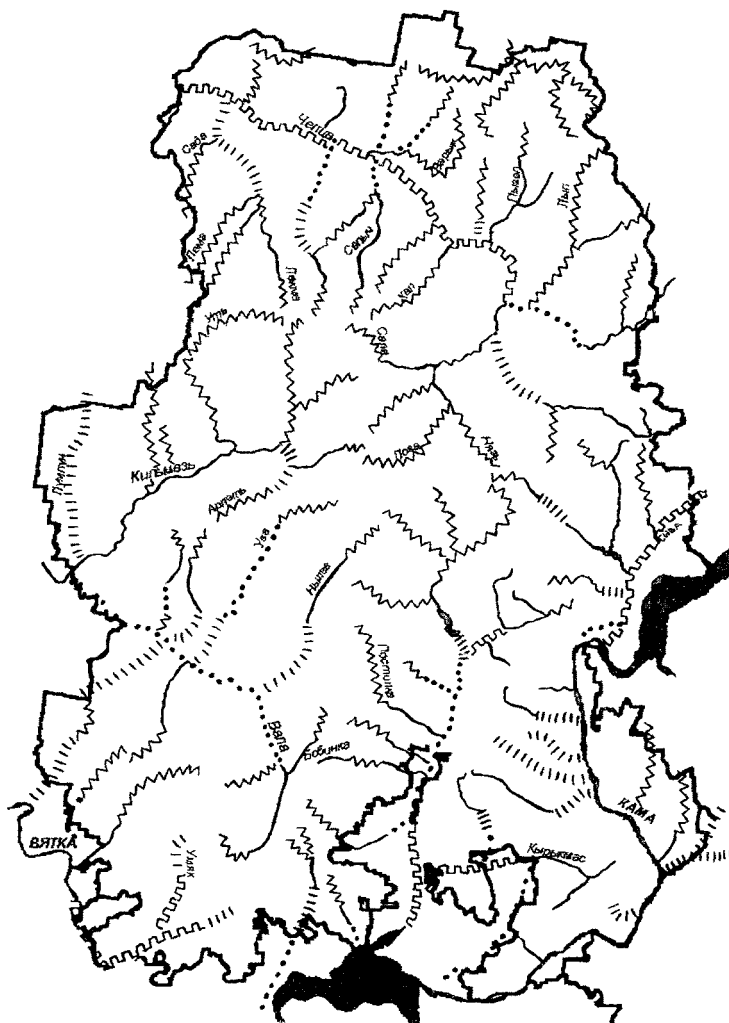


Рис. 6.2. Доля размываемых берегов на реках Удмуртии (%)
 \\\\\\\ <15%; ~ — 15-30; ||||| — 30-45;
 — 45-60; — — — — >60%.

Еще один показатель, характеризующий скорости и масштабы развития горизонтальных русловых деформаций — интенсивность или скорость плановых смещений русла. Величина отступления

вогнутых берегов в вершинах излучин очень часто принимается в качестве характеристики интенсивности горизонтальных русловых деформаций на конкретных участках рек (Попов, 1965; Маккавеев, Чалов, 1986). В качестве показателя интенсивности может использоваться его среднее многолетнее, среднегодовое, максимальное за год или ряд лет значение.

Анализ полученных за семь лет (2000-2006 гг.) полевых данных свидетельствует о большом диапазоне скоростей бокового размыва. При этом имеются существенные различия по рекам, отличающимся размерами (порядком, водоносностью и т.д.) (табл. 6.2).

Таблица 6.2.

Значения скоростей бокового размыва для рек разного порядка

Группы рек	Среднегодовая скорость размыва, м/год	Среднемаксимальная скорость размыва, м/год
I	менее 0,30	0,2-0,8
II	0,31-0,60	0,4-1,5
III	более 0,61	более 1,5

По данным стационарных наблюдений (табл. 6.3) наибольшие скорости размыва характерны для рек с порядком выше 9 (III группа). Максимальные значения размыва, наблюдаемые здесь, достигают 10-15 м/год и более, среднегодовые скорости размыва колеблются в интервале 1,2-3,0 м/год. Так на реке Вятке на ключевом участке Крымская Слудка (№ 55) (рис. 3.2.1) среднегодовые скорости размыва превышают 3 м/год, а максимальные из зафиксированных значений составляют 10-15 м/год. Интенсивно проявляется боковая эрозия на реке Чепце: на ключевых участках Каменное Заделье (№ 9), Дизьмино (№ 16) и Яр (№ 17) среднегодовые скорости размыва составляют 1,1-1,8 м/год.

Для малых рек II группы (6-9 порядок) средние скорости отступления берега составляют 0,4-0,7 м/год, а максимальные 2-3 м. В этой группе следует выделить такие реки, как Кильмезь, Вала, Ува, Нылга, Иж, Кырыкмас.

Для самых малых рек (I группа, порядок ниже 6-го) значения средних скоростей размыва ниже — 0,1-0,3 м/год, хотя в отдельных точках зафиксировано смещение берега на 1 м и более. Так на ключевом участке № 37 на реке Агрызка (бассейн р. Иж) максимальный размыв в 2003 году составил 8,1 м, а на р. Бобинка (участок № 38) — 2,6 м.

Таблица 6.3.

**Средние и максимальные величины годовых размывов
на реках Удмуртии за период 2000-2005 гг.**

№	Река	Ключевой участок	N	Средние и максимальные величины годовых размывов, м/год																	
				2000		2001		2002		2003		2004		2005							
				Ср	Мак	Ср	Мак	Ср	Мак	Ср	Мак	Ср	Мак	Ср	Мак						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16						
1	Лоза	ст Кушья	7,8	-	0,15	0,35	0,26	0,50	0,12	0,3	0,18	0,30	0,2	1,0							
2	Лоза	д Сундур	8,2	0	0,23	0,88	0,1	0,35	0,63	2,55	0,22	0,70	0,23	0,95							
3	Лоза	ст Лоза	8,8	0,14	0,38	0,05	0,14	0,38	1,55	0,36	1,05	0,1	0,2	0,10	0,22						
4	Ита	п Зура	8,8	-	0,27	0,63	0,41	1,60	0,23	0,8	0,17	0,35	0,24	0,60							
5	Челца	с Дебесы	8,7	0,48	0,85	0,44	1,95	0,28	0,80	0,52	1,9	0,15	0,35	0,21	0,50						
6	Челца	д Варни	8,7	-	-	-	-	0,81	2,0	0,31	1,4	0,11	0,70	0,42	1,5						
7	Лып	д Сосн Бор	8,5	0,43	0,80	0,19	0,37	0,24	0,50	0,24	0,9	0,19	0,6	0,11	0,15						
8	Пызеп	д Бани	8,6	-	0,86	2,45	0,32	0,87	0,68	1,52	0,18	0,8	1,25	3,28							
9	Челца	д Кам Заделье	11,4	-	1,80	3,67	-	-	-	1,2	1,8	0	0	1,06	1,43						
10	Челца	д Кожило	11,6	-	1,33	1,90	1,25	2,15	0,31	1,05	0,21	0,3	0,48	1,61							
11	Варыж	д Кельды-ково	7,4	-	0,42	0,82	0,32	0,68	0,29	0,95	0,1	0,15	0,21	0,40							
12	Челца	д Адам	11,8	-	0,72	2,0	0,84	2,8	0,43	1,6	0,28	1,25	1,83	5,0							
13	Сепыч	г Глазов	7,9	-	0,82	1,35	-	-	0,49	1,3	0,12	0,3	0	0							
14	Убыть	д Чура	8,1	-	0,34	0,40	0,13	0,15	0	0	0	0	0,10	0,30							
15	Убыть	д Палагай	7,3	-	0,23	0,35	0,21	0,35	0,16	0,5	0,1	0,15	0,27	0,80							
16	Челца	д Яр	12,3	-	0,43	1,60	0,44	1,35	1,44	2,7	0,26	0,4	1,81	7,10							
17	Челца	д Димзь-мино	12,3	-	1,27	2,65	1,65	2,36	1,05	2,55	0,25	0,7	1,30	4,70							
18	Челца	п Лынозавод	12,3	-	-	-	-	0,80	2,2	0,75	2,2	0,32	1,5	0,24	3,1						
19	Лекма	д Ниж Укан	8,6	-	0,16	0,40	0,07	0,20	0	0	0,14	0,25	0,17	0,30							

Таблицы 6.3. (продолжение)

Средние и максимальные величины годовых размывов
на реках Удмуртии за период 2000-2005 гг.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20	Сада	д Юр	4,6	-	-	0,17	0,45	0,10	0,30	0,05	0,1	0,06	0,1	0	0
21	Лема	д Шамардан	6,7	-	-	0,10	0,20	0,05	0,10	0,08	0,15	0,1	0,2	0	0
22	Лекма	д Починки	7,4	-	-	0,28	0,60	0,10	0,30	0,14	0,5	0,11	0,25	0,11	0,25
23	Кильмезь	д Гол Язок	8,7	-	-	2,24	5,25	1,43	3,95	0,56	2,6	0,20	0,7	0,43	1,32
24	Арлеть	д Чиб - Зюнья	6	-	-	0,29	0,45	0,23	0,80	0,13	0,3	0,11	0,25	0,20	0,51
25	Кильмезь	д Мал Сюмси	9,9	-	-	-	-	-	-	0,65	1,00	0	0	1,0	3,10
26	Лумпун	д Харл Пристань	6,8	-	-	-	-	-	-	0,16	0,55	0,10	1,20	0,10	0,30
27	Ува	п Ува	8,0	-	-	0,33	1,4	0,53	1,4	0,6	2,2	0,21	0,52	0,21	1,0
28	Ува	д Ува-Тукля	8,1	-	-	0,45	1,38	0,51	2,05	0,37	0,85	0,17	0,5	0,91	2,08
29	Нылга	с Нылга	8,3	-	-	0,57	1,95	0,63	1,80	0,45	1,15	0,14	0,35	0,4	0,65
30	Вала	д Макарово	9,3	0,52	1,45	0,98	2,60	0,52	1,94	0,38	0,8	0,21	0,75	0,10	0,15
31	Позимь	ст Позимь	8,6	-	-	0,10	0,10	0,10	0,35	0,27	0,60	0,14	0,50	0,10	0,20
32	Позимь	д Кабани-ха	8,5	0,44	0,68	0,05	0,29	0,12	0,35	0,28	0,70	0,10	0,20	0	0
33	Бьдвайка	с Завьялово	4,5	-	-	-	-	-	-	0,25	0,55	0	0	0,1	0,28
34	Иж	д Бол Веня	9,6	0,45	1,05	0,27	0,54	0,28	1,25	0,24	0,45	0,16	0,55	0,10	0,20
35	Лудзинка	с Юськи	5,1	0,33	0,70	0,46	0,85	0,27	0,40	0,13	0,20	0,10	0,20	0,20	0,30
36	Постолка	п Постоловский	7	-	-	-	-	0,45	2,0	0,18	0,35	0,13	0,45	0,35	1,20

Продолжение таблицы 6.3. (продолжение)
**Средние и максимальные величины годовых размывов
на реках Удмуртии за период 2000-2005 гг.**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
37	Агрызка	д. Баг. - Бигра	4,5	-	-	-	-	0,92	2,75	3,15	8,1	0	0	0,35	0,70
38	Бобинка	д. Абдес- Урдес	5,8	-	-	-	-	0,09	0,20	0,61	2,60	0,10	0,15	0,40	0,95
39	Кырыкмас	д. Тавязмал	8,4	-	-	0,63	1,0	0,18	0,80	0,72	3,20	0,10	0,15	0,32	1,26
40	Иж	д. Рус. Шаршад	10,6	0,22	0,24	0,12	0,20	0,14	0,23	0,46	1,70	0,10	0,10	0,10	0,15
41	Варзинка	д. Юмьяшур	5	-	-	0,15	0,30	0,11	0,35	0,20	0,50	0,27	1,20	0,27	0,74
42	Билибка	д. Шонер	4,8	0,10	0,24	0,34	0,34	0,10	0,20	0,16	0,21	0,33	0,5	0,05	0,23
43	Шаркан	д. Титово	5,6	0,51	2,34	0,44	1,49	0,56	2,35	0,15	0,55	0,15	0,45	0,10	0,30
44	Сива	с. Гавриловка	10,6	0,27	0,55	0,08	0,25	0,85	0,85	0,23	0,45	0,2	0,2	0,30	0,51
45	Сива	д. Метляки	10,8	-	-	0,45	0,95	0	0	0,35	0,45	0,2	0,32	0,3	0,42
46	Вот. вдх.	д. Галево	-	-	-	1,0	2,4	-	-	-	-	0,93	2,7	-	-
47	Удебка	д. Фертики	2,1	-	-	0,1	0,4	0,1	0,35	0,3	1,8	-	-	-	-
48	Гольянка	с. Гольяны	4,7	0,38	0,65	0,20	0,29	0,25	0,70	0,3	0,8	0,32	0,6	0,40	1,00
49	Кобылка	д. Клестово	4,2	0,35	1,0	0,22	0,45	0,22	0,30	0,13	0,20	0,11	0,20	0,25	0,80
50	Лизь	д. Новокрещ.	7,6	-	-	0,48	2,26	0,04	0,15	-	-	-	-	-	-
51	Алнашка	с. Алнаши	3	0,36	0,50	0,19	0,52	0,21	0,85	0,15	0,25	0,17	0,50	0,10	0,27
52	Адамка	с. Грахово	3,8	0,20	0,55	0,25	0,75	0,40	1,05	0,15	0,40	0,19	0,85	0,35	0,80
53	Умяк	д. Рус. Кунок	6,2	0,52	1,55	0,45	0,97	0,18	0,43	0,15	0,30	0,10	0,20	0,30	0,52
54	Умяк	д. Бажениха	6,9	-	-	0,15	0,30	0,13	0,30	0,13	0,40	0,12	0,20	0,15	0,40
55	Вятка	с. Кр. Слудка	15	3,25	13,4	3,97	10,7	4,53	14,2	3,0	8,90	1,23	3,05	5,90	15,0

Аналогичные результаты получены при сопоставлении разновременных аэрофотоснимков и фотопланов.

В бассейне р. Чепцы скорости плановых смещений русел варьируют в значительных пределах от реки к реке: наибольшие значения характерны для самой Чепцы, на притоках скорости несколько ниже (табл.6.4). Такая же картина наблюдается в бассейнах рек Кильмезь, Иж, (прилож. 6).

Таблица 6.4.

**Скорости плановых смещений русел рек бассейна
р. Чепцы за период 1934-1987 гг.**

Речной бассейн	Кол-во участков	Максимальное смещение, м	Минимальное смещение, м	Средняя величина смещения, м	Средняя скорость смещения, м/год
Чепца	47	105	9	55,3	1,02
Лоза	5	98	35	63,3	1,17
Ита	4	60	30	48,7	0,90
Лекма	14	100	10	22,8	0,42
Убыть	18	30	10	16,1	0,30
Сада	5	30	12	19,0	0,35
Сепыч	50	160	10	40,6	0,75

Результаты, полученные при обработке тахеометрической съемки, и данные наложения разновременных аэрофотоснимков позволяют наглядно увидеть пространственное изменение положения размываемых береговых откосов, рассчитать значения абсолютных и удельных площадей размыва берегов. Результаты анализа этих данных подтверждают выводы, полученные по ключевым участкам: наибольшие удельные площади характерны для рек более высокого порядка (табл.6.5, прилож. 4).

Таблица 6.5.

**Среднегодовые значения площадей размыва на реках бассейна
р. Чепцы за период 1934-1987 гг.**

Река	Среднегодовые значения площадей размыва, м ²	Среднегодовые значения удельных площадей, м ² /м
Чепца	20,0-140,0	0,3-1,50
Сада	10,0-120,0	0,07-0,20
Лекма	10,0-90,0	0,05-1,30
Убыть	5,0-125,0	0,04-0,70
Сепыч	2,5-32,5	0,04-0,50

6.2. Факторы развития горизонтальных русловых деформаций

Рассмотрим, от чего же зависит интенсивность развития горизонтальных русловых деформаций на реках Удмуртии?

Тесная связь скорости горизонтальных деформаций (C) и размера реки видна при подсчете коэффициента корреляции и построении графиков зависимостей между среднегодовыми ($C_{\text{ср}}$), максимальными скоростями размыва ($C_{\text{макс}}$) и порядком рек (N) (рис. 6.3, 6.4). Коэффициенты корреляционного отношения данных зависимостей составляют 0,614 и 0,677 соответственно. Зависимости описываются экспоненциальными формулами:

$$\begin{aligned} C_{\text{ср}} &= 0,019e^{0,35N}, \\ C_{\text{макс}} &= 0,022e^{0,42N}. \end{aligned}$$

Довольно четко на графиках видно и различие между реками малыми (с порядком до 9-го), средними (9-14 порядок) и большими (с порядком выше 14-го).

Реки разного размера отличаются между собой водностью, значениями расходов (среднегодовых, меженных, максимальных и т.д.). Связь скоростей размыва с данными показателями наблюдается достаточно тесная: с увеличением показателей водности (среднегодового расхода Q) на реках увеличиваются и значения среднегодовых ($r=0,869$) (рис.6.5) и максимальных скоростей размыва ($r=0,936$). Зависимость имеет линейный характер и описывается уравнением:

$$C_{\text{ср}} = 0,795 + 0,013Q.$$

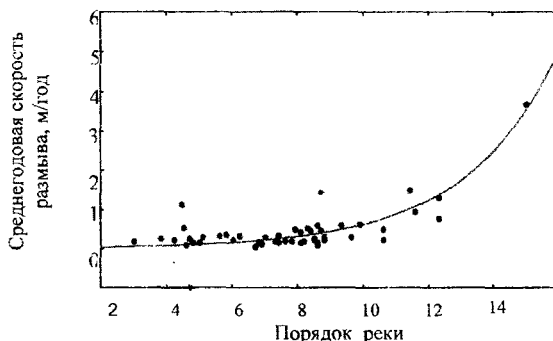


Рис. 6.3. Зависимость среднегодовой скорости размыва от порядка реки

Расход воды, как известно, является функцией площади водосбора (с увеличением площади растут значения среднегодовых и меженных расходов). Проведенный анализ зависимости скорости горизонтальных деформаций и площади водосбора выявили наличие тесной связи между этими показателями (рис.6.6): значение коэффициента корреляции равно 0,865. Уравнение связи имеет вид:

$$C_{cp} = 0,221 + 0,001S.$$

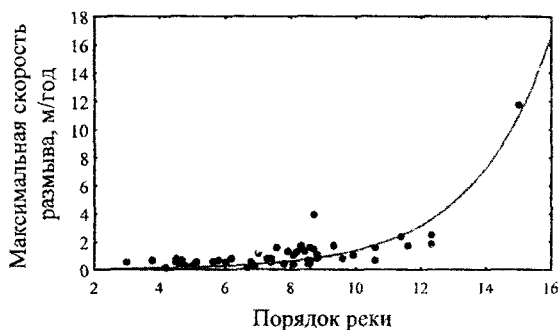


Рис. 6.4. Зависимость максимальной скорости размыва от порядка реки

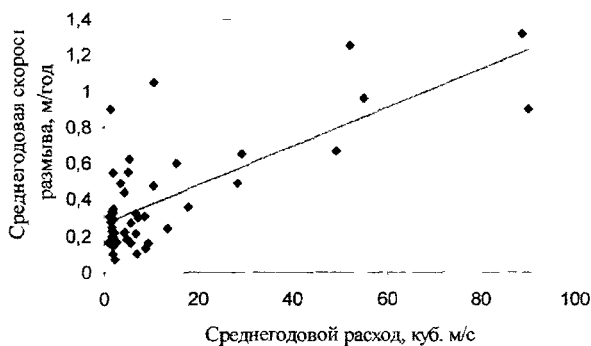


Рис. 6.5. Зависимость среднегодовой скорости размыва от среднегодового расхода

Различия в интенсивности русловых деформаций наблюдаются не только на реках разной величины и находящихся в разных природных условиях, но и в пределах одной реки. По длине реки (от истока к устью) в связи с увеличением водности, скорости размывов берегов на излучинах изменяются. На р. Чепце на пяти ключевых участках, расположенных на разном расстоянии от истока, интенсивность горизонтальных деформаций выпуклых берегов

излучин увеличивается вниз по течению (табл.6.6). Такая же закономерность выявляется и на других реках.

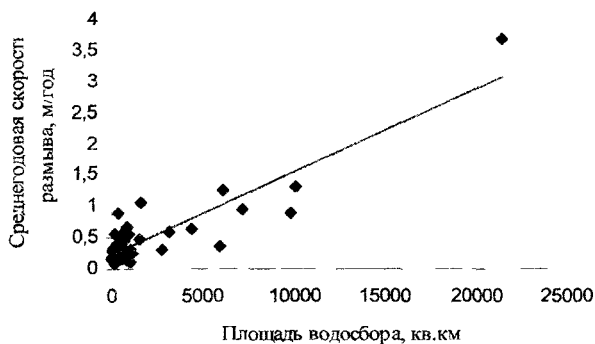


Рис. 6.6. Зависимость среднегодовой скорости размыва от площади водосбора

Таблица 6.6.

