

На правах рукописи

ПЕТУХОВА Лариса Николаевна

**МОРФОДИНАМИКА РУСЕЛ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК
УДМУРТИИ**

Специальность: 25.00.25 – Геоморфология и эволюционная география

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Казань, 2006

Работа выполнена на кафедре физической географии и ландшафтной экологии географического факультета Удмуртского государственного университета

ВВЕДЕНИЕ

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

Русловая деятельность активно проявляется в пределах равнинной территории Удмуртии, расчлененной густой сетью рек, общая протяженность которых составляет почти 30 тыс. км. Изучению рек республики 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 можно найти в работах, посвященных рекам северной Евразии, Русской равнины, бассейну Волги. Исследования русловых процессов на малых реках, преобладающих на территории Удмуртии, вообще 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.

Цель и задачи работы. Исходя из актуальности и недостаточной изученности рассматриваемых вопросов, *целью* работы является выявление территориальных особенностей и закономерностей морфодинамики русел малых и средних рек Удмуртии.

В соответствии с поставленной целью решались следующие *задачи*:

1. Анализ природных условий и факторов, определяющих развитие русел рек на территории Удмуртии.
2. Определение морфологических и морфометрических характеристик русел рек с помощью картометрических исследований и на их основе выделение основных морфодинамических типов;
3. Анализ изменения основных параметров излучин по длине реки и установление гидролого-морфологических зависимостей;

4. Исследование территориальных и временных особенностей развития горизонтальных русловых деформаций малых и средних рек Удмуртии;

5. Определение роли природных и антропогенных факторов в развитии горизонтальных русловых деформаций;

6. Районирование территории Удмуртии по условиям развития и морфодинамике русел малых и средних рек.

Теоретической основой работы явились принципы, положения и разработки ведущих отечественных ученых – родоначальников и последователей русловедения – Н.И. Маккавеева (1955, 1971, 1986), И.В. Попова (1954, 1964, 1965), Н.Е. Кондратьева (1954, 1959, 1982), Р.С. Чалова (1979, 1980, 1991, 1996, 1997, 1998, 2000, 2003), Н.А. Ржаницына (1960, 1985), А.В. Чернова (1983, 2003, 2006), К.М. Берковича (1982, 1990, 1992, 2000, 2001) и др.

Методика исследований и информационная база. Основная часть работы написана на основе собственного материала, полученного автором в результате дистанционных и натурных наблюдений в течение 1999-2006 гг. Полевые исследования проводились на 55 ключевых участках, охватывающих реки разного порядка и разнообразные природные ландшафты. Кроме того, исходными данными для выполнения работы послужили литературные источники, картографические и аэрокосмические материалы - использовались крупномасштабные топографические карты (1:10000, 1:25000, 1:50000 масштабов), разновременные аэрофототопопланшеты масштаба 1:10000 (1933, 1934 и 1987 гг.), аэрофотоснимки 1:40000 масштаба 1957 года залета и космические снимки территории 1999 и 2005 годов. Исследовались все реки Удмуртии, имеющие длину более 10 км. Общее количество исследованных участков рек составило 245, а проанализированных излучин -3827.

Основными методами исследований, используемыми в данной работе, явились: сравнительно-описательный, картографический, метод аналогий, системный анализ, аэрокосмический метод, метод ГИС-технологий, применялись методы математической статистики (данные обрабатывались с помощью компьютерных программ «Excel-2003», «Statistika 6.0» и др.) и т.д.

Научная новизна работы. В работе впервые для территории Удмуртии проведен анализ морфодинамики русел малых и средних рек. В результате выполненной работы:

1. Для всех рек Удмуртии длиной более 10 км определен морфодинамический тип русла;

2. Для излучин изучаемых рек выявлены особенности гидролого-морфологических зависимостей;

3. Заложена система мониторинга по изучению динамики русловых процессов;

4. Для малых и средних рек Удмуртии впервые определены показатели доли размываемых берегов, интенсивности горизонтальных русловых деформаций;

5. Выявлено влияние природных и антропогенных факторов на развитие русловых деформаций;

6. На основе выявленных закономерностей проведено районирование Удмуртии по условиям развития и морфодинамике русел рек.