Величины среднегодовых скоростей размыва береговых уступов на ключевых участках р. Чепцы

Ключевой участок	Расстояние от истока, км	Среднегодовая скорость размыва, м/год
Дебесы	52	0,5
Каменное Заделье	142	1,0
Кожило	168	1,2
Дизьино	245	1,5

Величины скоростей бокового смещения русла варьируют в значительных пределах в зависимости от сезона года, т.к. меняется характер руслоформирующей деятельности. Анализ полевых данных по некоторым ключевым участкам, полученных в 2004 году, показал, что наиболее активно размывы берегов происходят в весеннее время (табл.6.7), потому что для рек Удмуртии основное руслоформирующее значение имеют расходы половодья.

В период летней межени сильных размывов берегов практически не отмечается: скорости смещения берегов либо нулевые, либо порядка 0,05-0,1 м за сезон (руслоформирующая деятельность потока направлена в основном на формирование руслового рельефа). Различий между реками разного порядка в данном случае не наблюдается.

Продолжительность половодья и межени, а также среднегодовой объем стока в разные годы неодинаковы. Если в течение ряда

лет высота половодья снижается, интенсивность деформаций русла обычно несколько затухает; наоборот, повышение уровня половодья сопровождается ростом интенсивности деформаций (Алексеевский, Кононова, Чалов, 2005).

Таблица 6.7.

**Интенсивность размыва берегов излучин
в разные сезоны 2004 года**

Ключевой участок Река	Средняя интенсивность размыва вогнутого берега излучины за период 2000-2005 гг., м	Средняя величина отступления вогнутого берега излучины, м	
		Май 2004	Октябрь 2004
№48 р Гольянка	0,25-0,30	0,1	0,1
		0,3	0
		0	0
		0,4	0
№32 р Позимь (д Кабаниха)	0,10-0,40	0,2	0
		0,1	0,1
		0	0
№31 р. Позимь (ст Позимь)	0,10-0,25	0	0
		0,5	0,15
		0,12	0,10
		0,1	0,1
№34 р Иж (д Малая Венья)	0,20-0,45	0,1	0,1
		0,2	0,05
		0	0
		0,2	0,12
		0,24	0,06
№35 р Лудзинка	0,15-0,40	0,74	0,23
		0,55	0,13
		0	0
		0,20	0,10
№37 р Агрызка	0,20-1,0	0,05	0
		0	0
		0,3	0,1
№36 р Постолка	0,15-0,40	0,5	0,1
		0,45	0
		0,26	0,04
		0,1	0,1
		0,05	0
		0,2	0,12
		0,32	0,1
0,2	0,15		
№38 р Бобинка	0,10-0,60	0	0
		0,2	0,12
		0	0
		0,15	0,05
		0,1	0

Анализ гидрологических данных по 9 гидропостам, расположенным на изучаемых реках, позволяет проследить связь скоростей размыва с величинами расходов и уровней. На реках Вала, Чепца (Полом), Нылга данная связь видна хорошо: увеличение расходов и уровней приводит к повышению среднегодовых скоростей размыва (табл.6.8, 6.9). На других гидропостах такая зависимость прослеживается менее отчетливо.

Таблица 6.8.

Значения расходов весеннего половодья и среднегодовых скоростей размыва на гидропостах УР за период 2000-2004 гг.

Гидропост. Река	Расходы весеннего половодья, м ³ /с					Средние скорости размыва, м/год				
	2000	2001	2002	2003	2004	2000	2001	2002	2003	2004
Сива	30,0	24,4	28,2	25,5	21,3	0,27	0,60	0,85	0,23	0,20
Вала	26,1	34,1	32,9	25,5	22,4	0,52	0,98	0,52	0,38	0,21
Чепца (Глазов)	69,6	82,9	89,8	58,4	56,0	-	1,27	1,65	1,05	0,25
Чепца (Полом)	42,8	52,0	48,1	40,3	33,7	0,48	0,44	0,44	0,52	0,15
Лоза	9,45	14,5	12,0	7,85	7,69	0,14	0,09	0,38	0,36	0,10
Лумпун	9,17	11,5	12,9	9,57	7,61	—	—	—	0,16	0,10
Позимь	5,8	5,27	6,46	5,07	4,82	0,44	0,05	0,12	0,28	0,10
Нылга	7,28	9,3	9,55	6,06	5,18	-	0,57	0,63	0,45	0,14
Адамка	1,1	0,83	0,74	0,72	0,68	0,20	0,25	0,40	0,15	0,19

Таблица 6.9.

Значения уровней весеннего половодья и среднегодовых скоростей размыва на гидропостах УР за период 2000-2004 гг.

Гидропост. Река	Уровни весеннего половодья, м ³ /с					Средние скорости размыва, м/год				
	2000	2001	2002	2003	2004	2000	2001	2002	2003	2004
Сива	198	185	202	191	174	0,27	0,60	0,85	0,23	0,20
Вала	103	106	97	64	57	0,52	0,98	0,52	0,38	0,21
Чепца (Глазов)	63	79	90	65	57	-	1,27	1,65	1,05	0,25
Чепца (Полом)	205	219	229	206	197	0,48	0,44	0,44	0,52	0,15
Лоза	118	135	138	123	118	0,14	0,09	0,38	0,36	0,10
Лумпун	568	575	586	567	553	—	—	—	0,16	0,10
Позимь	247	239	250	232	232	0,44	0,05	0,12	0,28	0,10
Нылга	124	137	146	115	110	-	0,57	0,63	0,45	0,14
Адамка	66	64	65	65	63	0,20	0,25	0,40	0,15	0,19

Таким образом, от гидрологических характеристик водотока (величины стока воды, характера руслоформирующих расходов) прежде всего зависит интенсивность русловых деформаций. Но помимо водности рек, на интенсивность русловых деформаций влияют многие другие факторы.

Среди геолого-геоморфологических факторов, влияющих на интенсивность русловых деформаций, прежде всего, следует отметить влияние уклона реки и размываемости пород.

Значительное влияние на скорости смещения берегов оказывает уклон реки: при больших уклонах эрозионно-транспортирующая способность потока возрастает, соответственно, усиливается интенсивность русловых деформаций. Но ввиду преобладания на изучаемой территории лишь равнинных рек, влияние уклона проявляется слабо. Тесная прямая связь скоростей горизонтальных деформаций с уклоном (I) наблюдается лишь на малых реках (1-я группа) (рис. 6.7). Связь эта описывается формулой

$$C_{cp} = 0,2I - 0,1.$$

Значение коэффициента корреляции составляет 0,589. На реках 2 и 3 групп связь отсутствует (коэффициент корреляции равен 0,149 и 0,337 соответственно). Это подтверждается и ранее опубликованными данными о влиянии уклона на водность рек (Егоров, Илларионов, Рысин и др., 1990).

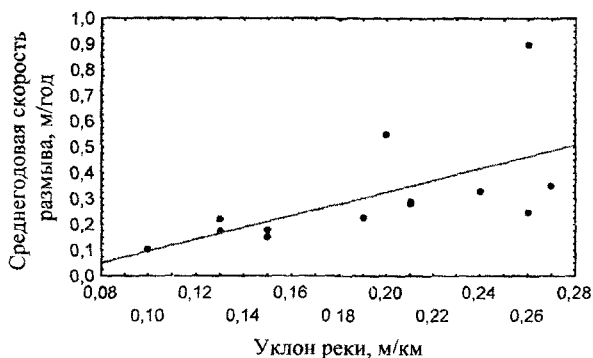


Рис. 6.7. Зависимость среднегодовой скорости размыва рек I группы от уклона

Скорости размыва зависят от геологического строения территории, характера пород, слагающих берега. Наиболее интенсивно

размываются берега, сложенные песчаными и супесчаными породами; минимальные показатели характерны для берегов, состоящих из глин, полускальных пород (Чалов, 2000). Это объясняется разной степенью устойчивости пород, разной величиной сопротивления размыву.

Для береговых отложений Удмуртии были определены значения сопротивления размыву (эрозионной прочности), и рассчитаны коэффициенты корреляции данных величин со скоростями размыва. Связь между показателями носит отрицательный характер: с увеличением эрозионной прочности темпы смещения берегов уменьшаются (табл. 6.10).

Таблица 6.10.

Значения корреляционного отношения (η) и коэффициента корреляции (R) между сопротивлением размыву и скоростью боковой эрозии

Группы рек	R	η
I	-0,766	0,62
II	-0,236	0,44
III	-0,605	0,69

Особенно ярко эта связь прослеживается в 1 и 3-ей группах рек (рис. 6.8, 6.9), описываясь экспоненциальными уравнениями

$$C=3,021e^{-0,421H}$$

$$C=2,66e^{-0,216H}$$

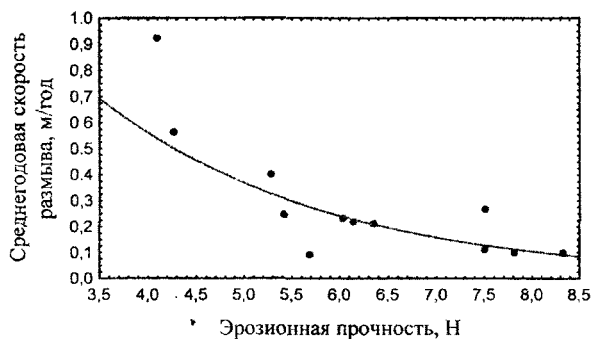


Рис. 6.8. Зависимость среднегодовой скорости размыва от эрозионной прочности на реках 1-ой группы

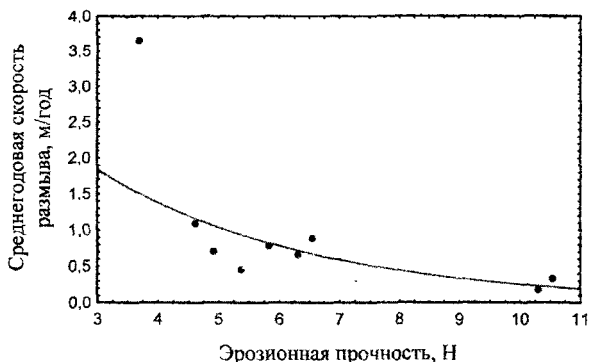


Рис. 6.9. Зависимость среднегодовой скорости размытия от эрозионной прочности на реках 3-ей группы

Скорости бокового смещения зависят также от характера размываемого берега и его высоты. Пойменные берега и откосы низких террас подмываются потоком половодья или дождевого паводка практически по всей площади береговых уступов. Интенсивность размыва при этом велика и зависит от характера пород, слагающих территорию. Более высокие берега (2, 3-я террасы, уступы коренных берегов) подвергаются воздействию потока только в нижней части, являются более стабильными. Это подтверждают результаты полевых исследований (табл. 6.11).

Таблица 6.11.

Скорости размыва берегов разного типа на реках Удмуртии
(по данным полевых исследований 1999-2006 гг.)

Ключевой участок	Тип берега	Высота уступа, м	Среднегодовая скорость отступления берега, м/год
р. Чепца с. Дебесы	Пойменный берег	2	0,35-0,45
	1 надпойменная терраса	3-5	0,45-0,50
р. Чепца д. Дизьмино	1 надпойменная терраса	8-10	1,0-1,50
р. Чепца п. Яр	Пойменный берег	2-4	0,80-1,20
р. Лоза д. Сундур	Пойменный берег	3	0,45
	Коренной берег	30	0
р. Вятка с. Крымская Слудка	1 надпойменная терраса	5	3,0-5,0
	3 надпойменная терраса	50	10-15

На ключевом участке №2 на реке Лозе ежегодно скорости размыва определяются для пойменного и коренного берегов. Для пойменного берега характерны размывы порядка 0,30-0,70 м/год (максимальные — до 2,5 м/год), коренной берег на протяжении шести лет остается стабильным.

Река Чепца на ключевом участке №5 (Дебесы) подмывает пойменный берег высотой около 2 м и участок первой террасы (высота 3-4 м). Больших различий в значениях скоростей размыва не наблюдается.

Подобная закономерность наблюдается и на реках Татарстана (Серебренникова, 2005).

Основной механизм разрушения пойменных берегов — размыв. Это характерно для большинства изучаемых рек (рис. 6.10). На более высоких откосах (наиболее характерно для террасовых комплексов) активизируются процессы отседания блоков, что увеличивает интенсивность деформаций берегов. Пример такого явления можно наблюдать на р. Кырыкмас (рис. 6.11).

На высоких берегах (3,4 террасы, коренные берега) подмыв потоком их основания активизирует оползни, осыпи и обвалы и отступление берега происходит за счет этих процессов. Интенсивный процесс развития оползней можно наблюдать на правом берегу реки Вятки на ключевом участке Крымская Слудка (№55) (рис. 6.12). В 2000 году здесь образовалось оползневое тело шириной более 15 м и длиной около 100 м. В 2005 году вновь образовавшийся оползень в ширину составил уже 25 м.

Существенное влияние на работу рек оказывает растительность. Если лесистость водосбора не оказывает большого влияния на скорость протекания русловых процессов (рассчитанные значения коэффициента корреляции показывают отсутствие связи: для рек I группы $R=0,116$, II-ой — $0,367$, III-ей — $0,103$), то характер пойменной растительности играет не последнюю роль.

Густой растительный покров с хорошо развитой корневой системой снижает скорость русловых деформаций (Рубцов, 1982). Каркас из корней деревьев настолько прочен, что иногда удерживает на подмываемых берегах огромные массы грунта в нависшем состоянии. Заросли ивняка, появляясь на прибрежных песках, влияют на режим перекатов и поймы: массивы песков становятся более стабильными, и на поверхности их появляются новые отложения (рис. 6.13).



Рис. 6.10. Размыв пойменного берега реки Убыть возле д. Палагай Юкаменского района (ключевой участок № 15)

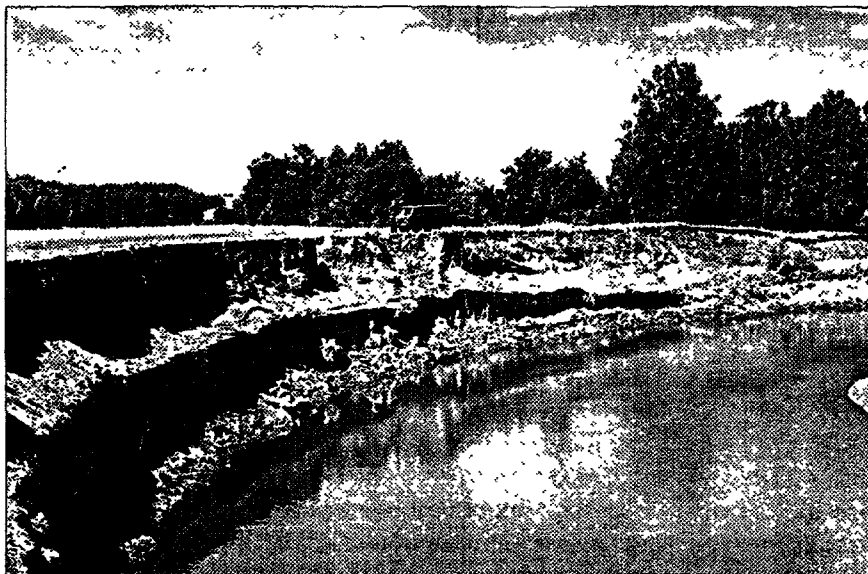


Рис. 6.11. Процессы отседания блоков на реке Кырыкмас (ключевой участок № 39)



Рис. 6.12. Оползень на левом берегу р. Вятки в районе с. Крымская Слудка (ключевой участок № 55)

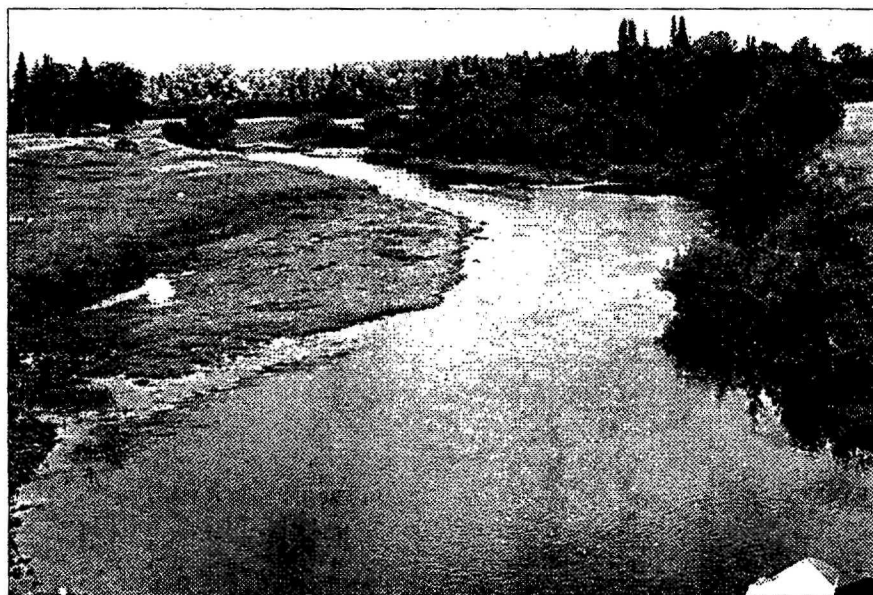


Рис.6.13. Растительность на низкой пойме реки Убыть

На реке Нылге (ключевой участок №29) скорости бокового смещения русла определялись в двух местах: на излучине с незалесенной поймой и на участке, берега которого покрыты густой древесной и кустарниковой растительностью (для участков реки характерны одинаковые показатели водности и состава размываемых отложений). В первом случае средняя скорость размыва составляет 0,43 м/год, во втором — 0,13 м/год. На ключевом участке №50 (р. Пизь) лесистость поймы составляет более 90 %, что препятствует интенсивной боковой эрозии: размыв наблюдался лишь в первый год наблюдений (средняя скорость 0,2 м/год), в дальнейшем берега были стабильны.

Интенсивность размыва берегов рек, полностью протекающих среди залесенной поймы, зависит от высоты берегов, глубины корневой системы, характеристик насаждений и других факторов. Чаще снижение скоростей отступления берегов происходит только на малых реках с низкой (до 1 м) поймой, когда основная масса корней деревьев проникает практически во всю толщу берегового уступа. На больших реках существенных различий в интенсивности размывов берегов с лесной и луговой растительностью практически не наблюдается (Рубцов, 1982). Напротив, некоторые породы деревьев своей корневой системой нарушают устойчивость береговых откосов, способствуя тем самым их размыву (рис. 6.14).



Рис. 6.14. Размываемый берег реки Пызеп у д. Бани (ключевой участок №8)

Интенсивность проявления горизонтальных русловых деформаций, скорости размыва берегов излучин зависят от их морфодинамического типа, от стадии развития излучин, от степени их развитости (но на всех стадиях темпы продольных и поперечных смещений находятся в прямой зависимости от водности реки). По данным полевых исследований наибольшие скорости поперечного смещения и размыва берегов характерны для петлеобразных излучин, преобладающих на средних реках — 1,2-3,0 м/год. Среди сегментных излучин наиболее интенсивно боковая эрозия проявляется на крутых излучинах (рис. 6.15). Значение коэффициента корреляции между показателем коэффициента развитости (l/L) и среднегодовой скоростью размыва (C_{cp}) составляет 0,75, а связь описывается уравнением: $C_{cp} = 0,326 (l/L) - 0,255$.

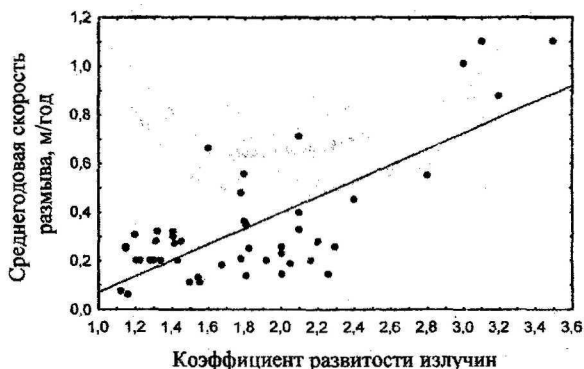


Рис. 6.15. Зависимость среднегодовой скорости размыва от коэффициента развитости излучин

В зависимости от стадии развития фронт размыва смещается по излучине. На рис. 6.16 показаны результаты тахеометрической съемки за период 2003-2005 на реке Билибка на ключевом участке № 42.

Скорость размыва вогнутого берега развитой сегментной излучины различается по длине излучины (табл. 6.12). Наиболее интенсивный размыв наблюдается в вершине излучины и в нижнем крыле. За период 2003-2004 гг. средняя скорость размыва берега в верхнем крыле составила 0,18 м/год, в вершине — 0,85 м/год, в нижнем крыле — 0,81 м/год. В 2005 г. скорость размыва излучины в целом

была меньше, фронт размыва сместился вниз по течению, в пределах верхнего крыла отступления берега совсем не наблюдалось; в вершине вогнутый берег размывался со скоростью 0,23 м/год, в нижнем крыле — 0,63 м/год.