Практическое значение работы. Выявленные закономерности развития меандрирующих рек республики позволяют разрабатывать системы регулирования русел, в наиболее полной мере обеспечивающие сохранение рек как природных объектов и экологическую безопасность их эксплуатации в хозяйственных целях. Результаты, полученные в ходе исследования, могут быть применены в Генеральной схеме противоэрозионных мероприятий Удмуртской Республики, в пропаганде охраны и рационального использования земельных ресурсов и малых рек. Материалы исследований включены в отчет «О результатах работ по изучению экзогенных геологических процессов на территории Удмуртской республики» (гос. рег. №70-95-2/4(296), Удмуртская ГРЭ ГПИ «Волгагеология», 2000 г. Материалы, изложенные в диссертации используются в учебном процессе при чтении лекций по геоморфологии, гидрологии, геоэкологии, физической географии России, современным экзогенным процессам.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Особенности геолого-геоморфологических условий территории Удмуртии определяют развитие широкопойменных русел, среди которых сегментные излучины значительно преобладают над петлеобразными и синусоидальными, а также прямолинейными участками.

2. Морфолого-морфометрические характеристики русел и зависимости между параметрами излучин определяются порядком реки, степенью развитости излучин и условиями водосбора.

3. Характер гидролого-морфологических зависимостей на малых реках отличается от таковых на средних и крупных реках.

4. Интенсивность русловых деформаций и доля размываемых берегов зависят не только от гидрологических характеристик водотока, но и от морфодинамического типа русла, его морфолого-морфометрических характеристик, природных условий водосбора и хозяйственной деятельности.

5. Связь между абсолютными значениями скоростей горизонтальных русловых деформаций и порядком реки является положительной экспоненциальной, а с относительными скоростями размыва – отрицательной экспоненциальной.

6. Территориальные различия в проявлении горизонтальных русловых деформаций и в распространении морфодинамических типов русел позволили выделить в пределах территории Удмуртии 2 района и 8 подрайонов.

Апробация работы. Результаты исследований и основные положения диссертации докладывались на научно-практических конференциях Межвузовского научно-координационного совета по проблемам эрозионных, русловых и устьевых процессов (Санкт-Петербург, 2001; Краснодар, 2002; Курск, 2003; Белгород, 2004; Ульяновск, 2005; Чебоксары, 2006); на

межвузовском рабочем совещании «Развитие эрозионных и русловых процессов в бассейне верхней и средней Волги» (Ижевск, 2005); на IV семинаре молодых ученых ВУЗов, объединяемых советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (Пермь, 2002); на международной научно-практической конференции «География и регион» (Пермь, 2002); на международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные вопросы изучения и использования почвенно-земельных ресурсов» (Минск, 2003); на международном симпозиуме «Перенос наносов в эрозионно-русловых системах» (Москва, 2004); на Всероссийской научной конференции «Современные глобальные и региональные изменения геосистем» (Казань, 2004); на Международном семинаре «Русловые процессы в горных, предгорных и равнинных реках» (г. Краков, Польша, 2004); на Всероссийской научной конференции «Современные аспекты экологии и экологического образования» (Казань, 2005); на 5, 6, 7-ой Российской университетско-академической научно-практической конференции (Ижевск, 2001, 2003, 2005), ежегодном семинаре МГУ «Маккаевские чтения» (Москва, 2005), на 29-м Пленуме геоморфологической комиссии РАН (Ижевск, 2006), на международном семинаре «Эрозионно-аккумулятивные процессы и речные системы освоенных регионов» (Львов, 2006).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 30 работ общим объемом 14,1 п.л., из них 17 статей, объемом 10,6 п.л., 1 монография, объемом 9,1 п.л.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав основного текста и заключения общим объемом 180 страниц. Работа содержит 30 таблиц и 67 рисунков по тексту, список литературы из 170 наименований. Кроме того, включает приложение (22 стр.), состоящее из 23 таблиц и 8 рисунков.