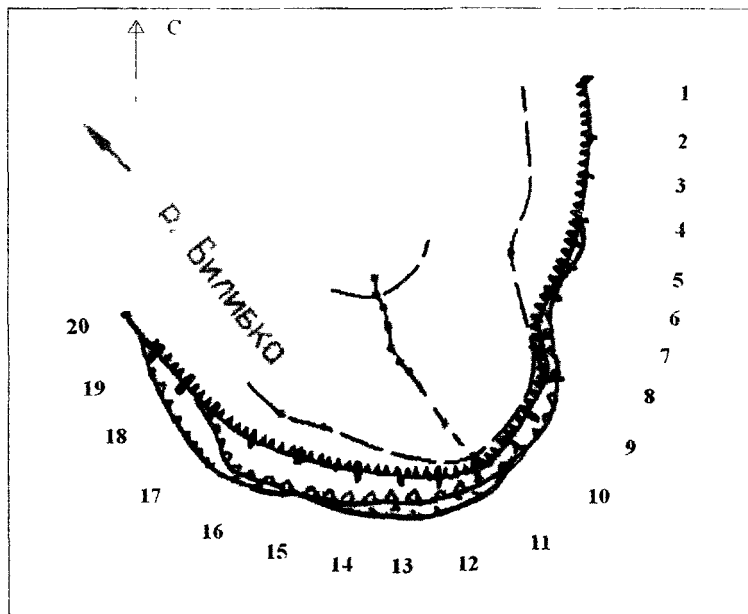


Рис. 6.16. Результаты тахеосъемки на р. Билибке (участок № 42) за период 2003-2005 гг. (положение берегового уступа в 2003 году |||| ; в 2004 г. $\Delta\Delta\Delta\Delta$; в 2005 г. $\square\square\square\square$, - - урез воды)

Влияет на скорость боковой эрозии и кривизна русла, радиус кривизны излучины. У сегментных излучин, чем меньше радиус кривизны русла на излучине, тем меньше скорость продольного и больше скорость поперечного смещения. То есть, круглые излучины смещаются в горизонтальном направлении более интенсивно, нежели пологие. Для сегментных излучин рек Удмуртии построенный график зависимости показывает наличие обратной связи между скоростью поперечного смещения и величиной радиуса (рис. 6.17).

У петлеобразных излучин такую связь проследить сложнее: значения радиуса большие и скорости размыва берегов также велики.

Таблица 6.12.

Скорости размыва вогнутого берега развитой сегментной
излучины на р. Билибка за 2003-2005 гг.

№ точки	Скорость размыва, м/год	
	2003-2004 гг.	2004-2005 г.
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0,5	0
6	0,2	0
7	0,7	0
8	0,3	0
9	1,0	0
10	0,85	0,1
11	1,0	0,5
12	1,1	0,63
13	1,3	0,5
14	1,5	0,2
15	1,7	0,4
16	1,5	0,75
17	0,5	1,65
18	0	1,0
19	0	0,5
20	0	0
Средняя для всей излучины	0,61	0,31

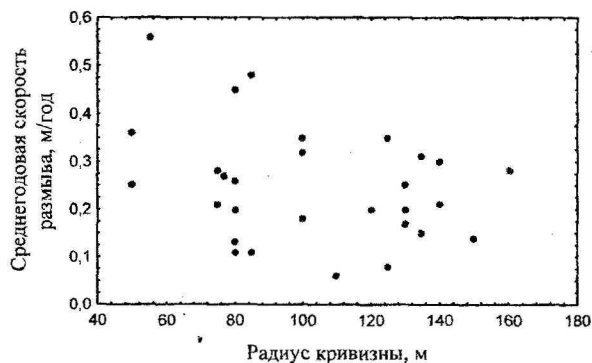


Рис. 6.17. Зависимость среднегодовой скорости поперечного смещения сегментных излучин от значений радиуса кривизны

Выделить преобладающую направленность поперечного смещения излучин очень сложно. В пределах широких пойм излучины рек смещаются одинаково часто и вправо и влево. По картографическим и полевым данным в бассейне р. Чепцы 48 % излучин характеризуются левосторонним смещением, 52 % — правосторонним.

В продольном направлении большинство всех излучин смещается вниз по течению реки (трансгрессивно). Продольное смещение наиболее ярко проявляется у пологих сегментных излучин. Скорости продольного смещения излучин также зависят от размера реки: чем выше водность водотока, тем интенсивнее происходит перемещение русла. Это ярко прослеживается на реках бассейна р. Чепцы при анализе данных, полученных путем сравнения разновременных аэрофотоснимков (табл. 6.13). Наибольшие скорости продольного смещения характерны для пологих излучин нижнего течения р. Чепцы, на участках в среднем и нижнем течении скорости снижаются. На притоках показатели продольного смещения уменьшаются.

Таблица 6.13.

Скорости продольного смещения излучин рек бассейна р. Чепцы

Участок реки	Форма излучины	Продольное смещение, м/год	
		среднее	максимальное
р. Чепца			
Верхнее течение (от д. Бол. Чепца до д. Усть-Медла)	Пологая	0,54	2,50
	Развитая	0,35	1,22
	Крутая	0,18	0,90
Среднее течение (от устья р. Пызеп до устья р. Кеп)	Пологая	0,85	2,68
	Развитая	0,55	1,62
	Крутая	0,20	0,75
Нижнее течение (от г. Глазова до п. Дизьино)	Пологая	1,05	3,20
	Развитая	0,58	1,50
	Крутая	0,28	0,87
р. Лекма			
Верхнее течение (от д. Артык до д. Жувам)	Пологая	0,45	1,50
	Развитая	0,29	0,93
	Крутая	0,12	0,72
Среднее течение (от с. Юкаменское до с. Ежево)	Пологая	0,38	1,84
	Развитая	0,31	1,00
	Крутая	0,20	0,75
р. Сада			
Среднее течение (от д. Юр до д. Черкадцы)	Пологая	0,43	1,05
	Развитая	0,34	0,82
	Крутая	0,15	0,66
Нижнее течение (от д. Тымпал до д. Тупалуд)	Пологая	0,55	1,20
	Развитая	0,35	1,00
	Крутая	0,24	0,57

В качестве показателя интенсивности развития излучин можно использовать величину скорости изменения основных параметров. Размыты берегов сосредотачиваются в основном в вершинах и на крыльях излучин, в результате чего происходит их смещение и искривление; наблюдается удлинение, изменение параметров (r , L), увеличение степени развитости l/L , а также трансформация самой формы излучины или ее спрямление.

При сопоставлении разновременных топографических карт был проведен анализ изменения параметров свободных излучин рек бассейна р. Чепцы. За 54 года (с 1933 по 1987 гг.) на многих участках рек произошли довольно существенные изменения основных параметров излучин — r , L , h , l (прилож. 5).

Анализ величин интенсивности трансформации параметров свободных излучин показал, что наиболее интенсивные изменения происходят на начальных стадиях развития излучин. У сегментных излучин очень часто можно наблюдать переход из одной стадии в другую. Для петлеобразных излучин характерным процессом является спрямление с образованием стариц.

На рис. 6.18 приведен пример переформирования нижнего участка русла р. Сепыч. За 54 года произошли заметные изменения конфигурации русла реки (табл. 6.14).

Излучина №13 спрямилась за счет встречного размыва берегов еще в 1933 г., а к 1987 году образовавшаяся старица отделилась. За период 1933-1987 гг. через шейку произошло спрямление излучины №7.

Для остальных излучин характерно сильное поперечное смещение и «усиление» петли с изменением параметров. Существенное изменение величины шага L наблюдается на излучинах №№ 8, 12.

Ярко видно увеличение стрелы прогиба h на излучинах №№ 3, 5 и наоборот уменьшение данного параметра у излучин №№ 6, 8. С этим связано и существенное изменение длины излучины l на этих участках.

Из всех параметров величина радиуса кривизны r изменилась меньше всего, хотя у излучин №№ 5, 8, 10 эти изменения наблюдаются.

В связи с изменениями основных параметров меняются и относительные (безразмерные) величины — степень развитости l/L и коэффициент формы r/h .

Таблица 6.14.

Изменение параметров излучин р. Сепыч за период 1933-1987 гг.

Годы	Параметры излучин					
	L, м	l, м	h, м	г, м	l/L	г/h
Излучина № 1						
1933	160	140	70	60	0,87	0,85
1987	160	140	70	40	0,87	0,57
Излучина № 2						
1933	140	300	180	50	2,1	0,28
1987	150	300	170	40	2,0	0,23
Излучина № 3						
1933	160	720	280	70	4,5	0,25
1987	140	1040	380	80	7,4	0,21
Излучина № 4						
1933	200	720	280	80	3,6	0,28
1987	170	1000	320	90	5,8	0,28
Излучина № 5						
1933	70	840	260	50	12,0	0,19
1987	70	920	350	80	13,1	0,23
Излучина № 6						
1933	200	1000	200	80	5,0	0,4
1987	170	540	170	60	3,2	0,35
Излучина № 7						
1933	80	440	180	40	5,5	0,22
1987	100	260	100	60	2,6	0,6
Излучина № 8						
1933	80	480	200	30	6,0	0,15
1987	130	410	110	60	3,1	0,54
Излучина № 9						
1933	190	840	260	50	4,4	0,19
1987	220	920	300	60	4,2	0,2
Излучина № 10						
1933	120	780	240	70	6,5	0,29
1987	100	800	320	100	8,0	0,31
Излучина № 11						
1933	130	520	200	50	4,0	0,25
1987	110	530	250	50	4,8	0,2
Излучина № 12						
1933	70	530	230	50	7,5	0,22
1987	160	480	260	60	3,0	0,23
Излучина № 13						
1933	270	420	140	100	1,56	0,71
1987	290	400	180	120	1,38	0,67

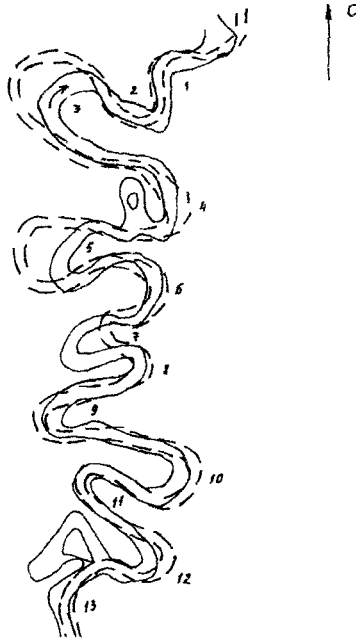


Рис. 6.18. Переформирование русла р. Сеныч в нижнем течении
 — — — — — положение русла в 1933 г.
 — — — — — положение русла в 1987 г.

Таким образом, на малых и средних реках Удмуртии процессы переформирования русла идут очень активно. Интенсивность бокового смещения зависит от целого ряда факторов, среди которых особо выделяются гидрологический и геолого-геоморфологический.

На основе полевых данных, результатов обработки тахеосъемки, результатов сравнения разновременных топокарт и аэрофотоснимков была составлена карта интенсивности русловых деформаций рек Удмуртии (рис. 6.19), на которой четко видны пространственные различия в значениях скоростей размыва на реках республики.

Ярко выделяются крупные и средние реки — Чепца, Кильмезь, Сива, нижнее течение Ижа и Валы — с высокими значениями среднемноголетних скоростей размыва (более 0,70 м/год). Среди малых рек повышенной интенсивностью русловых деформаций (0,50 и более м/год) отличаются реки Ува, Нылга, Варыж, Убыть, Сеныч, Бобинка, Агрызка.

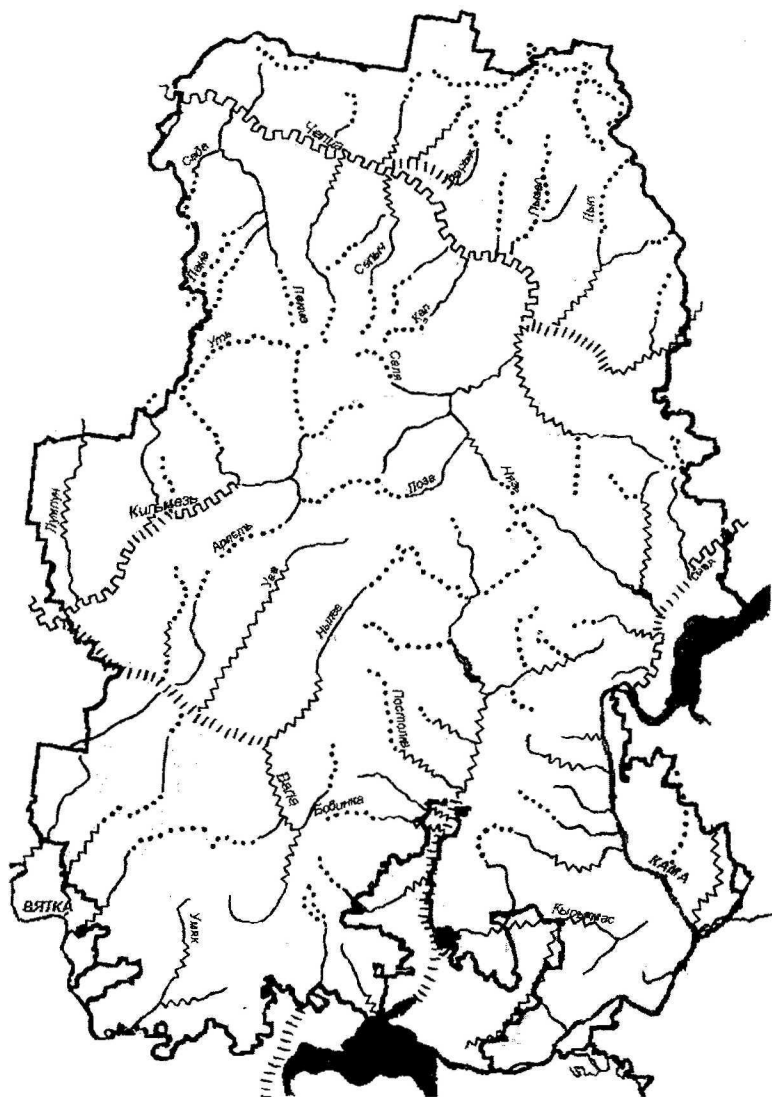


Рис. 6.19. Средняя многолетняя интенсивность русловых деформаций на малых и средних реках Удмуртии (м/год)

Условные обозначения:

..... — $< 0,10$; — — — — $0,11-0,30$; ~~~~~ — $0,31-0,50$;
 ||||| — $0,51-0,70$; ▧▧▧ — $> 0,71$.

Полученные результаты соотносятся с опубликованными данным и данными о скоростях размыва берегов рек, протекающих в сходных природных условиях на соседних территориях — Пермского края, республики Татарстан и др. (Назаров, Егоркина, 2004; Бутаков и др., 2001; Серебренникова, 2005).

Абсолютное значение скорости отступления берега (например, 5 м/год) для малых и больших рек имеет разное значение: для рек малых порядков это огромная величина, сопоставимая с их собственной шириной, для больших и особенно крупнейших — ничтожно малая. Поэтому существует относительная характеристика, позволяющая исключить влияние размера реки на оценку значимости величины скорости размыва ее берегов, — относительная скорость размыва (U). Этот показатель представляет собой отношение расстояния, на которое за год отступает берег реки (B_d , м), к средней ширине меженного русла (B , м) на данном участке, т.е. $U=B_d/B$. Умножая полученную величину на 100, можно выразить относительную скорость в процентах от ширины русла.

Относительная скорость также тесно связана с порядком реки: с увеличением размера реки относительная скорость размыва берегов уменьшается (табл. 6.15, рис. 6.20). Значение коэффициента корреляции составляет 0,45, коэффициент корреляционного отношения — 0,57, а формула зависимости имеет вид: $U=7,348e^{-0,154N}$.

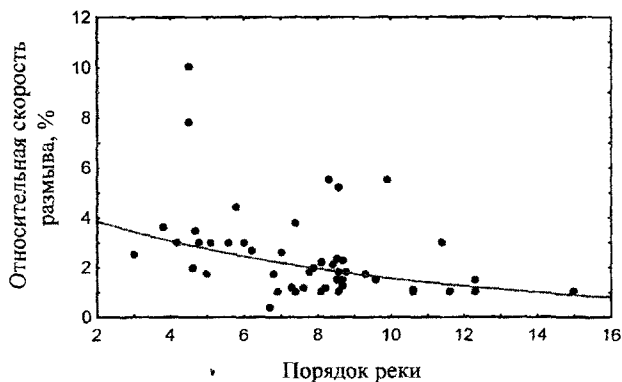


Рис. 6.20. Зависимость относительной скорости размыва от порядка реки

Таблица 6.15.

Порядок реки и относительная скорость размыва

Река и ключевой участок	Порядок реки	Относительная скорость размыва, %
1	2	3
Лоза ст Кушья	7,8	1,8
Лоза д Сундур	8,2	1,2
Лоза ст Лоза	8,8	1,8
Ита с Зура	8,8	1,8
Чепца с Дебесы	8,7	1,3
Чепца д Варни	8,7	1,5
Лып д Сосн Бор	8,5	1,5
Пызеп д Бани	8,6	5,2
Чепца д Кам Заделье	11,4	3,0
Чепца д Кожило	11,6	1,0
Варыж д Кельдыково	7,4	3,8
Сепыч г Глазов	7,9	2,0
Убыть д Чура	8,1	1,0
Убыть д Палагай	7,3	1,2
Чепца п Яр	12,3	1,0
Чепца д Дизьино	12,3	1,5
Лекма д Ниж Укан	8,6	1,0
Сада д Юр	4,6	2,0
Лема д Шамардан	6,7	0,4
Лекма д Починки	7,4	1,0
Кильмезь п Головизнин Язок	8,7	2,3
Арлеть д Чиб — Зюнья	6	3,0
Кильмезь д Мал Сюнси	9,9	5,5
Лумпун п X Пристань	6,8	1,7
Ува д Ува-Тукля	8,1	2,2
Нылга с Нылга	8,3	5,5
Вала д Макарово	9,3	1,7
Позимь ст Позимь	8,6	1,8
Позимь д Кабаниха	8,5	2,4
Бьдвайка с Завьялово	4,5	7,8
Иж д Бол Венья	9,6	1,5
Лудзинка с Юськи	5,1	3
Постолка п Постольский	7	2,6
Агрызка д Баграш-Бигра	4,5	10
Бобинка д Абдэс-Урдэс	5,8	4,4
Кырыкмас д Тавзямал	8,4	2,1

Таблица 6.15. (продолжение)

Порядок реки и относительная скорость размыва

1	2	3
Иж д. Рус. Шаршада	10,6	1,0
Варзинка д. Юмьашур	5	1,7
Билибка д. Шонер	4,8	3,0
Шаркан д. Титово	5,6	3,0
Сива с. Гавриловка	10,6	1,1
Гольянка с. Гольяны	4,7	3,5
Кобылка д. Клестово	4,2	3,0
Пизь д. Новокрещенское	7,6	1,2
Алнашка с. Алнаши	3	2,5
Адамка с. Грахово	3,8	3,6
Умяк д. Русский Куюк	6,2	2,7
Умяк д. Бажениха	6,9	1,0
Вятка с. Кр. Слудка	15	1,0

Для рек I группы величина относительной скорости размыва берегов составляет 3-10 %, для II-ой группы — 1,5-3,0 %, для III — ей — менее 1,5 %.

При одном и том же порядке реки относительная скорость размыва берегов будет больше, если они сложены легкоразмываемыми породами (песками, супесями). Так реки Лумпун (ключевой участок №26) и Умяк (ключевой участок №54), имея один порядок (6,9), различаются по величине относительной скорости размыва. Скорости размыва песчаных берегов р. Лумпун выше ($U=1,7$), чем р. Умяк ($U=1,0$), размывающего суглинистые породы. Подобный пример дают реки Кильмезь (ключевой участок №23) и Чепца (ключевой участок №6): при одной величине порядка — 8,7 - относительная скорость размыва первой реки, размывающей песчаные отложения, в два раза больше (U составляет 2,3 и 1,5 соответственно).

Большое количество полученных данных позволяет сделать достаточно полный территориальный анализ динамики русел рек Удмуртии. Но для проведения полного временного анализа интенсивности русловых деформаций имеющийся на данное время ряд наблюдений непродолжителен. Путем сравнения разновременных аэрофотоснимков выявить временные различия в развитии русел практически невозможно, т.к. полученные данные являются осредненными за довольно большой промежуток времени и дают лишь

общую картину развития данного процесса. Но полученный ряд полевых натурных исследований уже позволяет выявить общие для исследуемых рек республики особенности.

Летом 2000 года на реках были зафиксированы высокие скорости размыва берегов; средняя по республике скорость бокового размыва составила 0,54 м/год. В дальнейшем — до 2004 года — практически на всех ключевых участках наблюдалась тенденция снижения активности русловых деформаций (табл. 6.3). Особенно низкие скорости размыва были зафиксированы в 2004 году: даже на реках III группы (за исключением р. Вятки) среднегодовые скорости размыва не превышали 0,3 м/год; на многих малых реках берега оставались практически стабильными. Ситуация меняется в 2005 году: скорости бокового смещения русел резко возрастают. На р. Вятке наблюдаются рекордные за 5 лет деформации — размывы пойменных берегов достигают в отдельных точках 15 м; на окраине с. Крымская Слудка вдоль коренного берега образуется оползневое тело шириной более 25 м (рис. 6.12). На ключевых участках Яр и Дизьмино (р. Чепца) максимальные размывы составили 7,1 и 4,7 м/год соответственно. На реках I группы — Постолка (ключевой участок № 36), Гольянка (№ 48), Кобылка (№ 49), Адамка (№ 52) и др. — максимальные скорости размыва составили около 1 м (табл. 6.3).