Автор выражает глубокую благодарность доктору географических наук, профессору И.И. Рысину, под руководством которого выполнена диссертация. Автор признателен д.г.н. проф. В.И. Стурману, к.г.н., доц. А.Г. Илларионову, к.г.н., доц. И.Е. Егорову, к.г.н., доц. А.А. Перевощикову за ценные советы и критические замечания по диссертации, искренне благодарен сотрудникам, аспирантам, студентам и выпускникам географического факультета УдГУ, принимавшим в разные годы участие в полевых работах.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Физико-географические условия формирования русел и факторы развития русловых процессов на территории Удмуртии

Развитие речных русел на территории Удмуртской Республики (УР) 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 четвертичного периода определяет преобладание свободных условий руслоформирования и развитие широкопойменных русел.

Основным ведущим фактором русловых процессов является сток воды, определяющий главные особенности руслоформирующей деятельности реки. Реки республики характеризуются высокой водностью: величина модуля стока изменяется от 4,0-4,8 л/с·км² на реках южной части республики до 8,5 и более л/с·км² на севере. В водном режиме рек четко проявляются весеннее половодье, летняя межень, летние и осенние дождевые паводки, зимняя межень. В период весеннего половодья проходит в среднем 60-70% годового стока. В это время совершается основной перенос донных наносов и русловые деформации. Территория УР характеризуется наличием среднего и нижнего интервалов руслоформирующих расходов $Q_{ф}$, протекающих в бровках поймы и верхнего интервала $Q_{ф}$, проходящего при затопленной пойме. $Q_{ф}$, проходящие в пределах русла, способствуют формированию излучин, широкому распространению крутых излучин сложных форм (петлеобразных, синусоидальных). Отличительной особенностью большинства изучаемых рек является крайне низкая обеспеченность верхнего интервала, что является основной причиной слабого развития прорванных излучин и разветвленных русел.

Важным фактором русловых процессов, помимо стока воды, является сток наносов. Среднегодовая мутность рек УР колеблется в пределах 70-160 г/м³ (в весенний период значения ее достигают 600-800 г/м³, а в отдельных случаях 1000 г/м³). Среднегодовые модули стока взвешенных наносов рек изменяются от 30 т/год·км² и менее в северных и западных районах до 90 т/год·км² и более в южных. Величины годового стока влекомых наносов для рек территории УР составляют 40-120 тыс. т. По величине модуля стока влекомых наносов территория характеризуется повышенными значениями данного показателя – 10-20 т/год·км². Среди влекомых наносов и донных отложений по гранулометрическому составу на реках исследуемой территории преобладают песчаные и песчано-галечные.

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 севера на юг и с запада на восток. Для рек крайнего юга Удмуртии доля стока влекомых наносов составляет <25%. Реки

восточной и центральной частей региона характеризуются повышенной долей стока влекомых наносов – 25-50%. Самая большая величина доли стока влекомых наносов - >50% - характерна для западных, северо-западных районов. В широкопойменных руслах с относительно высокими значениями стока влекомых наносов связано преобладание излучин, минимальные показатели характеризуют повышенную встречаемость прямолинейного русла.

Глава 2. Методика исследования и фактический материал

Для изучения морфодинамики русел рек, русловых процессов использовались полевые, картографические, расчетные методы исследований.

Полевые исследования проводились на 55 ключевых участках, достаточно равномерно распределенных по исследуемой территории, охватывающих реки разного порядка и разнообразные природные ландшафты (рис.1).

На реках в пределах ключевых участков были определены основные параметры излучин, сделаны описания данных территорий. На основе метода стержневых реперов или марок, проведения тахеометрической съемки береговых уступов были проведены работы по изучению скоростей бокового смещения русел. Общее количество реперов и марок, заложенных на ключевых участках – около 300. Для 30 ключевых участках проведена ежегодная тахеометрическая съемка, составлены топопланы береговых уступов.