Такой неравномерный характер развития боковых деформаций в большинстве случаев обусловлен влиянием гидрометеорологических условий, а точнее высотой и интенсивностью весеннего половодья.

Таким образом, оценка среднегодовых и максимальных скоростей смещения, удельных объемов и площадей размыва, доли размываемых берегов, интенсивности изменения параметров излучин выявила различия этих показателей на малых и средних реках Удмуртии. Рост значений этих величин наблюдается прежде всего с увеличением порядка водотока (величины стока воды). Кроме того, интенсивность проявления горизонтальных русловых деформаций зависит также от морфодинамических типов русла, тесно связанных с характером пойменных отложений, уклоном, характером растительного покрова.

7. АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Современное состояние и развитие рек помимо природных факторов определяется степенью искусственного вмешательства в русловые процессы деятельности человека.

Хозяйственное использование рек приводит к таким существенным изменениям русел и протекающих в них процессов, что можно говорить, по существу, о возникновении качественно новых русел или прекращении их существования. В условиях интенсивной хозяйственной деятельности на водосборах и в руслах многие реки превратились в природно-антропогенные системы, в функционировании которых на природно обусловленные процессы накладывается определенный эффект от хозяйственной деятельности. С этим связано ухудшение состояния рек и их русел с точки зрения ландшафтов, рекреации, охраны природы.

Воздействию хозяйственных мероприятий на сток, гидравлические, морфометрические и др. характеристики рек посвящена обширная научная литература (Басов, 1948; Кузин, 1965; Маккавеев, 1955; Львович, 1974; Лапшенков, 1979; Шикломанов, 1979; Смищенко, 1982; Векслер, Доненберг, 1983; Боровков, 1989; Шикломанов, 1989; Барышников, 1990; Беркович, 2001 и др.), выполнен детальный анализ влияния антропогенной деятельности на русловые и пойменные процессы, составлен ряд классификаций водохозяйственных мероприятий по степени их воздействия на русловые процессы.

Анализ карты антропогенной нагрузки на реках Северной Евразии (Беркович, 2001) показывает, что северная и западная часть Удмуртии характеризуется местными изменениями факторов русловых процессов и руслового рельефа; южные и восточные райо-

ны — региональными изменениями факторов русловых процессов, форм русел и продольного профиля. Юг и восток республики более освоен в хозяйственном отношении: большая часть территории представляет собой сельскохозяйственные угодья, распахана и подвержена интенсивной склоновой и овражной эрозии. На русла рек воздействуют увеличение стока наносов с водосборных бассейнов и изменение режима стока воды. Северная и западная части Удмуртии освоены слабее: распаханность здесь ниже, водно-мелиоративные мероприятия практически отсутствуют. В результате этого реки сохраняют русловый режим в естественном или малоизмененном состоянии. Изменения гидрологического и руслового режима могут наблюдаться лишь местами.

На территории Удмуртии преобладают малые реки, где степень антропогенного вмешательства ниже. Но малые реки, как известно, гораздо быстрее и интенсивнее реагируют на природные и антропогенные изменения в бассейне.

Важный аргумент для доказательства влияния антропогенной, в первую очередь сельскохозяйственной деятельности на русловые процессы, — заиление русел практически всех малых рек. Сведение лесов и интенсивная распашка водосборов приводит к поступлению в речные русла избыточного количества наносов, что является причиной усиленной аккумуляции и заиления.

На сегодняшний день средний показатель лесистости территории Удмуртии составляет 47,9 % (О состоянии..., 2004). Удмуртия в целом перешагнула критическую черту лесистости (50-60 %) во второй половине XIX века, а по отдельным районам это происходило еще на протяжении первой половины XIX-начале XX века (Перевощиков, 2003). Распределение лесного фонда характеризуется крайней неравномерностью — от практически полной залесенности некоторых речных бассейнов (верховья Ижа, Нылги, Вятки, правобережья Кильмези) до показателя лесистости, не превышающей 10 % (правобережье Камы). Поэтому условия режима речного стока и интенсивность русловых деформаций, особенно в период весеннего половодья, имеют весьма существенные различия, определяемые в первую очередь лесистостью водосбора. С другой стороны, высокий показатель распаханности — 31,4 % от общей площади или 76,5 % от площади сельскохозяйственных угодий (О состоянии..., 2004) — предполагает при повышении поверхностной составляющей стока активность бассейновой эрозии и увели-

чение мутности водотоков в антропогенно измененных бассейнах (Перевошиков, 2003). Наиболее освоены в сельскохозяйственном отношении южные районы республики, где доля пашни составляет около 70 %, а доля лесопокрытых площадей минимальна.

Масштабы заиления в Удмуртии в целом невелики. Удмуртия находится на северной границе ареала наибольшего истощения ресурсов малых рек и сопряженных с этим проблем (Стурман, 1997). В пространственном распределении заиления русел определяющую роль играет геолого-геоморфологический фактор. Наиболее заилены малые реки, расчленяющие сложенные суглинками пологие, протяженные склоны крупных долин (левобережья рр. Чепца, Ита, Вала, Кильмезь; правобережья рр. Иж, Умяк, Тойма). В этих районах сочетание малых уклонов и легко размываемых, водонепроницаемых суглинков с высокой распаханностью и малой залесенностью создало благоприятные условия эрозии водосборов и заиления русел ее продуктами, т.е. обусловленная геолого-геоморфологическими условиями ландшафтная дифференциация территории была дополнена неравномерным хозяйственным освоением.

Существенное влияние на руслообразование оказывает молевой сплав леса. Удары плывущих бревен о берега, приводящие к разрушению их откосов, заторы леса, образование «деревянной мостовой» на дне плесов и омутов, затрудняющее глубинную эрозию, — все это способствует значительному усилению боковой эрозии, которая проявляется столь сильно, что нередко через несколько лет берега оказываются совершенно разрушенными и лишенными растительности. В настоящее время реки Удмуртии не используются для сплава леса. Соответственно, этот фактор не оказывает какого-либо влияния на интенсивность горизонтальных деформаций, но в 40-60-е годы этот вид антропогенной нагрузки был очень распространен, общая протяженность сплавных рек достигала 2 тыс. км. Наиболее густая сеть сплавных рек была сосредоточена в средней полосе республики — это системы Кильмези, Лозы, Ижа и Вотки. Много леса сплавалось по Каме (Кузьминых, 1972).

С 18 века на реках начинается сооружение плотин, водяных мельниц, прудов. В настоящее время очень часто на малых реках для сохранения запасов воды в летние месяцы возводят земляные плотины, создают небольшие пруды. По официальным источникам, в республике насчитывается 600-800 прудов с общей площадью зер-

кала около 84 км². Расположены они преимущественно на реках 1-3 порядков (по системе Философова-Стралера), реже на реках более высоких порядков (табл. 7.1) (Первошиков, 2003).

Таблица 7.1.

**Частота встречаемости прудов на реках разного порядка
(по А. А. Первошикову, 2003)**

Бассейны рек	Порядок водотока				Всего
	1-й	2-й	3-й	4-й	
Чепца (без Лозы)	83	90	49	3	225
Лоза	6	30	27	7	70
Кильмезь	9	42	10	-	61
Вала	30	56	28	2	116
Иж	25	49	41	2	117
Сива	13	15	22	1	51
Притоки р. Камы	4	8	10	1	23
Притоки р. Вятки	3	5	12	-	20
Всего	173	295	199	16	683
%	25,3	43,3	29,1	2,3	100

Большая часть прудов возведена без какого-либо учета гидрологических особенностей водотоков и гидротехнических расчетов. Поэтому во время весенних половодий или летних паводков многие из плотин прорываются; при этом резко увеличиваются скорости течения реки, активизируются эрозионные процессы. Например, летом 1988 г. на р. Ушнетке и ее притоках в результате дождевого паводка только в окрестностях с. Старые Зятцы (Якшур-Бодьинский р-н) было снесено 4 пруда, расположенных примерно в 1 км друг от друга (Первошиков, 2003). В 2003 году очень сильный размыв берегового уступа был отмечен нами на реке Агрызка (левый приток Ижа) — максимальная скорость смещения берега здесь составила более 8 м, что было связано с прорывом плотины, перегораживающей реку выше по течению.

Строительство инженерных сооружений на берегах и в руслах рек, прокладка коммуникаций через реки также приводят к изменению руслового режима.

Одной из наиболее старых форм локального инженерного воздействия на русла являются мостовые переходы (рис. 7.1, 7.2).

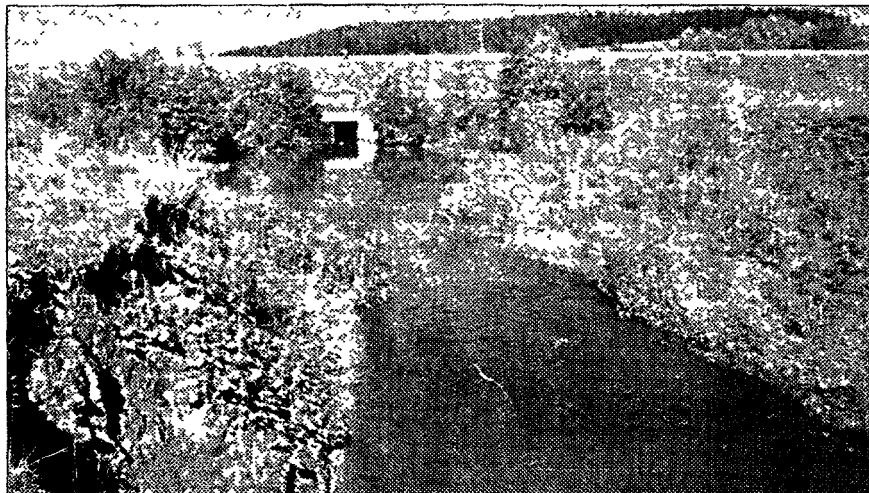


Рис. 7.1. Водопроемное отверстие дорожной насыпи на реке Гольянка (ключевой участок № 48)



Рис. 7.2. Мост через реку Валу (ключевой участок № 30)

Общее количество мостов на реках Удмуртии составляет около 3600; усредненный показатель их плотности равен 0,20 на 1 км² антропогенно измененных ландшафтов (Перевощиков, 2003). По мере увеличения водоносности реки количество мостов уменьшается (табл. 7.2).

Таблица 7.2.

**Количество мостов на реках разного порядка
(по А. А. Перовицикову, 2003)**

Бассейны рек	Порядок реки				Всего
	1-й	2-й	3-й	4-й и выше	
Убыть	47	20	4	10	81
Сепыч	28	33	13	17	91
Кеп, Юнда	48	19	11	8	86
Люк, Пызеп	34	32	23	11	100
Кильмезь (верх.)	34	8	6	2	50
Кырчма	18	7	5	-	30
Какмож, Инга	11	6	6	5	28
Кылт	9	8	7	5	29
Нылга	43	31	20	13	107
Вала (верх.)	55	54	18	12	139
Шаркан	22	18	4	9	53
Всего	349	236	117	92	749
%	44	30	15	11	100

Мостовой переход является причиной стеснения потока половодья или паводка, что приводит к образованию волны подпора выше моста (особенно велик подпор у водопропускных отверстий дорожных насыпей, перегораживающих малые реки) и волны спада — ниже моста. Это увеличивает удельный расход воды и способствует усилению общего размыва. Ниже мостов могут происходить резкие изменения морфологии русла и интенсификация горизонтальных деформаций. На примере некоторых ключевых участков ярко прослеживаются различия в интенсивности русловых деформаций выше и ниже мостовых переходов: скорости размыва берегов в районе подпора намного меньше (табл.7.3).

При осушительных мероприятиях реки служат водоприемниками, за счет чего происходит увеличение водности рек. В результате увеличения объема стока происходят быстрые размывы русла реки, наблюдается активное понижение отметок дна. Одновременно с этим происходит обрушение берегов, активное переформирование и развитие излучин. Пример такого рода антропогенной деятельности можно наблюдать на ключевом участке № 29 в районе с. Нылги (река Нылга), где в пойме реки создана сеть дренажных канав, через которые вода с поймы поступает в русло реки. Благодаря этому для реки

характерно активное развитие процесса меандрирования, преобразование развитых сегментных излучин, высокие (для малой реки) скорости боковой эрозии (средняя скорость размыва за 6 лет составила 0,44 м/год, максимальная скорость — 1,95 м/год).

Таблица 7.3.

Среднегодовые скорости размыва берегов выше и ниже мостовых строений

Ключевой участок	Среднегодовые скорости размыва выше моста, м/год	Среднегодовые скорости размыва ниже моста, м/год
р. Ига п. Зура	0,10-0,15	0,25-0,40
р. Лып д. Сосновый Бор	0,01-0,1	0,50-0,90
р. Гольянка с. Гольяны	0,1-0,2	0,30-0,50
р. Лудзинка д. Юськи	0,05-0,1	0,30-0,40

Испытывая влияние антропогенного фактора, реки в свою очередь могут негативно влиять на жизнедеятельность людей. Под влиянием интенсивной боковой эрозии могут разрушаться инженерные сооружения, коммуникации, страдать населенные пункты, утрачиваться ценные сельскохозяйственные и лесные угодья.

Очень часто на небольшом расстоянии от кромки размываемого берега располагаются столбы ЛЭП, опоры газо- и нефтепроводов. Дальнейшее развитие боковой эрозии может привести к обрушению этих сооружений, созданию опасной ситуации.

На реке Вятка на ключевом участке № 55 в окрестностях села Крымская Слудка (Кизнерский р-н), по словам местных жителей, несколько улиц села оказались снесенными в реку после очередного весеннего половодья (рис. 7.3).

Похожая ситуация наблюдается в д. Головизнин Язок на реке Кильмезь (рис. 7.4): после каждого половодья река все ближе подступает к жилым домам.

Таким образом, в формировании речных русел участвуют как природные, так и антропогенные факторы. Протекание русловых процессов на малых реках Удмуртии зависит от изменений хозяйственного использования водосборов (сведение лесов, распашка водосборов, урбанизация), перераспределения стока, вызывающих региональные нарушения. Местные изменения русловых процессов вызывают мостовые переходы, водопропускные отверстия дорожных насыпей, плотины прудов.



*Рис. 7.3. Остатки разрушенного дома на берегу р. Вятки
в с. Крымская Слудка*

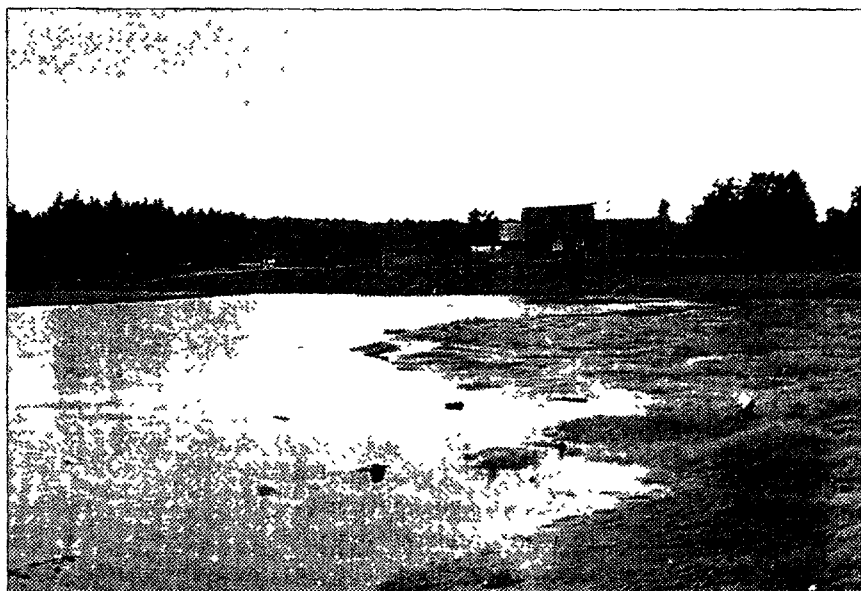


Рис. 7.4. Река Кильмезь у деревни Головизнин Язок

8. РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ УДМУРТИИ ПО ФАКТОРАМ И ФОРМАМ ПРОЯВЛЕНИЯ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Районирование территории Удмуртии по факторам и формам проявления русловых процессов выполнено на основе разработанной учеными МГУ методики проведения комплексного районирования территорий по особенностям распространения русел рек (Чернов, 1983; Русловые процессы на реках Алтайского края, 1991; Русловые процессы на реках СССР, 1991; Чалов, Чернов, 1996; Морфология и динамика..., 1999; Бутаков Г. П., Назаров Н. Н., Чалов Р. С., Чернов А. В., 2000; Чернов, 2006 и др.).

Данный вид районирования представляет собой многоуровневое сочетание типологического и индивидуального районирования, построенное при помощи наложения сеток частных районирований различных факторов, условий формирования, характеристик русел, качественного анализа распределения русел различных типов. Проводится оно «сверху вниз», т.е. вначале выделяются наиболее крупные по площади таксоны, а затем в их пределах последовательно обособляются все более дробные единицы, причем это обособление осуществляется на каждом новом уровне по своим критериям (Чернов, 2006).

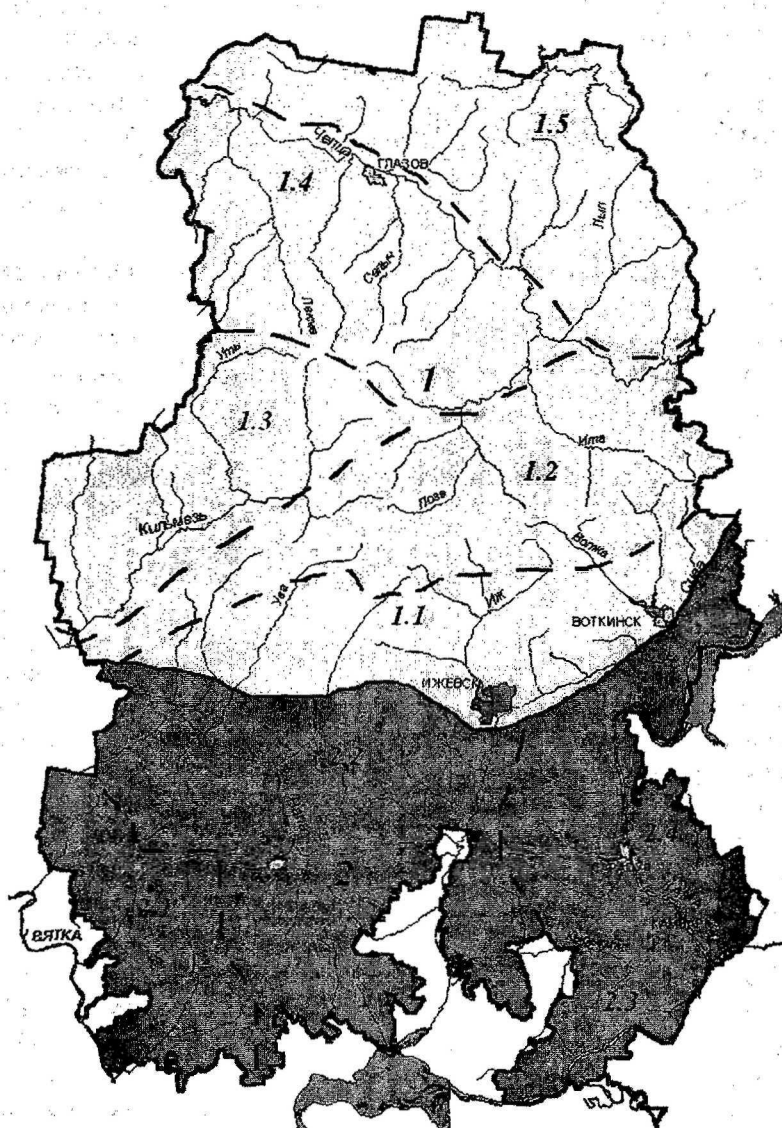
В рамках комплексного районирования бассейна р. Камы по факторам и формам проявления русловых процессов на средних и крупных реках, проведенное Р. С. Чаловым и А. В. Черновым (1996), территория Удмуртии относится к Камско-Вятскому району, для которого характерно преобладание сегментных излучин (46 %) и относительно

прямолинейных участков русел (26%). Относительно высока встречаемость синусоидальных и прорванных излучин. Уклоны на реках 0,2-0,35‰, наносы в основном песчаные; поймы широкие, двухсторонние, сложены песками и супесями, что способствует достаточно высоким скоростям русловых деформаций — 2-5 м/год, а на крупных реках — до 20 м/год. Однако при проведении этого районирования рассматривались лишь наиболее крупные реки республики — Кама, Вятка, Чепца и Кильмезь — без учета малых и средних.

В данной работе проводится анализ проявления русловых процессов на малых и средних реках республики. В результате обобщения данных получены сходные показатели: преобладают на исследуемой территории сегментные излучины, доля которых составляет 62%, и прямолинейные русла — 22%; встречаются петлеобразные (10%), пологие и прорванные излучины (6%). Среднегодовые скорости смещения русел рек колеблются в интервале 0,1-15 м/год, сильно отличаясь на реках разного порядка.