По топографическим картам 1:10000, 1:25000, 1:50000 масштаба были определены различные морфологические и морфометрические характеристики 3827 отдельных излучин; рассчитаны модальные значения основных параметров излучин – шага (L), радиуса (r), стрелы прогиба (h), длины излучины (l) и осредненные значения безразмерных параметров – коэффициента развитости (l/L) и коэффициента формы (r/h) для 245 участков рек.

Путем сопоставления разновременных топографических карт и аэрофотоматериалов (сравнивались крупномасштабные аэрофототопокарты масштаба 1:10000 полученные по залетам 1933, 1934 и 1987 г.г., аэрофотоснимки 1:40000 масштаба 1957 г., топографические карты масштаба 1:50000 1984 года и космические снимки территории 1999 и 2005 г.г) были определены: среднегодовые скорости бокового смещения, м/год; площади размытых участков (m^2), определенные методом взвешивания; величины изменения основных параметров излучин – Δl , ΔL , Δh , $\Delta l/L$; величина и направленность продольного и поперечного смещения русел. Данный вид работ проведен для $\frac{3}{4}$ территории УР (рис.1).

Для изучаемых рек был проведен гидролого-морфологический анализ. Значения гидрологических показателей (среднегодовые расходы, расходы и уровни весеннего половодья и др.) были предоставлены Удмуртским центром по гидрометеорологии. Но ввиду недостаточной гидрологической изученности исследуемых рек (имеется лишь 9 гидрологических постов на изучаемых реках) для выявления эмпирических зависимостей

использовались показатели длины реки от истока, площадь водосбора и порядок реки.

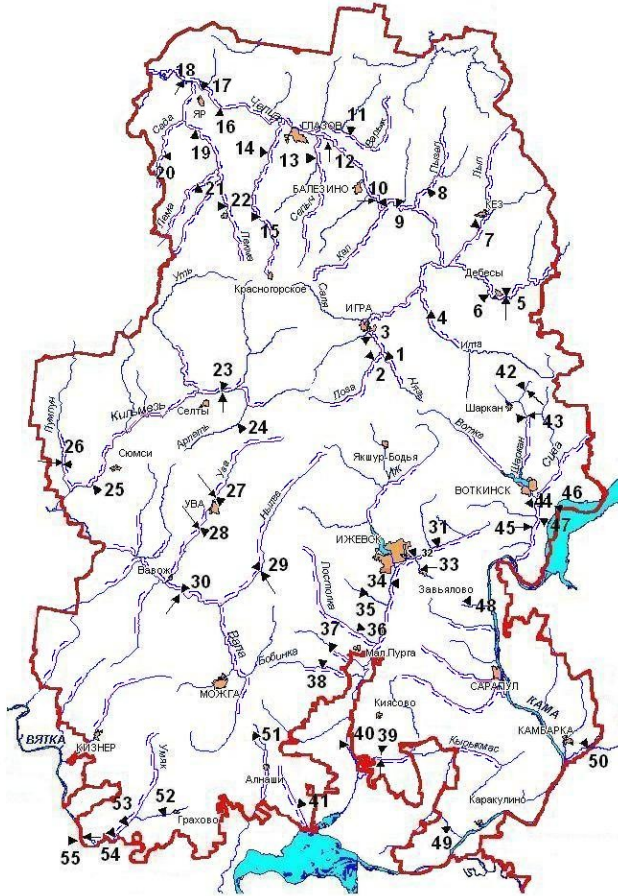


Рис. 1. Карта-схема расположения ключевых участков по изучению морфодинамики русел рек и участков сравнения разновременных картографических и аэрофотоматериалов

▼ - места расположения реперов и марок; ▲ - места тахеометрической съемки; - - - - - участки сравнения разновременных картографических материалов на реках

Реки республики достаточно разнообразны по величине, водности, ряду морфологических и морфометрических показателей. Порядок рек (по схеме А. Шайдеггера) изменяется от 1-2 до 15. По О.М. Пахомовой (2002) 10-й порядок является границей между малыми и средними реками, а 14-й - между средними и большими. Среди изучаемых на территории Удмуртии

преобладают реки 4-10 порядков, и, практически все входят в группу малых рек. Но внутри этой группы показатели морфодинамики 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.1).