Несмотря на схожесть природных предпосылок развития русловых процессов на реках Удмуртии (равнинная территория, небольшие уклоны, преобладание легкоразмываемых пород, сходные климатические условия и т.д.), при детальном рассмотрении выявляются различия в условиях развития русел рек, в преобладании тех или иных морфодинамических типов, в показателях интенсивности русловых деформаций. На основе существующих различий можно провести районирование территории. По условиям и факторам развития русловых процессов территорию Удмуртии можно поделить на два района — Северный (1) и Южный (2) (рис. 8.1). Различия между районами наблюдаются по многим параметрам — геолого-геоморфологическим и гидрологическим условиям, характеру почвенно-растительного покрова, степени антропогенной нагрузки и т.д.

Согласно карте «Морфология и динамика русел рек Европейской части России...» (1999) северная часть республики, включающая в себя бассейны рек Чепцы и Кильмези, верховья Ижа, правые притоки Валы и правые притоки Сивы, в развитии русловых процессов характеризуется свободными условиями на равнинах и низменностях, сложенных мощными толщами рыхлых отложений. Для южной Удмуртии — Вала с левыми притоками, среднее и нижнее течение Ижа, Сива, правобережье Камы и левобережье Вятки — также характерны свободные условия развития русловых процессов, но на моноклиальных равнинах, сложенных



Масштаб 1: 1200000

Рис. 8.1. Районирование территории Удмуртии по факторам и формам проявления русловых процессов

———— границы районов, - - - - границы подрайонов
 1 - Северный район 2 - Южный район

скальными и глинистыми грунтами, перекрытыми соизмеримой с глубиной вреза речных долин толщей рыхлых отложений.

Помимо этого между северной и южной половиной республики есть различия в величине вреза речных долин — 25-100 м на севере и 100-150 м и более на юге. Уклоны поверхности значительно больше в северной части республики, нежели на юге: для рек северной половины республики характерные значения уклонов — 0,2-28‰, южной — 0,2-15‰.

Отличаются на севере и юге республики климатические параметры, а в связи с ними и гидрологические показатели. Северный район является лучше увлажненным, с большей густотой речной сети, с большей величиной среднегодового модуля стока (рис.2.1), и модуля стока весеннего половодья (рис.2.3). В водном режиме рек Северного района выделяется весеннее половодье, устойчивая зимняя и прерывистая летне-осенняя межень. Для рек Южного района характерно весеннее половодье с устойчивой как зимней, так и летне-осенней меженью (Русловой режим..., 1994).

С водным режимом связаны и условия прохождения руслоформирующих расходов (Q_{ϕ}), число максимумов на эпюре Q_{ϕ} . Для всех рек республики характерно наличие верхнего интервала Q_{ϕ} , проходящего при затопленной пойме (табл. 2.3). Кроме того в Южном районе на реках наблюдается два интервала Q_{ϕ} (средний и нижний), проходящие ниже пойменных бровок, а в Северном лишь один средний (Морфология и динамика..., 1999).

Среднегодовая мутность на реках Удмуртии составляет 100-200 г/м³, увеличиваясь в направлении с севера на юг. Среднегодовые модули стока взвешенных наносов рек Удмуртии изменяются от 30 т/год · км² и менее в северных и западных районах до 90 т/год · км² и более в южных (рис. 2.5).

По величине модуля стока влекомых наносов Удмуртия характеризуется повышенными значениями данного показателя — 10-20 т/год · км². Показатель доли стока влекомых наносов в общем стоке наносов возрастает с севера на юг и с запада на восток (рис. 2.6). Для рек крайнего юга Удмуртии доля стока влекомых наносов составляет менее 25%, для рек северной половины превышает 50%.

Различается на севере и юге Удмуртии характер почвенно-растительного покрова. Северный район расположен в подзоне южной тайги и характеризуется преобладанием дерново-подзоли-

тых почв. Южный район в ландшафтном отношении соответствует зоне широколиственно-хвойных лесов, произрастающих на дерново-подзолистых и серых лесных почвах.

Различия между районами 1 и 2 наблюдаются также в степени и характере воздействия антропогенных факторов на русловые процессы. Южный район является более освоенным в хозяйственном отношении, здесь больше доля сельскохозяйственных и пахотных угодий, значительно ниже показатель лесистости.

В связи с тем, что условия развития русловых процессов на севере и юге Удмуртии отличаются, выявляются некоторые различия в соотношении морфодинамических типов русел. При преобладании извилистых сегментных и прямолинейных типов русел в обоих районах, наблюдается несколько повышенная доля последних на юге (21 % от всей длины русел), что связано с низкими показателями стока влекомых наносов. В Северном районе, напротив, наблюдается чуть повышенная доля излучин — 84 % (рис. 8.2).

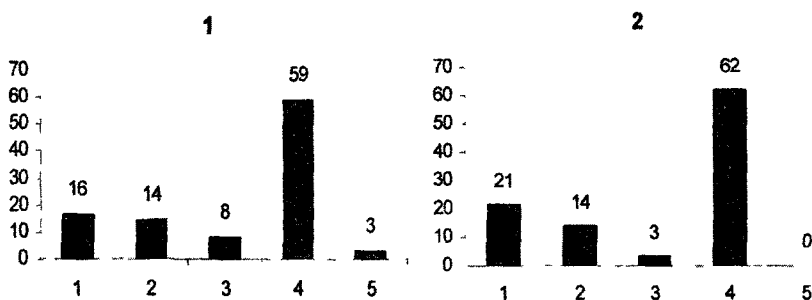


Рис. 8.2. Соотношение морфологических типов русел в северном (1) и южном (2) районах Удмуртии: 1 - прямолинейные русла; 2 - петлеобразные излучины; 3 - пологие и прорванные излучины; 4 - сегментные излучины; 5 - адаптированные излучины

В Северном районе 8 % длины рек приходится на прорванные и пологие излучины. Особенно часто они встречаются на р. Чепце и ее крупных притоках, р. Кильмези. В Южном районе прорванные излучины распространены гораздо реже (3 %) из-за меньшей обеспеченности Q_f верхнего интервала.

Существенное отличие Северного района от Южного — наличие на реках участков с адаптированными излучинами (около 3 %). В тех местах, где русло реки подходит к коренному берегу

или расположено возле него эти излучины образуются как одиночные формы русла. Данный тип излучин характерен для северо-востока территории — для района Верхнекамской возвышенности.

Таким образом, различия в геолого-геоморфологических, климатических и гидрологических условиях развития районов влияют на соотношение морфодинамических типов русел.

Дифференциация русел рек по интенсивности горизонтальных русловых деформаций в первом приближении довольно хорошо совпадает с распространением морфодинамических типов русел и условиями их развития. Наибольшие показатели интенсивности присущи излучинам, развивающимся в свободных условиях. При рассмотрении отдельных типов излучин, повышенными значениями активности и интенсивности отличаются петлеобразные и крутые сегментные.

Ввиду различий в соотношении морфодинамических типов русел на севере и юге республики наблюдаются отличия и в показателях доли размываемых берегов и среднегодовых скоростей размыва.

Южный район характеризуется большим распространением размываемых берегов: высокие значения доли размываемых берегов (более 40 %) наблюдается как на крупных реках — Вятке, Иже, Кырыкмасе, Сиве, Вале, так и на малых — притоках Камы, Вятки. Величины среднегодовых и среднемаксимальных скоростей размыва берегов здесь также выше:

— из рек III-ей группы на территории Южного района протекает Вятка с самыми высокими скоростями береговых размывов;

— среди малых рек II группы наибольшие деформации наблюдаются на реках Вала, Ува, Нылга, Иж, Кырыкмас, которые также находятся на территории данного района;

— в группе самых малых рек (I группа) наиболее высокая активность характерна также для рек Южного района — Бобинка, Агрызка, Быдвайка и др.

В Северном районе показатели доли размываемых берегов меньше и для большинства рек, за исключением Чепцы, составляют менее 40 %. Интенсивность русловых деформаций на реках всех групп значительно ниже в сравнении с аналогичными по водности реками Южного района.

На основании различий в формах рельефа, в преобладающих уклонах, в составе пород и т.д. внутри каждого района можно

провести более дробную дифференциацию по соотношению морфодинамических типов русел, показателям интенсивности русловых деформаций с выделением подрайонов (рис.8.1, 8.3, 8.4). Данные территориальные единицы были выделены на основе орографического районирования территории Удмуртии А.Г. Илларионова (1997) и ландшафтного районирования И. И. Рысина (1997). На территории Северного района было выделено пять подрайонов, Южного — четыре.

Центрально-Удмуртский подрайон (1.1) соответствует территории Центрально-Удмуртской низины. Здесь расположены верхние участки р. Ижа, правые притоки р. Сивы, верхние и средние участки правых притоков р. Валы (Увы, Нылги и др.). Для данной территории характерен слабовозвышенный рельеф. Высоты поверхности снижаются с севера на юг от 250 до 150 м, уклоны рек в пределах 0,6-0,8‰. Территория сложена эоловыми отложениями плейстоцена. Преобладают небольшие малые реки, для которых в большинстве случаев характерно лишь два типа русел — прямолинейные в верховьях (13 % от общей длины русел рек), где уклоны имеют большие значения, и сегментные излучины в средних и нижних участках рек (84 %). Исключением является лишь река Позимь, где помимо сегментных излучин имеются и петлеобразные. Для рек в целом характерны невысокие показатели доли размываемых берегов и небольшие скорости размыва (табл. 8.1).

Таблица 8.1.

Средние значения доли размываемых берегов и интенсивности русловых деформаций в подрайонах

Подрайон	Доля размываемых берегов, %	Интенсивность русловых деформаций, м/год
1.1. Центрально-Удмуртский	15-25	0,10-0,30
1.2. Тыловыйский	20-30	0,10-0,50
1.3. Кильмезский	15-45	0,30-0,70 и более
1.4. Причепецкий	40-60	0,30-0,70 и более
1.5. Зачепецкий	менее 15	0,10-0,15
2.1. Привятский	30-40	0,30-0,70 и более
2.2. Иж-Валинский	30-60	0,30-0,60
2.3. Прикамский	30-45	0,10-0,40
2.4. Закамский	10-15	0,15-0,25

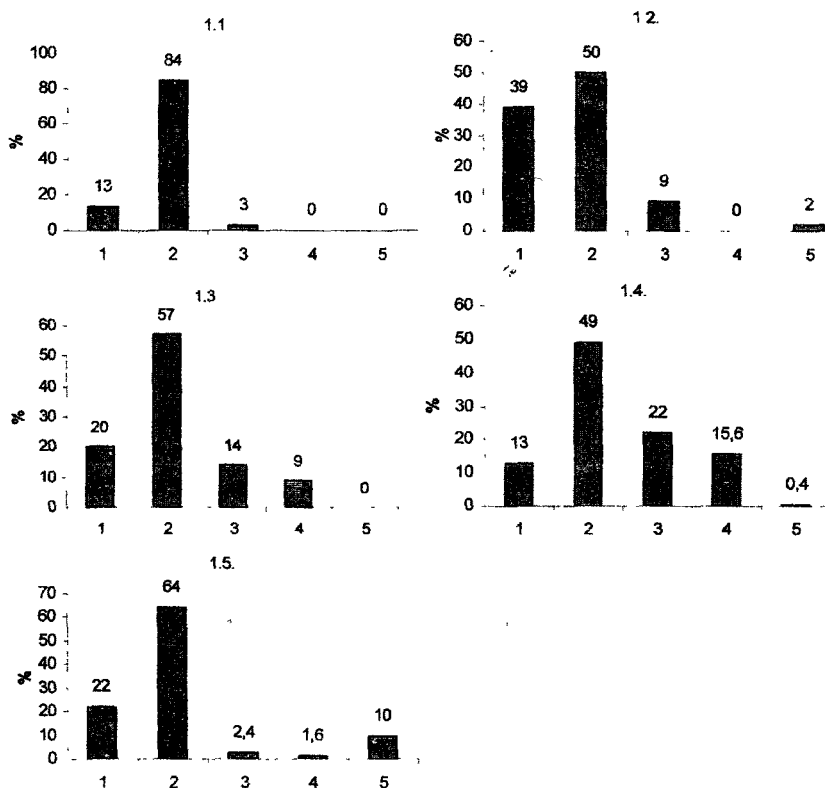


Рис. 8.3. Процентное соотношение морфодинамических типов русел в подрайонах Северной Удмуртии: 1- прямолнейные русла; 2 - петлеобразные излучины; 3- пологие и прорваные излучины; 4- сегментные излучины; 5- адаптированные излучины

Тыловайский подрайон (1.2) в орографическом отношении соответствует Тыловайской (Лозинской) возвышенности. Преобладает возвышенный рельеф с абсолютными отметками 250-300 м и более. Уклоны рек велики — 1,0-18,0‰. Средняя глубина вреза речных долин — 73-95 м. Здесь берут начало реки Лоза, Нязь, Ита (левые притоки р. Чепцы), Арлеть (правый приток р. Кильмези), Ува, Нылга, Инга (правые притоки р. Валы), Вотка, Шаркан, Лып (бассейн р. Сивы), Иж и др. Густота речной сети составляет 0,69 км/км². Территория сложена породами татарского яруса пермской системы, среди которых наиболее распространены глины,

алевролиты, песчаники. На водоразделах широко представлены элювиально-делювиальные отложения, а в нижних частях склонов — делювиально-солифлюкционные суглинки четвертичного возраста. На юге распространены песчаные покровы плейстоцена. Благодаря большим уклонам и наличию слабо размываемых пород на реках широко распространены прямолинейные участки (39%), встречаются адаптированные излучины (2%). Преобладающим морфодинамическим типом остаются сегментные излучины (50%). На рр. Лозе и Ите представлены петлеобразные излучины. Доля размываемых берегов в верховьях рек невелика — не более 30%, скорости горизонтального смещения порядка 0,10-0,50 м/год.

Кильмезский подрайон (1.3) занимает территорию Кильмезской низменности. В рельефе преобладают низменные ландшафты с высотами 100-150 м. Река Кильмезь с многочисленными правыми притоками (Лумпун, Кырчама, Уть и др.) дренирует около 17 тыс. км² территории республики. Густота речной сети в пределах бассейна составляет 0,48 км/км². Долины рек с широкими поймами, слабо врезаны, сложены песками. Днища речных долин заболочены, что объясняется малыми уклонами (0,2-0,6‰) и близостью водоупорных глин татарского яруса. Реки интенсивно меандрируют, образуя различные типы излучин. При преобладании сегментных излучин (57%) здесь велика доля петлеобразных (14%), пологих и прорванных (9%). Подрайон отличается высокой лесистостью (60-65%), доля пахотных угодий не превышает 25%. Интенсивность русловых деформаций невелика, на большинстве рек не превышает 15%. Величины размывов велики на р. Кильмези (1,5-3,0 м/год и более), на отдельных участках ее притоков — рр. Лумпун, Кырчама.

Причепецкий подрайон (1.4) лежит в пределах Чепецкой низины и Красногорской возвышенности. Включает в себя р. Чепцу в среднем и нижнем течении, ее левые притоки и устьевые участки правых. Территория подрайона представляет собой слабо приподнятую возвышенность, часто с плоской поверхностью, напоминающую плато, с абсолютными отметками 200-220 м. Уклоны рек невелики — 0,2-1,0‰. Территория сложена с поверхности элювиально-делювиальными и делювиально-солифлюкционными суглинками. Местами встречаются выходы коренных верхнепермских пород, с которыми связано образование адаптированных участков русел. Ландшафты территории сильно преобразованы в результа-

те хозяйственной деятельности человека. Лесистость территории здесь составляет в среднем около 35%, доля пахотных угодий достигает 50-55%. Преобладающим типом русла здесь являются излучины, из которых 49% приходится на сегментные. Кроме того, часто встречаются петлеобразные, пологие и прорванные излучины. Для рек характерны высокие показатели интенсивности и активности русловых деформаций (табл. 8.1), особенно для самой р. Чепцы.

Зачепецкий подрайон (1.5) занимает северо-восток территории Удмуртии, включает в себя верховья Вятки и Камы, верхние и средние участки правых притоков Чепцы, верховья самой Чепцы. Подрайон занимает наиболее приподнятую часть Верхнекамской возвышенности, с преобладающими высотами 200-300 м. Территория сильно расчленена глубокими речными долинами, с останцовыми грядовыми плато между ними. Притоки Чепцы, (Лып, Пызеп, Варыж и др.) начинаясь в пределах Верхнекамской возвышенности, имеют глубоко врезанные русла и невыработанные продольные профили. Коренные породы — верхнепермские глины, алевролиты, песчаники — нелегко поддаются размыву. Реки образуют в них адаптированные излучины, доля которых максимальна именно здесь (10% от суммарной длины рек). Уклоны рек здесь самые большие на территории республики, что объясняет широкое распространение прямолинейных русел (22%). А преобладающим морфологическим типом здесь являются сегментные излучины (64%). Территория подрайона характеризуется относительно невысокой хозяйственной освоенностью: лесистость составляет в среднем 60%, доля пахотных угодий не превышает 25%. Для данной территории характерны одни из самых низких значений интенсивности и активности русловых деформаций.

Привятский подрайон (2.1) занимает юго-западную окраину республики, дренируется левобережными притоками Вятки (Умяк, Лубянка, Люга, Пыжманка, Казанка и др.). Небольшой по протяженности участок занимает русло самой р. Вятки. В орографическом отношении подрайон соответствует территории Привятской равнины и западным склонам Можгинской возвышенности, высоты снижаются от 250 на севере и северо-востоке до 54-55 м на юге. Все крупные реки района начинаются в пределах Можгинской возвышенности и имеют общий уклон к р. Вятке. Для рек характерны низкие значения базисов эрозии (уровень Вятки). Коренные породы

перми перекрыты мощной толщей золотых отложений. В геолого-геоморфологическом отношении выделяются террасы р. Вятки, сложенные мощной толщей перигляциального аллювия (Бутаков, 1986). Для рек подрайона характерны невысокие значения модуля стока и низкие значения стока влекомых наносов (по отношению к общему стоку). В результате этого наблюдается повышенная доля прямолинейных русел (данная разновидность характерна и для р. Вятки). Среди меандрирующих русел резко преобладают сегментные излучины, встречаются и петлеобразные (3%) (рис. 8.4). Доля размываемых берегов здесь велика — 30-40% и более; средние скорости отступания берегов на малых реках порядка 0,3-0,4 м/год, на р. Вятке — 3-5 м/год.

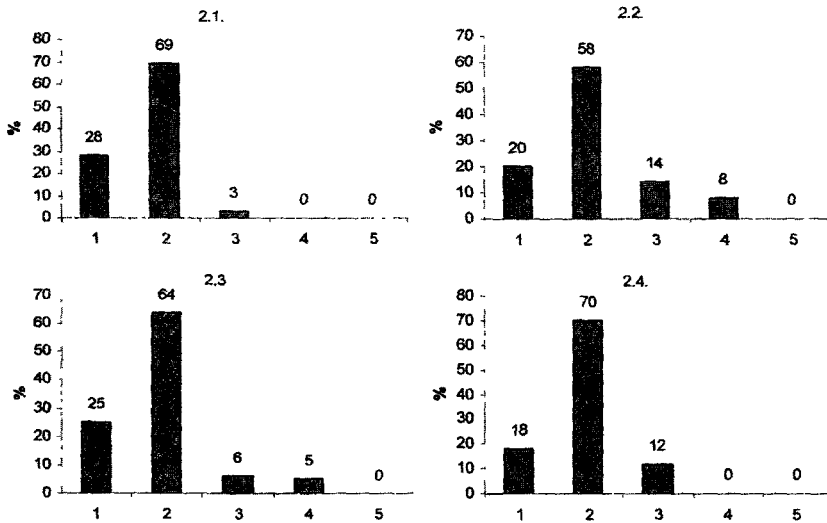


Рис. 8.4. Процентное соотношение морфодинамических типов русел в подрайонах Южной Удмуртии: 1 - прямолинейные русла; 2 - сегментные излучины; 3 - петлеобразные излучины; 4 - пологие и прорванные излучины; 5 - адаптированные излучины

Иж-Валинский подрайон (2.2) приурочен к Можгинской возвышенности; включает р. Валу с ее левыми притоками и нижними участками правых притоков, среднее течение р. Ижа с притоками. Поверхность подрайона представляет собой слабовозвышенную, слегка всхолмленную равнину со спокойным характером релье-

фа. Преобладающими являются высоты 150-200 м. Уклоны рек достигают порядка 3,0‰. Преобладающими породами являются элювиально-делювиальные и делювиально-солифлюкционные отложения, на западе и севере территории встречаются песчаные отложения. Район является достаточно освоенным в хозяйственном отношении, показатель лесистости составляет 30-50%. Реки, протекающие в таких условиях, характеризуются разнообразием русловых процессов, активным переформированием русел. Преобладают на реках сегментные излучины (58%), но велика встречаемость петлеобразных (14%). Доля прорванных излучин невелика, как и на всей территории Южного района. Величины интенсивности русловых деформаций 30-60%. Активность деформаций на реках Вале и Иже превышает 0,50 м/год, на малых и средних достигает 0,30-0,40 м/год.

Прикамский подрайон (2.3) соответствует Сарапульской возвышенности. Здесь протекает р. Кама с ее правыми (включая р. Сиву) притоками. Правобережье Камы характеризуется высокой эрозивной расчлененностью, глубины местных базисов эрозии достигают 150-170 м. Преобладающие высоты — 150-200 м. Среди отложений чаще встречаются элювиально-делювиальные отложения. Среди морфодинамических типов русел преобладают сегментные излучины (64%) и прямолинейные русла (25%). Самые высокие показатели доли размываемых берегов и интенсивности русловых деформаций характерны для р. Сивы (более 70%; 0,50-0,80 м/год). На других реках, меньших по размеру, эти показатели ниже.

Закамский подрайон (2.4) занимает территорию Камско-Бельской низменности. Для левобережья Камы характерен низменный слабопересеченный рельеф с высотами 85-150 м и преобладание аллювиальных отложений. Преобладающие здесь малые реки характеризуются широким распространением сегментных излучин (70%). На р. Буе (в нижнем течении) преобладают петлеобразные излучины. Из-за повышенной лесистости территории показатели активности и интенсивности русловых деформаций невелики.

Таким образом, в пределах Удмуртии выделено 2 района и 9 подрайонов, различающиеся по характеру и интенсивности русловых процессов, преобладанию морфодинамических типов русел.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге проделанной работы были получены следующие выводы:

1. Небольшие перепады высот и незначительные уклоны на территории Удмуртии обуславливают развитие равнинных рек. Повсеместное распространение легкоразмываемых отложений определяет преобладание свободных условий руслоформирования.

2. Условия прохождения руслоформирующих расходов воды наряду с соотношением стока влекомых и взвешенных наносов сказывается в преимущественном распространении на реках тех или иных морфодинамических типов русел. Территория Удмуртии характеризуется наличием среднего и нижнего интервала руслоформирующего расхода Q_f , протекающих в бровках поймы и верхнего интервала Q_f (крайне низкой обеспеченности), проходящего при затопленной пойме. Это способствует формированию излучин, широкому распространению крутых излучин сложных форм (петлеобразных, синусоидальных) и является основной причиной слабого развития прорванных излучин и разветвленных русел.

3. На основе морфодинамической классификации Р. С. Чалова (1996) проведено выделение типов русел на реках Удмуртии. От общей протяженности рек Удмуртии 78 % приходится на извилистые меандрирующие русла, 22 % — на прямолинейные неразветвленные участки. Среди излучин наиболее распространенными являются сегментные пологие — доля их составляет 47 %; далее следуют сегментные развитые излучины — 25 %, сегментные крутые — 13 %. Достаточно высока — 13 % — встречаемость петлеобразных и синусоидальных излучин. Разветвленные русла не имеют самостоятельного значения.

4. Основные морфометрические характеристики русел рек — (длина, ширина и глубина), морфологические параметры излучин (длина, шаг, радиус кривизны и стрела прогиба) изменяются в значительных пределах, возрастая с увеличением порядка водотока. При неизменности показателей водоносности параметры излучин уменьшаются у рек, протекающих по залесенной местности, и увеличиваются у рек, протекающих среди легкоразмываемых отложений. Морфологические параметры излучин связаны между собой определенными соотношениями. Наиболее тесная связь наблюдается между радиусом кривизны и шагом излучин ($R=0,9$).

5. Основные параметры излучин изменяются по длине реки. Но только радиус кривизны и шаг излучин увеличиваются вниз по течению. Изменение средних значений стрелы прогиба и длины излучины при общей тенденции к увеличению зависит от трансформации преобладающей формы излучин, связанной со степенью их развитости.

6. Значения параметров тесно связаны с водоносностью рек (порядковой структурой водотока, площадью водосбора, длиной реки) ($R=0,7-0,9$). Общий для всех рек характер зависимостей имеет степенной вид, но, если рассматривать отдельно малые реки, имеющие порядок до 9-го (I и II группы изучаемых рек), и средние с порядком выше 9-го (III группа), они трансформируются в линейные с различными параметрами уравнений регрессий для каждой группы рек.

7. Скорости бокового смещения берегов на реках Удмуртии, интенсивность изменения параметров излучин варьируют в большом диапазоне: от нескольких сантиметров (0,1-0,3 м/год) до метров (10-15 м/год). Величина доли размываемых берегов изменяется от 3-4 % до 70 % и более.

8. Интенсивность проявления горизонтальных русловых деформаций зависит прежде всего от гидрологических характеристик водотока (величины стока воды, характера руслоформирующих расходов): с увеличением водности растут и показатели интенсивности ($R=0,65-0,9$).

9. Скорости бокового размыва различаются у излучин с разным морфодинамическим типом русла (наибольшие скорости смещения берегов характерны для крутых сегментных и петлеобразных излучин), тесно связаны с характером пойменных отложений, уклоном, характером растительного покрова.

10. Относительная скорость размыва берегов (%) уменьшается с увеличением размера реки: для рек I группы величина относительной скорости составляет 3-10%, для II-ой группы — 1,5-3,0%, для III — ей — менее 1,5%. Связь между данными показателями является отрицательной экспоненциальной.

11. Протекание русловых процессов на малых и средних реках Удмуртии зависит от влияния ряда антропогенных факторов — от изменений хозяйственного использования водосборов (сведение лесов, распашка водосборов, урбанизация), перераспределения стока, вызывающих региональные нарушения. Местные изменения русловых процессов вызывают мостовые переходы, водопропускные отверстия дорожных насыпей, плотины прудов.

12. Выявлены территориальные различия в преобладании морфодинамических типов русел, в показателях доли размываемых берегов и интенсивности русловых деформаций, и на основе этого проведено районирование Удмуртии. В пределах исследуемой территории выделено 2 района и 8 подрайонов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аверичкин О Б Географические особенности формирования русел рек восточной части Русской равнины (морфология и динамика) автореф дис канд геогр наук – Росс гос пед унив-т им А И Герцена – С-П, 2005 – 20 с
- 2 Агроклиматические ресурсы Удмуртской АССР/Под ред С Ф Гречканевой Л Гидрометеоздат, 1974 115 с
- 3 Алабян А М Типы русел равнинных рек и факторы их формирования//Геоморфология – 1992 – №4 – С 37-42
- 4 Алабян А М Руслообразующие наносы и их транспорт на равнинной реке//Вестник МГУ Сер 5 География – 1992 – №5 – С 22-28
- 5 Антимонов Н А. Исследования малых рек/Н А Антимонов – Л Гидрометеоздат, 1950
- 6 Алексеевский Н И Формирование и движение речных наносов – М МГУ, 1998 – 202 с
- 7 Алексеевский Н И Индикационные методы гидроморфологических исследований//Эрозия почв и русловые процессы Вып 12 – М Изд-во Моск ун-та, 2000 – С 232-240
- 8 Алексеевский Н И, Кононова А В, Чалов С Р Анализ влияния изменений водности рек на характер русловых переформирований//Двадцатое межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов – Ульяновск, 2005 – С 96-98
- 9 Алексеевский Н И, Сидорчук А Ю Морфология и динамика рельефа русла в нижнем течении р Терека//Земельные и водные ресурсы противозерозионная защита и регулирование русел – М МГУ, 1990 – С 87-94
- 10 Аполлов Б А Учение о реках – М МГУ 1963 – 423 с
- 11 Баровский Н А Естественные факторы горизонтальных деформаций свободно меандрирующих русел//Двадцатое межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов – Ульяновск, 2005 – С 103-105
- 12 Барышников Н Б Гареев А М Антропогенное воздействие на саморегулирующуюся систему бассейн-речной поток-русло//Эрозионные и русловые процессы Вып 2 Материалы координационных совещаний 1991-1995гг – М МГУ, 1996 – С 70-78
- 13 Барышников Н Б Динамика русловых потоков и русловые процессы/Н Б Барышников, И В Попов – Л Гидрометеоздат, 1988 – 456 с

14. Барышников Н.Б. Антропогенное воздействие на саморегулирующую систему бассейн – речной поток – русло/Н.Б. Барышников, Е.А. Самусева. – СПб.: РГТМУ, 1999.
15. Бастраков Г.В. Опыт определения противозерозионной устойчивости земель//Геоморфология. – 1975. – № 1. – С. 8-10.
16. Бастраков Г.В. Оценка и прогноз противозерозионной устойчивости склоновых земель: Методическое пособие – Брянск: Изд-во БГПИ, 1983. – 45 с.
17. Бастраков Г.В. Сопротивление пойменных отложений размыву как фактор устойчивости русла/Г.В. Бастраков, Г.В. Лобанов, Е.А. Смирнова//Двадцатое межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Ульяновск, 2005. – С.108-109.
18. Беркович К.М. Регулирование речных русел – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 102с.
19. Беркович К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов – М.: ГЕОС, 2001. – 164 с.
20. Беркович К.М. Особенности русловых процессов на реках Нечерноземной зоны РСФСР/К.М. Беркович, Б. Н Власов//Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 1982. – №3. – С.28-34.
21. Беркович К.М. Морфология русла и русловые деформации верхней Оби/К.М. Беркович, Л.М. Гаррисон, С.Н. Рулева, Р.С. Чалов//Земельные и водные ресурсы: противозерозионная защита и регулирование русел. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – С. 95-119.
22. Беркович К.М. Экологическое русловедение/К.М. Беркович, Р.С. Чалов, А.В. Чернов. – М.: ГЕОС, 2000. – 332 с.
23. Боровиков В. СТАТИСТИКА: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов – СПб.: Питер, 2001. 656 с.
24. Боровков В.С. Русловые процессы и динамика речных потоков на урбанизированных территориях/В.С. Боровков. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.
25. Бутаков Г.П. Плейстоценовый перигляциал на востоке Русской равнины – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1986. – 144 с.
26. Бутаков Г.П. О зональности асимметрии речных долин востока Русской равнины/Г.П. Бутаков, Ю.В. Бабанов, В.И. Мозжерин, А.И. Алексенцева//Ландшафтные исследования на территории Поволжья. Сб. 10. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1977. – С. 53-79.
27. Бутаков Г.П. Направленность и скорость плановых перемещений русел средних рек Закамья Татарстана/Г.П. Бутаков, Е.Г. Гаврилов, И.А. Серебренникова//Двенадцатое межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1997.
28. Бутаков Г.П. Формы проявления эрозионно-аккумулятивных процессов на малых речных водосборах/Г.П. Бутаков, О.П. Ермолаев, В.И. Мозжерин и др.//Эрозионные и русловые процессы. Луцк, 1991. – С. 19-42.
29. Бутаков Г.П. Условия формирования русел и русловые деформации на реках бассейна р. Камы/Г.П. Бутаков, Н.Н. Назаров, Р.С. Чалов, А.В. Чернов//Эрозионные и русловые процессы. Вып. 3. М.: МГУ, 2000, – С. 138-148.
30. Ведомости меженных расходов воды (графически осредненных) различных обеспеченностей малых рек Удмуртской АССР: Научный отчет Казанского отдела гидрологии и водных ресурсов Сев. НИИГиМа. Казань, 1973.

- 31 Ведомости длин и площадей водосборов рек Удмуртской АССР Научный отчет Казанского отдела гидрологии и водных ресурсов Сев НИИГиМа Казань, 1973
- 32 Великанов М А Русловой процесс – М Госфизматиздат 1958
- 33 Власов Б Н Руслоформирующие расходы и морфодинамические типы русел рек севера Европейской территории России и бассейна р Камы/Б Н Великанов – Уфа Изд-во Башкирского гос ун-та, 1999 – С 87-89
- 34 Власов Б Н Районирование Европейской территории по условиям прохождения руслоформирующих расходов воды на реках/Б Н Власов, Р С Чалов//Вестник МГУ Сер 5 География – 1991 – №6 – С 32-42
- 35 Водогрещкий В Е Антропогенное изменение стока малых рек – Л Гидрометеоздат, 1990 – 176 с
- 36 Государственный водный кадастр Разд 1 Поверхностные воды Сер 2 Ежегодные данные Бассейн р Камы 1979 т 4, вып 5-7 /Под ред И Г Демидовой Свердловск 1981 288 с
- 37 География Удмуртии Учебное пособие для учащихся 8-9 классов/Н Т Козлова [и др.] - Ижевск Удмуртия, 1982 – 224 с
- 38 Геология и нефтеносность Удмуртской АССР/Л В Шаронова [и др], отв ред Л В Шаронова – Ижевск Удмуртия, 1992 – 128 с
- 39 Геология СССР Т 11 Поволжье и Прикамье Ч 1 Геологическое описание/Под ред К Р Чепикова М Недрa, 1967 С 871
- 40 Гидрогеология СССР Т 13 Поволжье и Прикамье Ч 1/Под ред Т П Афанасьева М Недрa, 1970 800 с
- 41 Гидрологический ежегодник Бассейн р Камы 1975 г , Т 4, вып 5-7/Под ред И Г Демидовой Свердловск 1977 220 с
- 42 Государственный водный кадастр Разд 1 Поверхностные воды Сер 2 Ежегодные данные Бассейн р Камы 1979 г Т 4 Вып 5-7/Под ред И Г Демидовой Свердловск 1981 288 с
- 43 Гришанин К В Основы динамики русловых потоков – М Транспорт, 1990
- 44 Гришанин К В Теория руслового процесса – М Транспорт, 1972
- 45 Гришанин К В Устойчивость русел рек и каналов – Л Гидрометеоздат, 1974
- 46 Дедков А П Древние поверхности выравнивания и останцовый рельеф Удмуртии/А П Дедков, О Н Малышева, С Р Порман, А Д Рождественский//Развитие склонов и выравнивание рельефа – Казань Изд-во Казан ун-та, 1974 – С 64-76
- 47 Дедков А П Структура эрозии в бассейнах равнинных рек/А П Дедков, В И Мозжерин//3-я Всесоюзная научно-практическая конференция «Закономерности проявления эрозии и русловых процессов в различных природных условиях» – М Изд-во МГУ, 1981 – С 65-66
- 48 Дедков А П Эрозия и сток наносов на Земле/А П Дедков, В И Мозжерин – Казань Изд во Казан ун-та, 1984 – 264 с
- 49 Дерюгина Н П Климат/Н П Дерюгина, Н Я Моргунова//Природа Удмуртии – Ижевск Удмуртия, 1972 – С 126-144
- 50 Джуха И Г Морфология и динамика русел малых рек таежной зоны (Вологодская область)//Земельные и водные ресурсы противозерозионная защита и регулирование русел – М Изд-во МГУ, 1990 – С 77-86

51. Джуха И. Г. Особенности формирования русел малых рек Вологодской области в связи с их хозяйственным использованием/И. Г. Джуха, А. Н. Кичигин//Геоморфология. – 1986. – № 1. – С. 66-71
52. Джуха И. Г. Морфология и динамика русла р. Юг как пример руслоформирующей деятельности малой реки/И. Г. Джуха, Р. С. Чалов//Геоморфология. – 1985. – № 1. – С. 83-91.
53. Егоркина С. С. Горизонтальные русловые деформации рек Пермского Прикамья: автореф. дисс.... канд. геогр. наук: 25.00.23/Егоркина Светлана Силивестровна – Пермь, 2004. – 17 с.
54. Егоров И. Е. К изучению геоэкологических условий в бассейнах малых рек Вятско-Камского междуречья/И. Е. Егоров, А. Г. Илларионов, И. И. Рысин, В. И. Стурман//Вестник Удмуртского ун-та. – 1993. – № 3. – С. 3-11.
55. Ермолаев О. П. Пояса эрозии в природно-антропогенных ландшафтах речных бассейнов – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1992. – 148 с.
56. Жучкова В. К. Методы комплексных физико-географических исследований/В. К. Жучкова, Э. М. Раковская. – М.: Академия, 2004. – 368 с.
57. Завадский А. Г. Гидролого-морфологический анализ свободного меандрирования русел равнинных рек: автореф. дисс.... канд. геогр. наук: 25.00.27/Завадский Александр Сергеевич. – Москва, 2001. – 26 с.
58. Завадский А. С. Региональный анализ свободного меандрирования/А. С. Завадский, Р. С. Чалов//Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 1997. – № 3.
59. Завадский А. С., Чалов Р. С. Условия формирования и морфология свободных излучин на реках Северной Евразии/А. С. Завадский, Р. С. Чалов//Геоморфология. – 2000. – № 4.
60. Завадский А. С. Стадии развития свободных излучин и их гидролого-геоморфологический анализ/А. С. Завадский, И. Н. Каргаполова, Р. С. Чалов//Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 2002. – № 3.
61. Иванов В. В. Особенности развития излучин при изменении условий руслоформирования/В. В. Иванов, Б. В. Матвеев, А. В. Чернов//Геоморфология. – 1983. – № 3.
62. Иванов В. В. Прямолинейные неразветвленные русла как морфодинамический тип/В. В. Иванов, Р. С. Чалов//Геоморфология. – 1991. – № 2. – С. 67-72.
63. Изучение источников заиления и загрязнения малых рек с целью повышения водности и улучшения экологической обстановки в их бассейнах. Отчет по научно-исследовательской теме. Т. 1-3. – Ижевск, 1990.
64. Илларионов А. Г. Рельеф/А. Г. Илларионов//Отчет по научно-исследовательской теме «Изучение источников...». Т. 1. – Ижевск, 1990.
65. Ильминских Н. Г. Растительные ресурсы/Н. Г. Ильминских, Т. И. Черенкова//Природные ресурсы и экология Удмуртии. – Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1995. – С. 47-60.
66. Караушев А. В. Проблемы динамики естественных водных потоков – Л.: Гидрометеиздат, 1960.
67. Ковриго В. П. Почвы Удмуртской республики: – Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2004. – 490 с.
68. Комлев А. М. Опыт определения интенсивности плановых деформаций русла р. Тром-Юган по возрасту древесной растительности на намывных берегах/А. М. Комлев, П. П. Билукне//Труды Новосибир. филиала науч. – исследоват. ин-та аэроклиматологии. – 1965. – Вып. 1. – С. 175-180.

69. Кондратьев Н. Е. Русловой процесс/Н. Е. Кондратьев, А. М. Ляпин, И. В. Попов, С. И. Пиньковский, Н. Н. Федоров, И. И. Якунин. – Л.: Гидрометеиздат, 1959.
70. Кондратьев Н. Е. Основы гидроморфологической теории руслового процесса/Н. Е. Кондратьев, И. В. Попов, Б. Ф. Снищенко. – Л.: Гидрометеиздат, 1982.
71. Лакин Г. Ф. Биометрия – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
72. Львович М. И. Вода и жизнь – М.: Мысль, 1986. – 253 с.
73. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне – М.: АН СССР, 1955. – 346 с.
74. Маккавеев Н. И. Сток и русловые процессы – М.: МГУ, 1971.
75. Маккавеев Н. И. Русловые процессы/Н. И. Маккавеев, Р. С. Чалов. – М.: МГУ, 1986.
76. Малые реки России/Отв. ред. А. М. Черняев. – Свердловск: Сред. – Урал. кн. изд-во, 1988. – 320 с.
77. Матвеев Б. В. Влияние геолого-геоморфологических факторов на образование и морфологию речных излучин//Геоморфология. – 1985, №3. – С. 51-58.
78. Матвеев Б. В. Процесс меандрирования и развитие речных долин//Геоморфология. – 1988, № 1.
79. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши (бассейн р. Кама). Л.: Гидрометеиздат, 1988. Т.1, вып 25. 770 с
80. Морфология и динамика русел рек Европейской части России и сопредельных государств М- б 1: 2000000. М.: Федер. служба геодезии и картографии. 1999.
81. Назаров Н. Н. Реки Пермского Прикамья: Горизонтальные русловые деформации/Н. Н. Назаров, С. С. Егоркина.– Пермь: ИПК «Звезда», 2004. – 155 с.
82. Никитина Л. Н. Эволюция свободных излучин и основные стадии их развития/Л. Н. Никитина, Р. С. Чалов//Геоморфология. – 1998, №3. – С.69-77.
83. Орлов В. И. Динамическая география – М.: Научный мир, 2006. – 594 с.
84. О состоянии окружающей природной среды УР в 2004 году: Государственный доклад. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2005. – 240 с.
85. Павлов И. Н. Морфология русел рек равнинной части Алтайского края/И. Н. Павлов//Геоморфология. – 1994. – №3. Панин А. В. Влияние геолого-геоморфологических факторов на морфологию крупных рек восточной Сибири (на примере р. Яны)//Геоморфология. – 1990. – № 1.
86. Пахомова О. М. Горизонтальные русловые деформации и их связь с порядковой структурой речной сети//Геоморфология. – 2002. №3. – С. 105-111.
87. Пахомова О. М. Типы русел и гидролого-морфологические характеристики излучин на реках бассейна р. Белой/О. М. Пахомова, Р. С. Чалов, А. В. Чернов//Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1996. – С. 47-56.
88. Перевощиков А. А. Закономерности формирования антропогенно-обусловленного пойменного аллювия в долинах малых рек Удмуртии: дисс. ... канд. геогр. наук: 20.00.25./Перевощиков Александр Анатольевич. – Казань, 1997. – 217 с.
89. Перевощиков А. А. Гидротехнические сооружения Удмуртии и их роль в процессах аккумуляции наносов на пойме//Вестник Удмуртского университета. – 2000. – № 3. – С. 101-110.
90. Перевощиков А. А. История освоения территории Удмуртии и его влияние на динамику русловых деформаций/А. А. Перевощиков, Л. Н. Петухова//Вестник Удмуртского университета. – 2003. – С.61-70.