Таблица 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

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.

Глава 3. Типы русел и их распространение на территории Удмуртии

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; Шукин, 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, Снисченко, 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.

Наиболее широко распространены морфодинамические классификации русел рек, основанные на различиях в очертании речных русел в плане и соответствующих им горизонтальных деформаций. Последней из предложенных отечественных классификаций русел рек подобного типа 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, 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. На основе данной морфодинамической классификации проводится выделение типов русел на реках Удмуртии.

Меандрирующее русло в условиях свободного развития русловых деформаций (широкопойменные русла) составляет 78% от общей протяженности рек Удмуртии; 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 (табл. 2).

Таблица 2

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

Морфодинамический тип русла	Чепца	Вала	Кильмезь	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, синусоидальные излучины	17	13	14	8	9	3	-	10
д) пологие и прорванные	10	6	9	12	2	-	-	6

Благодаря широкому развитию процессов меандрирования наиболее распространенной формой русла на территории УР являются излучины. Среди них преобладают сегментные излучины, доля которых в среднем по республике составляет 62%. По отдельным речным бассейнам республики доля их колеблется от 56% в бассейне Чепцы до 69-72% на притоках Камы и Вятки. Чаще на реках встречаются все три стадии развития сегментных излучин – от пологих до крутых. Значительная доля приходится на пологие излучины: 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%).

Доля петлеобразных и синусоидальных излучин на территории Удмуртии высока - составляет 10% от суммарной протяженности рек и 13% среди различных видов излучин. Широкому распространению 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 УР. Наибольшее их количество характерно для рек бассейнов Чепцы, Кильмези, Валы – 13-17% (табл. 1). Среди отдельных рек со значительной протяженностью излучин русла данного типа можно отметить Лозу, Лекму, Чепцу, Иж, Лумпун, Кильмезь.

Разветвленные русла не имеют самостоятельного значения. Острова и осередки встречаются и в меандрирующих, и в прямолинейных руслах (русловая многоруканность), 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 изучаемого региона. Часто участки разветвленного русла могут возникать при спрямлении излучин, развитии прорванных излучин, образуя разветвлено-извилистое русло. Но из-за крайне низкой обеспеченности верхнего интервала руслоформирующих расходов на анализируемых реках данная разновидность разветвленного русла представлена очень слабо. Можно встретить такие формы русла на реках Чепца, Кильмезь, Вала, Сива.

Незначительное 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 бассейнах рек Чепца, Лоза, Ита, характерен для верховий Вятки и Камы.

Прямолинейные русла на реках УР встречаются: 1) в верхнем течении рек, где они не успели еще получить от размыва дна и берегов и с площади водосбора достаточное для образования групп гряд количество твердого материала; 2) спрямление русла происходит при встречном размыве берегов на крыльях петлеобразных излучин (данная разновидность прямолинейного русла часто встречается среди меандрирующего русла Кильмези, Валы, Ижа и др. средних и крупных рек республик); 3) часто причиной формирования прямолинейного русла является расположение потока вдоль коренного берега: такого рода участки встречаются в среднем и нижнем течении рр. Чепцы, Кильмези и др.

На основе полученных данных о морфодинамических типах русел рек была построена карта их распространения (рис. 2), на которой 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.

Глава 4. Гидролого-морфологический анализ и динамика русел рек Удмуртии

Величины основных морфологических и морфометрических параметров излучин на реках Удмуртии изменяются в значительных пределах, возрастая с увеличением порядка водотока. При неизменности показателей водности 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 (Значение коэффициента корреляции при этом составляет порядка 0,9).

Результаты исследований гидролого-морфологических зависимостей показали, что параметры излучин имеют тесную линейную связь с показателями расходов воды (руслоформирующие, среднегодовые, руслонаполняющие расходы, расходы воды в половодье и т.д.) и величинами их характеризующими (площадь водосбора, длина реки, порядок водотока и т.д.).