91. Перевощиков А.А. Скорости формирования современного пойменного аллювия//Вестник Удмуртского университета. – 2003. – С.135-148.
92. Петухова Л. Н. Русловые процессы на реках Удмуртии//Динамика овражно-балочных форм и русловые процессы. М., 2002. С.103-106.
93. Петухова Л.Н. Развитие русловых процессов в условиях различных ландшафтов Удмуртии//Вестник Удмуртского университета. Серия Науки о земле, 2003. С.123-134.
94. Петухова Л. Н. Боковая эрозия и эрозионная прочность грунтов//Материалы VI Российской университетско-академической научно-практической конференции. Ижевск: Из-во Удм. ун-та, 2003.
95. Петухова Л. Н. Связь интенсивности русловых деформаций с порядковой структурой речной сети//Вестник Удмуртского университета № 8. 2004. С.107-114.
96. Петухова Л. Н. Интенсивность и активность горизонтальных русловых деформаций//Материалы VII Российской университетско-академической научно-практической конференции. Ижевск: Из-во Удм. ун-та, 2005. С.214-216.
97. Петухова Л. Н. Рысин О факторах развития горизонтальных русловых деформаций на реках Удмуртии//Л. Н. Петухова, И. И. Рысин//Вестник Удмуртского университета №11. 2005. С.153-168.
98. Петухова Л. Н. Основные закономерности морфодинамики русел рек Удмуртии//Л. н. Петухова, И. И. Рысин//Материалы научного семинара «Макавеевские чтения-2005». Москва, 2006. С. 8-25.
99. Плохинский Н.А. Биометрия – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 367 с.
100. Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство – Л.: Гидрометеиздат, 1965.
101. Ресурсы поверхностных вод СССР. Средний Урал и Приуралье. Том 11/Отв. ред. Н. М. Алюшинская. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 848 с.
102. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек – Л.: Гидрометеиздат, 1985.
103. Русловой режим рек Северной Евразии/Отв. ред. Р. С. Чалов. – М.: МГУ, 1994. – 336 с.
104. Русловые процессы на реках СССР (М- б 1: 4000000)/Отв. ред. Р. С. Чалов. – М.: ГУГК СССР, 1990.
105. Рысин И. И. Почвенная и овражная эрозия на территории Удмуртской АССР.: дисс. ... канд. геогр. наук: 11.00.04: защищена 18.02.1982./Рысин Иван Иванович. – Ленинград, 1982. – 203 с.
106. Рысин И. И. Водные ресурсы//Природные ресурсы и экология Удмуртии. – Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1995. – С. 36-47.
107. Рысин И. И. Почвенные и земельные ресурсы//Природные ресурсы и экология Удмуртии. – Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1995. – С. 22-36.
108. Рысин И. И. Физико-географические (ландшафтные) районы Удмуртии//Вестник Удм. ун-та. – Ижевск, 1997. – №3.
109. Рысин И. И. Овражная эрозия в Удмуртии – Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1998. – 274 с.
110. Рысин И. И. Овертикальном расчленении рельефа Удмуртии//И. И. Рысин, Г. П. Бутаков//Физико-географические основы развития и размещения производительных сил Нечерноземного Урала. – Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1981. – С. 90-95.

111. Серебренникова И. А. Геолого-геоморфологический аспект развития боковой эрозии на реках юга Предволжья РТ//Двадцатое межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Ульяновск, 2005. – с.255-256.
112. Серебренникова И. А. Скорости плановых смещений русел рек и экологическая оценка территории юга Татарстана/И.А. Серебренникова, Г.П. Бутаков, В.В. Юсупова, Р.Р. Деннмухаметов, В.Г. Бутаков, О.В. Мачина//Четырнадцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Уфа, 1999. – С.190-191.
113. Спиридонов А.И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картографирования – М.: Высшая школа, 1970. – 456 с.
114. Сток наносов, его изучение и географическое распределение. Ленинград: Гидрометеиздат. 1977. 240 с.
115. Стурман В.И. Четвертичные отложения Удмуртии: учебно-методическая разработка – Ижевск: Изд-во Удм. унив-та, 1992. – 30 с.
116. Хортон Р. Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов – М.: ИЛ, 1948. – 156 с.
117. Чалов Р.С. Антропогенные изменения русловых процессов и возможности управления ими//Эрозионные и русловые процессы. – Луцк: 1991, С. 7-19.
118. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов – М.: МГУ, 1979. – 234 с.
119. Чалов Р.С. Типы русловых процессов и принципы морфодинамической классификации речных русел//Геоморфология. – 1996. – № 1.
120. Чалов Р.С. О классификации речных русел//Геоморфология. – 1980. – № 1.
121. Чалов Р.С. Русловые исследования – М.: Изд-во Московского университета, 1995. – 105 с.
122. Чалов Р.С. Общее и географическое русловедение – М.: МГУ, 1997.
123. Чалов Р.С. Почему размываются берега рек//Соросовский образовательный журнал. – Том 6, №2. – С. 99-106.
124. Чалов Р.С. Морфодинамика русел равнинных рек / Р.С. Чалов, А.М. Алабян, В.В. Иванов, Р.В. Лодина, А.В. Панин.- М.: ГЕОС, 1998. – 288 с.
125. Чалов Р.С. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая / Р.С. Чалов, Лю Шугуан, Н.Н. Алексеевский. – М.: МГУ, 1999. – 212 с.
126. Чалов Р.С. Речные излуины / Р.С. Чалов, А.С. Завадский, А.В. Панин.- М.: Из-во МГУ, 2004. – 371 с.
127. Чалов Р.С. Районирование Камского бассейна по факторам и формам проявления русловых процессов на средних и крупных реках / Р.С. Чалов, А.В. Чернов // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1996. – С.10-20.
128. Чалов Р.С. Сток наносов, руслоформирующие расходы воды и морфодинамические типы русел рек бассейна Камы / Р.С. Чалов, Н.Н. Штанкова // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2000.
129. Чалов Р.С. Сток наносов, доля стока влекомых наносов в нем и их отражение в формах проявления русловых процессов на реках бассейнах Волги / Р.С. Чалов, Н.Н. Штанкова // Проблемы русловедения. Вып. 9. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. – С.195-205.
130. Чернов А.В. Геоморфология пойм равнинных рек – М.: Из-во Моск. ун-та, 1983. – 198 с.
131. Чернов А.В. Результаты наблюдений за размывом берегов на реках лесного Заволжья и их анализ // Проблемы русловедения. Вып. 9. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. – С. 206-214.

132. Чернов А.В. География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии (в пределах бывшего СССР): дис...докт. географ. наук: 23.00.23: защищена 01.06.2006 /Чернов Алексей Владимирович.- Пермь, 2006. – 555 с.
133. Чернов А.В. Результаты наблюдений за размывом берегов на реках Лесного Заволжья и их анализ / А.В. Чернов, О.В. Кораблева // Проблемы русловедения. Вып. 9. – М.: МГУ, 2003. – С. 206-214.
134. Широбоков С.И. Удмуртская АССР – Ижевск: Удмуртия, 1969. – 328 с.
135. Штанкова Н.Н. Сток наносов на реках бассейна Волги // Динамика овражно-балочных форм и русловые процессы. – М.: МГУ, 2002. – С. 112-119.
136. Щукин И.С. Общая геоморфология: в 3 т. Том 1. – М.: МГУ. 1960.
137. Эрозионные процессы. М.: Мысль, 1984. 256 с.
138. Leopold L. River-channel patterns: braided, meandering and straight / L.B. Leopold, M.G. Wolman // U. S. Geol. Surv. Prof. Paper. – 1957.- №282-B.- P. 1-85.
139. Schumm S.A. The fluvial system / S.A. Schumm. 1977.- 338 p.
140. Schumm S.A. Experimental study of channel patterns / S.A. Schumm, H.R. Khan // Geol. Soc. Am. Bull. V. 83.- 1972. – P. 1755-1770.
141. Shen H. Stability of stream channel patterns / H.W. Shen, S.A. Schumm, D.O. Doehring // Transp. Res. Rec. №736. – 1979.- P. 22-28.
142. www.maps.google.com. 2005.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Гидрологические характеристики ключевых участков

Река, ключевой участок	Порядок реки	Среднегод. расход, м ³ /с	Меженный расход, м ³ /с	Площадь водосбора, км ²	Средняя ширина русла, м	Средняя глубина реки, м	Высота берегового уступа, м
	2	3	4	5	6	7	8
1 Лоза ст. Кушья	7,8	4,84	0,74	816,7	11	1,2	2,5
2 Лоза д. Сундур	8,2	6,78	1,39	873,4	17	1,2	2,5
3 Лоза ст. Лоза	8,8	13,5	1,83	1149,2	13	1,6	2,5
4 Ита п. Зура	8,8	7,19	1,02	1041,0	17	1,5	3
5 Чепца с. Дебесы	8,7	49,1	7,3	829,0	35	1,3	3,2
6 Чепца д. Варни	8,7	51,7	7,8	961,3	35	1,6	3,2
7 Лып д. Сосн. Бор	8,5	5,75	0,73	782,9	19	0,5	2,2
8 Пызеп д. Бани	8,6	5,45	0,85	760,2	13	0,9	3,2
9 Чепца д. Кам. Заделье	11,4	52,0	8,3	6125,9	52	1,6	5,5
10 Чепца д. Кожило	11,6	55,1	8,8	7113,9	80	1,7	6,0
11 Варыж д. Кельдыково	7,4	3,5	0,25	548,8	9		2,7
12 Чепца д. Адам	11,8	77,8	9,1	8756,3	85	1,8	2,5
13 Сепыч г. Глазов	7,9	3,5	0,83	490,1	23	1,6	3,0
14 Убыль д. Чура	8,1	1,18	0,14	536,9	23	1,5	1,8
15 Убыль д. Палагай	7,3	0,89	0,11	353,4	17	1,8	1,5
16 Чепца д. Дизьмино	12,3	88,7	13,7	9869,7	85	2,0	4,5
17 Чепца д. Яр.	12,3	90,0	17,0	10075,22	95	2,1	5
18 Чепца п. Лынозавод	12,3	90,8	17,0	11251,20	100	2,2	6
19 Лекма д. Н. Укан	8,6	6,9	2,32	1075,2	17	1,5	1,5
20 Сада д. Юр	4,6	1,9	0,85	184,1	5	0,5	1
21 Лема д. Шамардан	6,7	2,1	0,83	159,5	17	0,7	1,1
22 Лекма д. Починки	7,4	2,65	0,88	460,9	27	1,0	2,5

Гидрологические характеристики ключевых участков

1	2	3	4	5	6	7	8	
23	Кильмезь д. Г. Язак	8,7	10,5	3,0	1575,73	55	1,2	3,0
24	Арлеть д. Чибирь-Зюнья	6	2,1	0,4	238,6	6	0,9	1,3
25	Кильмезь д. Мал. Сюмси	9,9	29,2	8,3	4385,3	85	1,5	4,0
26	Лумпун д. Хар. Пристань	6,8	9,5	3,6	142,0	17	1,1	6,0
27	Ува п. Ува	8,0	4,15	0,6	711,3	20	1,2	2,3
28	Ува д. Ува-Тукля	8,1	4,21	0,61	789,3	23	1,3	1,3
29	Нылга с. Нылга	8,3	5,14	0,83	960,7	15	1,6	2,8
30	Вала с. Макарово	9,3	15,4	2,43	3143,6	36	2,5	3,8
31	Позимь ст. Позимь	8,6	4,3	0,5	623,3	9	0,8	1,1
32	Позимь д. Кабаньиха	8,5	5,6	0,6	742,8	9	1,1	1,2
33	Бьдвайка с. Завьялово	4,5	1,79	0,07	165,7	6	0,5	2,0
34	Иж д. Большая Венья	9,6	8,5	1,9	2755,8	20	1,5	3,1
35	Лудзинка с. Юськи	5,1	1,77	0,14	71,0	9	0,6	1,0
36	Постолка п. Постольский	7	1,1	0,08	128,0	13	0,9	2,2
37	Агрызка д. Баграш-Бигра	4,5	0,85	0,1	365,1	9	0,7	3,5
38	Бобинка д. Абдас-Урдас	5,8	0,86	0,18	208,3	7	0,8	3,0
39	Кырымас д. Тавязмал	8,4	10,5	2,2	1570,76	23	1,6	4,5
40	Иж д. Русская Шаршад	10,6	17,7	4,5	5916,36	43	2,5	4,0

Гидрологические характеристики ключевых участков

	1	2	3	4	5	6	7	8
41	Варзинка д Юмьяшу	5	0,79	0,14	150,0	7	0,8	2,2
42	Билибка д. Шонер	4,8	0,18	0,03	45,45	6	0,4	1,0
43	Шаркан д. Титово	5,6	1,95	0,18	115,05	11	1,0	2,0
44	Сива с Гавриловка	10,6	28,2	9,36	3526,53	35	1,5	4,5
45	Сива д. Метляки	10,8	28,5	9,4	4126,2	40	1,8	4,5
46	Удебка д. Фертики	2,1	0,15	0,02		1,5	0,3	1,0
47	Воткинское водо-хранилище	-	-	-	181000	9 км (макс)	8,4 (ср) 28,0 (макс)	80,0
48	Гольянка с Гольяны	4,7	0,25	0,06	86,6	7	0,7	1,1
49	Кобылка д. Клестово	4,2	0,71	0,09	50,2	7	0,5	2,0
50	Пизь д. Новокрещенское	7,6	1,7	0,15	320,1	11	0,8	1,2
51	Алнашка с Алнаши	3	0,59	0,08	50,0	7	0,7	1,5
52	Адамка с Грахово	3,8	0,75	0,13	51,5	7	0,6	1,5
53	Умяк д. Русский Куюк	6,2	6,7	1,5	390,6	11	0,9	3,0
54	Умяк д. Бажениха	6,9	8,9	2,04	843,4	19	1,2	3,0
55	Вятка с Кр Слудка	15	844,0	120,0	21458,5	350	3,5	30,0

Геолого-геоморфологические характеристики ключевых участков

Ключевой участок		Механический состав пойменных отложений	Среднее значение эрозионной прочности, Н	Уклон, ‰
1	2	3	4	5
1	Лоза ст Кушья	ср сугл	6,25	1,1
2	Лоза д Сундур	ср сугл	6,67	0,58
3	Лоза ст Лоза	л сугл	4,38	0,90
4	Ита п Зура	л сугл	4,40	0,85
5	Чепца с Дебесы	супесь	4,3	0,24
6	Чепца д Варни	л сугл	5,89	0,24
7	Лып д Сосновый Бор	песок	3,8	1,6
8	Пызеп д Бани	л сугл	4,94	0,76
9	Чепца д Каменное Заделье	л сугл	4,56	0,23
10	Чепца д Кожило	л сугл	4,91	0,20
11	Варыж д Кельдыково	т сугл	15,5	2,3
12	Чепца д Адам	ср сугл	7,86	0,21
13	Сепыч г Глазов	ср сугл	5,33	0,81
14	Убыть д Чура	ср сугл	6,4	0,48
15	Убыть д Палагаи	т сугл	9,23	1,0
16	Чепца д Дизьмино	л сугл	4,62	0,21
17	Чепца д Яр	л сугл	6,54	0,18
18	Чепца п Льнозавод	л сугл	5,23	0,18
19	Лекма д Нижний Укан	т сугл	8,89	0,51
20	Сада д Юр	т сугл	8,32	0,40
21	Лема д Шамардан	ср сугл	5,83	1,5
22	Лекма д Починки	ср сугл	7,2	0,60
23	Кильмезь д Головизнин Язок	песок	3,4	0,80
24	Арлеть д Чибирь-Зюнья	ср сугл	6,02	0,60
25	Кильмезь д Малые Сюмси	-	-	0,30
26	Лумпун д Х Пристань	-	-	0,21
27	Ува п Ува	л сугл	4,50	0,40
28	Ува д Ува-Тукля	л сугл	4,26	0,43
29	Нылга с Нылга	л сугл	4,1	0,67
30	Вала с Макарово	л сугл	5,39	0,60
31	Позимь ст Позимь	т сугл	8,84	0,64
32	Позимь д Кабаниха	л сугл	5,43	0,80
33	Быдвайка с Завьялово	-	-	1,1
34	Иж д Большая Веня	супесь	4,7	0,61
35	Лудзинка с Юськи	т сугл	7,5	1,7
36	Постолка п Постольский	т сугл	11,38	1,1

Приложение 2

Геолого-геоморфологические характеристики ключевых участков

1	2	3	4	5
37	Агрызка д Баграш-Бигра	ср сугл	4,1	2,4
38	Бобинка д Абдэс-Урдэс	ср сугл	5,68	1,9
39	Кырыкмас д Тавзямал	т сугл	9,98	0,75
40	Иж д Русская Шаршада	т сугл	10,32	0,18
41	Варзинка д Юмьяшур	ср сугл	7,5	1,5
42	Билибка д Шонер	ср сугл	7,81	2,4
43	Шаркан д Титово	л сугл	4,27	2,2
44	Сива с Гавриловка	ср сугл	10,55	0,43
45	Сива д Метляки	ср сугл	8,85	0,32
46	Удебка д Фертики	-	-	1,2
47	Воткинское вдх	-	-	-
48	Гольянка с Гольяны	ср сугл	5,41	1,6
49	Кобылка д Клестово	ср сугл	6,15	1,4
50	Пизь д Новокрещенское	л сугл	3,65	0,6
51	Алнашка с Алнаши	ср сугл	6,35	1,5
52	Адамка с Грахово	ср сугл	5,28	1,9
53	Умяк д Русский Куюк	песок	3,36	1,2
54	Умяк д Бажениха	ср сугл	6,54	0,16
55	Вятка с Кр Слудка	супесь	3,7	0,13

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Чепца**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
	5,4			200	20	200	30	1	1,5
638	7,8	16	9	300	40	350	50	1,17	1,25
829	8	31	14	350	70	450	100	1,28	1,4
1585,8	8,7	23	21,6	550	140	850	130	1,5	0,93
3431,5	9,1	21	30,35	300	150	650	150	2,2	1
5020	10,2	33	38,3	450	170	750	170	1,7	1
8553,6	11,3	22	70,9	1200	375	2400	350	2	0,9
11486	12,3	19	105,3	1900	500	2600	500	1,36	1
11691,7	12,4	28	146,8	1950	325	2500	550	1,28	1,7
21351,5	12,5	36	285	1700	400	3400	550	2	1,3

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Варыж**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
52,38	5,2	19	10,5	125	50	200	25	1,6	0,5
94,1	6,4	11	14,65	350	75	500	50	1,4	0,6
156,5	7	28	21,4	400	100	600	75	1,5	0,7
270,4	8,1	31	38,5	350	100	500	50	1,4	0,5

**Изменение морфометрических параметров
свободных излучин по длине р. Лекма**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
163,6	6,1	23	12,7	150	50	250	50	1,6	1
431,8	7,3	29	38	250	75	300	100	1,2	1,3
752,1	8,2	23	52,8	400	100	750	120	1,87	1,2
884,3	9,1	13	68,2	430	150	850	150	1,97	1
1061,7	9,3	19	84,85	550	150	1000	120	1,81	0,8
2158,6	9,5	31	127	560	175	1300	135	2,3	0,7

Приложение 3

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Убыть**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
24,6	3,2	25	15	150	25	250	25	1,6	1
113,8	4,1	9	19,5	250	70	400	50	1,6	0,7
384,5	7	22	29,1	350	150	650	100	1,86	0,6
543,1	7,3	19	38,9	500	125	800	150	1,6	1,2
932,6	7,5	32	78,2	520	125	850	160	1,63	1,2
1238,3	8,6	35	100	550	150	800	180	1,45	1,2

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Сепыч**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
163	5,2	15	8,3	125	30	200	25	1,6	0,85
217,1	6,1	12	18	150	50	300	50	2	1
298,4	7,3	23	31,4	200	75	350	55	1,75	0,7
343	7,6	19	40,9	250	80	400	60	1,6	0,75
964,8	8,2	34	70	300	100	420	85	1,4	0,85

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Пызеп**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
97,4	6,5	28	16	125	50	200	25	1,6	0,5
201,7	7,1	22	26,3	200	60	300	30	1,5	0,5
297,6	7,4	25	38,1	400	100	500	100	1,25	1
368,1	8,2	31	59	600	100	800	150	1,3	1,5
964,8	8,2	34	70	300	100	420	85	1,4	0,85

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Лоза**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
238,1	7	26	19	150	25	200	25	1,3	1
846,4	8,1	31	43,5	300	40	450	50	1,5	1,25
1679,6	8,5	28	70,7	450	120	900	150	2	1,25
3248,7	9,6	11	85,3	620	200	850	200	1,37	1
5126,3	10,2	24	127	650	180	1400	220	2,1	1,2