Основные параметры излучин изменяются по длине реки с увеличением площади и порядка. Но только радиус кривизны и шаг излучин увеличиваются вниз по течению (рис.3). Изменение средних значений стрелы прогиба и длины излучины при общей тенденции к увеличению зависит от трансформации преобладающей формы излучин, связанной со степенью их развитости (рис.4).

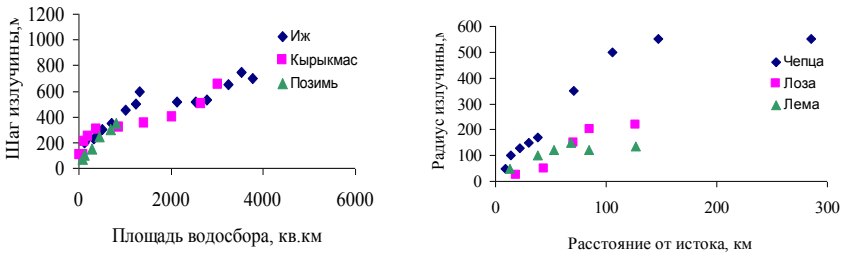


Рис. 3. Изменение радиуса и шага излучин на реках Удмуртии

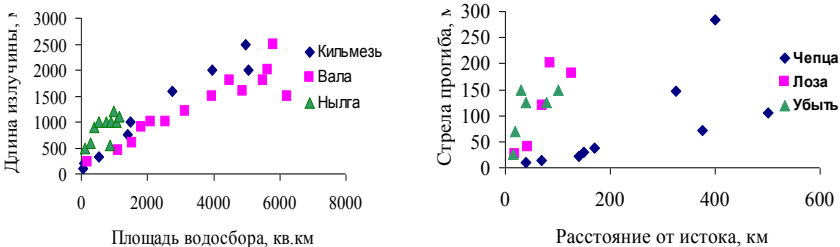


Рис. 4. Изменение длины и стрелы прогиба излучин на реках Удмуртии

Связь параметров излучин с водностью тесная - $R=0,7-0,9$. 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 (рис.5).

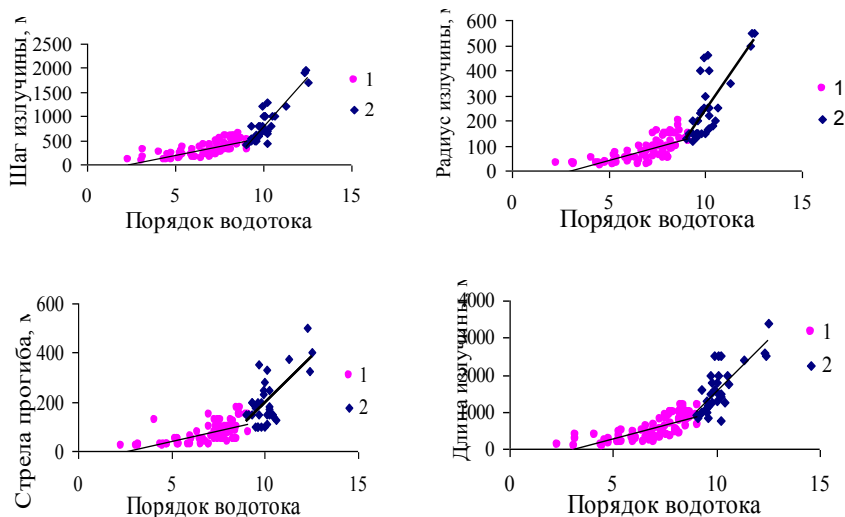


Рис. 5. Изменение параметров свободных излучин на реках различных порядков: 1- порядок до 9-го; 2- порядок выше 9-го

Морфологические и морфометрические параметры излучин, в целом русло реки, испытывают постоянные изменения под влиянием природных и антропогенных факторов. Излучины смещаются в продольном и поперечном направлении. В продольном направлении большинство всех излучин смещается вниз по течению реки (трансгрессивно). 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).