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Умяк**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
112,1	3,1	9	15	130	30	160	25	1,2	0,8
482,3	4,2	12	23,0	200	45	300	40	1,5	0,8
759,2	5,2	21	40,0	320	50	550	50	1,7	1
1196,0	7,0	18	80	400	60	450	60	2,2	1

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Кильмезь**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
56,9	4,5	-	17,5	100	20	95	30	1,13	1,5
82,4	5,3	14	75,5	150	30	200	35	1,33	1,1
520,6	6,6	50	143,5	210	30	320	40	1,52	1,3
1395,3	8,5	20	151	400	100	750	100	1,87	1
1493,4	8,7	11	165	550	150	1000	160	1,81	1
2750,8	9,3	6	181	800	200	1600	200	2	1
3947,8	9,7	30	198,2	800	350	2000	400	2,5	1,1
4973,8	9,9	13	202	1200	450	2500	450	2,08	1
5061,8	10,1	6	218	1000	330	2000	460	2,5	1,4

Приложение 3

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Вала**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
198,3	6,8	-	10	200	40	225	60	1,13	1,5
1126,4	8	24	29	350	40	450	60	1,28	1,5
1552,4	8,5	13	39	400	100	600	100	1,45	1
1818,9	9	7	51,7	400	150	900	130	1,8	0,8
2106	9,3	7	58,6	500	200	1000	150	2	0,75
2566	9,5	4	69,3	500	180	1000	150	2	0,83
3145	9,6	6	73,8	500	150	1200	150	2,4	1
3968	9,7	3	78,8	600	200	1500	230	2,5	1,1
4500	9,8	6	82,8	800	200	1800	240	2,2	1,2
4893	9,9	6	97,2	800	250	1600	250	2	1
5499,6	10	8	111,2	1000	280	1800	300	1,8	1
5639	10,1	5	122,5	1000	300	2000	250	2	0,83
5811,6	10,2	8	137,5	1300	350	2500	400	1,9	1,1
6231,2	10,2	8	187,5	700	300	1500	250	2,1	0,83

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Сива (на территории Удмуртии)**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
1893,2	7,1	22	26	260	50	220	40	1,18	0,8
2159,0	8,6	23	46,1	560	60	280	50	2,0	0,8
3652,5	9,7	25	58,2	800	100	640	100	1,25	1
4870,0	10,9	30	72,0	1000	350	1800	350	1,15	1

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Вотка**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
112,1	4,3	18	16	125	30	200	25	1,6	0,8
482,3	6,4	12	32,5	200	50	300	40	1,5	0,8
759,2	пруд	-	53	-	-	-	-	-	-
1240,0	8,2	20	66	400	80	450	75	1,1	1,7

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Нылга**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
29	3,2	-	4	300	15		30	1,13	2
118	5,4	11	12,4	360	30	500	50	1,38	1,6
290	6,6	13	23	400	80	600	100	1,5	1,25
406	7,5	6	28	550	90	900	120	1,64	1,33
521,8	7,8	4	33,5	600	100	1000	140	1,66	1,4
744,6	7,9	6	39,5	600	100	1000	150	1,66	1,5
874,3	8	9	43,5	300	100	550	150	1,83	1,5
885,9	8,2	8	51	550	100	1000	160	1,81	1,6
980,3	8,3	11	57	600	120	1200	100	2	0,8
1069	8,4	14	62,5	500	100	1000	150	2	1,5
1142,11	8,4	5	70,5	500	120	1100	100	2,2	0,8

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Иж**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
120	4,58	59	4	200	20	240	30	1,2	1,5
155	4,8	17	13	220	25	260	40	1,18	1,6
320	5,3	36	27	230	50	325	60	1,3	1,2
422	5,32	16	37	280	50	450	70	1,43	1,4
503	6	11	43	300	60	470	75	1,57	1,25
704,5	7,8	31	57	350	60	680	75	1,9	1,25
1006	7,8	9	63	450	75	1000	80	2,2	1,1
1240	8,3	5	66	500	80	1000	85	2	1,1
1310	8,4	8	79	600	85	1200	100	2	1,2
2125,8	9,1	5	85	520	100	1200	120	2,3	1,2
2532,8	9,5	36	98	520	140	1100	150	2,1	1,1
2768,5	9,6	24	119	530	150	1150	150	2,2	1
3239,3	9,8	17	140	650	160	1250	150	1,9	0,9
3529,6	10	36	165	750	160	1300	150	1,7	0,9
3768,6	10,1	18	204	700	170	1500	165	2,1	1
5388,4	10,4	64	244	800	180	1250	180	1,6	1
5538,4	10,5	4	251	1000	170	2000	200	2	1,2
5691,5	10,6	12	270	1000	200	1750	250	1,75	1,25

Приложение 3

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Кыркымас**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
24	2,3	6	8	100	20	100	30	1,14	1,5
94	4,4	14	29	100	30	130	30	1,3	1
128,5	5,9	7	31	210	50	300	50	1,43	1
193,5	7	11	36	250	60	350	50	1,4	0,83
382,3	7,3	26	45	300	90	550	80	1,83	0,89
862,3	7,5	16	52	320	100	620	100	1,94	1
1417,8	7,7	31	71	350	110	900	110	2,5	1
2018	8,2	11	78	400	120	1000	100	2,5	0,83
2659,2	8,3	25	98,5	500	140	800	150	1,6	1,01
3028,9	8,6	12	107	650	150	1000	200	1,54	1,3

**Изменение морфометрических параметров свободных излучин
по длине р. Позимь**

Площадь водосбора	Порядок реки	Кол-во излучин	Расстояние от истока	Параметры излучин					
				L	h	l	r	l/L	r/h
87,1	3,1	12	14,5	70	15	80	30	1,1	2
112	4,8	20	17	100	20	150	35	1,1	1,7
292,2	6	27	23,5	150	30	180	35	1,2	1,2
441,3	6,7	32	31	250	50	410	75	1,64	1,5
684,5	7,4	26	41	300	75	550	75	1,8	1
815,8	7,6	39	51	350	100	850	100	2,4	1

**Значение площадей размыва на реках Удмуртии
за период 2001-2005 г.г.**

Ключевой участок	Средние значения площадей размыва, м2					Средние значения удельных площадей, м2/м				
	2001	2002	2003	2004	2005	2001	2002	2003	2004	2005
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Чепца (Барни)	-	108,0	78,8	56,2	100,5	-	0,58	0,43	0,30	0,54
Чепца (Дебесы-1)	42,4	29,20	19,20	17,0	31,5	0,33	0,22	0,15	0,13	0,24
Чепца (Дебесы-2)	-	135,5	127,6	92,5	146,9	-	0,68	0,64	0,46	0,74
Чепца (Адам-1)	122,5	129,4	56,25	45,2	132,8	0,61	0,65	0,28	0,22	0,66
Чепца (Адам-2)	-	154,7	130,4	95,2	168,3	-	0,77	0,65	0,47	0,84
Чепца (Адам-3)	-	181,4	105,2	100,0	194,5	-	0,60	0,35	0,33	0,65
Чепца (Льноз-д)	111,4	156,5	92,0	82,2	161,3	0,44	0,62	0,37	0,33	0,64
Кильмезь (Гол. Язок)	86,9	97,0	85,2	72,1	73,0	0,75	0,84	0,74	0,63	0,63
Лумпун -1	-	-	40,8	32,6	50,2	-	-	0,41	0,33	0,50
Лумпун-2	-	-	29,3	25,1	36,6	-	-	0,22	0,19	0,28
Ува-1	31,7	73,68	74,5	23,25	27,6	0,25	0,59	0,60	0,18	0,22
Ува-2	31,5	36,12	27,6	12,5	24,7	0,30	0,35	0,26	0,12	0,23
Вала-1	29,6	38,5	42,8	50,0	75,6	0,14	0,19	0,21	0,25	0,37
Вала-2	105,6	158,3	85,6	100,5	144,0	0,48	0,73	0,39	0,46	0,66
Нылга	82,1	115,3	75,5	62,5	146,0	0,27	0,38	0,25	0,21	0,49
Кырыкмас-1	21,5	71,12	38,4	23,7	39,5	0,09	0,30	0,16	0,10	0,17
Кырыкмас-2	21,5	39,36	35,6	56,25	70,0	0,1	0,18	0,17	0,26	0,33
Быдвайка	12,0	32,16	11,6	25,0	13,5	0,09	0,24	0,08	0,19	0,10
Шаркан-1	-	7,04	38,0	16,0	23,8	-	0,13	0,69	0,32	0,44
Шаркан-2	-	17,44	18,0	18,75	22,4	-	0,22	0,23	0,23	0,28
Билибка	-	15,4	12,5	18,75	23,6	-	0,31	0,25	0,37	0,46
Сива-1	16,9	46,9	24,4	81,25	172,4	0,06	0,16	0,09	0,29	0,61
Сива-2	95,1	116,0	100,3	93,75	102,5	0,38	0,47	0,41	0,38	0,41

Приложение 5

**Изменение параметров излучин р. Лекмы
(на участке от р. Пажма до устья) в процессе их развития
за период с 1933 по 1987 г.г.**

Годы	Параметры излучин					
	L, м	l, м	h, м	r, м	l/L	r/h
1	2	3	4	5	6	7
Излучина №1						
1933	250	350	150	50	1,4	0,3
1987	230	350	140	40	1,5	0,3
Излучина №2						
1933	400	550	100	100	1,4	1,0
1987	430	550	120	110	1,23	0,9
Излучина №3						
1933	450	700	175	150	1,6	0,8
1987	480	710	170	170	1,5	1,0
Излучина №4						
1933	200	230	75	50	1,2	0,7
1987	270	240	90	60	0,9	0,7
Излучина №5						
1933	850	1360	150	250	1,6	1,7
1987	870	1360	170	280	1,5	1,6
1	2	3	4	5	6	7
Излучина №6						
1933	200	350	50	50	1,5	1,0
1987	240	350	75	70	1,5	0,9
Излучина №7						
1933	500	670	100	100	1,3	1,0
1987	530	680	120	110	1,2	0,9
Излучина №8						
1933	350	650	225	100	1,7	0,4
1987	390	660	240	120	1,6	0,5
Излучина №9						
1933	550	690	100	150	1,3	1,5
1987	560	700	120	160	1,2	1,3
Излучина №10						
1933	600	730	250	150	1,2	0,6
1987	615	740	250	140	1,2	0,6
Излучина №11						
1933	550	950	200	200	1,7	1,0
1987	620	970	240	230	1,6	0,9

**Изменение параметров излучин р. Лекмы
(на участке от р. Пажма до устья) в процессе их развития
за период с 1933 по 1987 г.г.**

1	2	3	4	5	6	7
Излучина №12						
1933	300	550	125	50	1,8	0,4
1987	370	580	140	70	1,6	0,5
Излучина №13						
1933	300	490	100	50	1,6	0,5
1987	310	500	110	70	1,6	0,6
Излучина №14						
1933	600	760	100	200	1,3	2,0
1987	610	770	100	220	1,2	2,2
Излучина №15						
1933	350	570	100	50	1,6	0,5
1987	365	580	110	50	1,5	0,45
Излучина №16						
1933	600	850	150	100	1,4	0,7
1987	615	860	150	110	1,3	0,7
Излучина №17						
1933	400	550	125	100	1,3	0,8
1987	470	570	140	120	1,2	0,8
Излучина №18						
1933	550	850	125	200	1,5	1,6
1987	510	860	130	210	1,7	1,6
Излучина №19						
1933	300	580	125	50	1,9	0,4
1987	330	600	140	60	1,8	0,4
Излучина №20						
1933	450	840	175	200	1,9	1,1
1987	460	860	180	210	1,8	1,2
Излучина №21						
1933	250	400	125	100	1,6	0,8
1987	290	410	140	100	1,4	0,7
Излучина №22						
1933	450	770	175	100	1,7	0,6
1987	500	780	190	120	1,6	0,6
Излучина №23						
1933	400	650	175	100	1,6	0,6
1987	430	660	185	120	1,5	0,6

Приложение 5

**Изменение параметров излучин р. Лекмы
(на участке от р. Пажма до устья) в процессе их развития
за период с 1933 по 1987 г.г.**

1	2	3	4	5	6	7
Излучина №24						
1933	450	800	125	150	1,8	1,2
1987	490	815	130	160	1,7	1,2
Излучина №25						
1933	400	600	225	100	1,5	0,4
1987	410	600	230	110	1,5	0,5
Излучина №26						
1933	400	550	100	100	1,4	1,0
1987	465	560	110	100	1,2	0,9
Излучина №27						
1933	400	650	250	100	1,6	0,4
1987	445	655	260	110	1,5	0,4
Излучина №28						
1933	300	500	100	150	1,7	1,5
1987	368	510	110	150	1,4	0,4
Излучина №29						
1933	400	780	125	100	1,9	0,8
1987	440	790	130	100	1,8	0,7
Излучина №30						
1933	600	1000	100	100	1,7	1,0
1987	628	1010	110	100	1,6	0,9
Излучина №30						
1933	350	600	200	200	1,7	1,0
1987	370	610	210	205	1,6	0,9
Излучина №31						
1933	450	800	100	150	1,7	1,5
1987	450	810	100	160	1,8	1,6
Излучина №32						
1933	350	550	75	150	1,6	2,0
1987	350	550	80	150	1,5	1,8
Излучина №33						
1933	500	800	275	300	1,5	1,1
1987	520	800	280	310	1,6	1,1
Излучина №34						
1933	550	1200	125	100	2,18	0,8
1987	590	1200	130	110	2,03	1,6

**Изменение параметров излучин р. Лекмы
(на участке от р. Пажма до устья) в процессе их развития
за период с 1933 по 1987 г.г.**

1	2	3	4	5	6	7
Излучина №35						
1933	300	550	225	50	1,8	0,2
1987	310	560	235	55	1,8	0,2
Излучина №36						
1933	250	300	150	50	1,2	0,3
1987	270	300	155	50	1,1	0,3
Излучина №37						
1933	450	850	125	50	1,7	0,4
1987	450	850	130	50	1,8	0,4
Излучина №38						
1933	500	1300	150	100	2,6	0,7
1987	510	1300	150	110	2,5	0,7

**Изменение параметров излучин р. Сады – левого притока р.
Лекмы (на участке от впадения р. Юрки до устья) в процессе их
развития за период с 1933 по 1987 г.г.**

Годы	Параметры излучин					
	L, м	l, м	h, м	r, м	l/L	r/h
1	2	3	4	5	6	7
Излучина №1						
1933	150	100	50	50	0,7	1,0
1987	160	100	50	55	0,6	1,1
Излучина №2						
1933	250	300	50	100	1,2	2,0
1987	258	300	50	110	1,2	2,2
Излучина №3						
1933	250	310	100	50	1,2	0,5
1987	255	310	100	50	1,2	0,5
Излучина №4						
1933	250	380	100	50	1,5	0,5
1987	270	390	100	55	1,4	0,5
Излучина №5						
1933	250	300	50	100	1,2	2,0
1987	270	300	55	100	1,1	1,8

Приложение 5

Изменение параметров излучин р. Сады – левого притока р. Лекмы (на участке от впадения р. Юрки до устья) в процессе их развития за период с 1933 по 1987 г.г.

1	2	3	4	5	6	7
Излучина №6						
1933	400	730	100	150	1,8	1,5
1987	450	730	110	150	1,6	1,4
Излучина №7						
1933	450	600	100	150	1,2	1,5
1987	460	600	110	150	1,3	1,4
Излучина №8						
1933	450	550	100	200	1,2	2,0
1987	450	550	100	200	1,2	2,0
Излучина №9						
1933	200	330	50	50	1,6	1,0
1987	200	330	50	50	1,6	1,0
Излучина №10						
1933	250	150	50	100	0,6	2,0
1987	310	160	50	110	0,5	2,2
Излучина №11						
1933	150	200	100	100	1,3	1,0
1987	180	200	110	100	1,1	0,9
Излучина №12						
1933	250	320	50	50	1,3	1,0
1987	220	320	60	40	1,4	0,7
Излучина №13						
1933	200	410	100	50	2,0	0,5
1987	220	400	100	60	1,8	0,6
Излучина №14						
1933	300	350	100	50	1,2	0,5
1987	330	350	100	55	1,0	0,5
Излучина №15						
1933	300	500	100	50	1,7	0,5
1987	310	500	100	50	1,6	0,5

Динамика русловых деформаций на р. Убыть (на участке от д. Палагай до устья) за период с 1933 по 1987 г.г.

№	Максим. смещение, м	Среднегодовая скорость смещения, м/год	№	Максим. смещение, м	Среднегодовая скорость смещения, м/год
1	2	3	1	2	3
1	30	0,55	41	20	0,37
2	20	0,37	42	40	0,74
3	25	0,46	43	70	1,29
4	35	0,64	44	30	0,55
5	40	0,74	45	40	0,74
6	20	0,37	46	30	0,55
7	20	0,37	47	25	0,46
8	25	0,46	48	30	0,55
9	20	0,37	49	35	0,64
10	25	0,46	50	35	0,64
11	25	0,46	51	40	0,74
12	30	0,55	52	30	0,55
13	18	0,33	53	28	0,46
14	40	0,74	54	25	0,46
15	45	0,83	55	30	0,55
16	30	0,55	56	20	0,37
17	20	0,37	57	25	0,46
18	30	0,55	58	15	0,27
19	40	0,74	59	25	0,46
20	20	0,37	60	30	0,55
21	20	0,37	61	30	0,55
22	20	0,37	62	30	0,55
23	25	0,46	63	35	0,64
24	50	0,92	64	30	0,55
25	25	0,46	65	35	0,64
26	32	0,59	66	30	0,55
27	40	0,74	67	20	0,37
28	30	0,55	68	70	1,29
29	50	0,92	69	30	0,55
30	18	0,33	70	25	0,46
31	15	0,27	71	20	0,37
32	28	0,50	72	20	0,37
33	20	0,37	73	20	0,37
34	20	0,37	74	25	0,46
35	30	0,55	75	25	0,46
36	20	0,37	76	20	0,37
37	30	0,55	77	30	0,55
38	20	0,37	78	25	0,46
39	25	0,46	79	20	0,37
40	60	1,1	80	25	0,46

Приложение 6

Динамика русловых деформаций на реках бассейна р. Ижа за период с 1969 по 1984 г.г.

№	Максим. смещение, м	Среднегодовая скорость смещения, м/год
р. Иж		
1	2	3
1	3,0	0,2
2	2,5	0,16
3	24,7	0,4
4	17,1	0,14
5	10,0	0,6
6	13,5	0,9
7	15,2	1,01
8	22,0	0,46
9	11,0	0,73
10	22,3	0,48
11	15,0	1,0
12	14,7	0,98
13	9,8	0,65
14	16,2	1,08
15	6,5	0,43
16	7,0	0,46
17	12,3	0,82
18	4,0	0,26
1	2	3
19	22,5	1,5
20	14,2	0,94
21	10,7	0,71
22	9,3	0,62
23	10,1	0,67
24	8,7	0,58
25	5,4	0,36
26	15,0	1,0
27	3,0	0,2
28	4,2	0,28
29	8,1	0,54
30	9,0	0,6
31	13,9	0,93
32	4,2	0,28

№	Максим. смещение, м	Среднегодовая скорость смещения, м/год
33	17,2	1,15
34	13,0	0,87
35	4,2	0,28
36	7,0	0,47
37	1,2	0,08
38	10,3	0,69
39	13,6	0,91
40	16,2	1,08
41	8,7	0,58
р. Позимь		
1	2	3
1	7,9	0,53
2	2,25	0,15
3	10,3	0,69
4	1,2	0,08
5	4,35	0,29
6	2,7	0,18
7	11,8	0,79
8	1,8	0,12
9	10,5	0,7
10	2,85	0,19
11	9,75	0,65
р. Кырыкмас		
1	2	3
1	33,0	2,2
2	21,0	1,4
3	24,0	1,6
4	24,0	1,6
5	21,0	1,4
6	34,5	2,3
1	2	3
7	27,0	1,8
8	40,5	2,7
9	45,0	3,0
10	21,0	1,4

Динамика русловых деформаций на реках бассейна р. Ижа за период с 1969 по 1984 г.г.

р. Кырыкмас		
1	2	3
11	31,5	2,1
12	7,5	0,5
13	19,5	1,3
14	21,0	1,4
15	27,0	1,8
16	12,0	0,8
17	22,5	1,5
18	14,1	0,94
19	10,5	0,7

р. Кырыкмас		
1	2	3
20	4,8	0,32
21	8,7	0,58
22	16,5	1,1
23	10,2	0,68
24	9,45	0,63
25	18,0	1,2
26	3,45	0,23
27	7,2	0,48
28	5,4	0,36
29	18,0	1,2

Иван Иванович Рысин
Лариса Николаевна Петухова

**РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ
НА РЕКАХ УДМУРТИИ**

Подписано в печать 9.11.2006. Формат 60x84/16.
Гарнитура Times. Уч.-изд. л. 8,28. Усл. печ. л. 10,51.
Тираж 300 экз. Заказ 195.

Издательство «Ассоциация «Научная книга»
Изд. лиц. № 05405 от 16.07.2000 г.

Отпечатано в типографии «Книжное дело».
426034, г. Ижевск, ул. Коммунаров, 287, оф. 63.
Тел.: (3412) 52-53-15.