Скорости и масштабы развития горизонтальных русловых деформаций можно характеризовать различными показателями. Один из них – отношение суммарной протяженности участков размывов правого и левого берега ко всей длине оцениваемого отрезка русла, или доля размываемых берегов (D_{pb}) (%). На реках Удмуртии данный показатель изменяется в широких пределах – 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. 3), на отдельных участках русел рек увеличиваясь до 90-100%.

Таблица 3

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 в пределах изучаемой территории 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 Вала, 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. 3). Реки, протекающие по лесистой местности, характеризуются минимальными показателями доли размываемых берегов.

Еще один показатель, характеризующий скорости и масштабы развития горизонтальных русловых деформаций - интенсивность или скорость плановых смещений русла. Анализ полученных за семь лет (2000-2006 г.г.) полевых данных свидетельствует о большом диапазоне скоростей бокового размыва. При этом имеются существенные различия по рекам, отличающимся размерами (порядком, водоносностью и т.д.) (табл. 4, рис.6).

Таблица 4

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

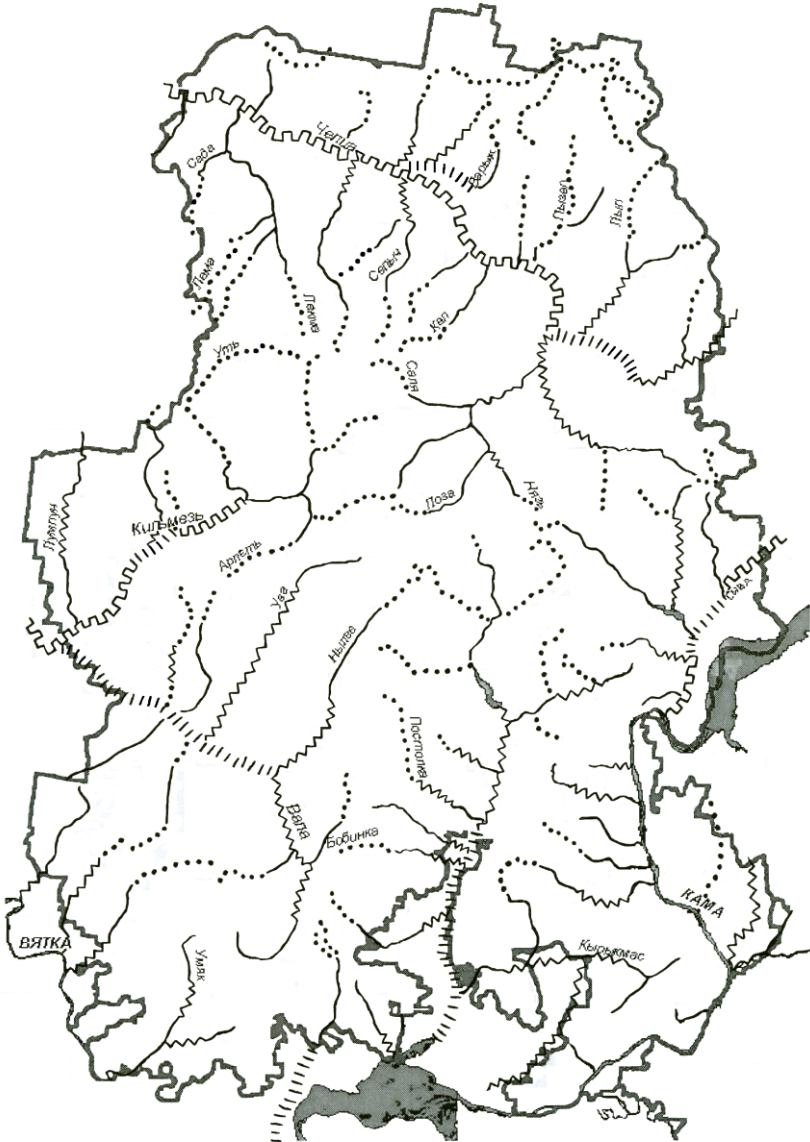


Рис. 6. Средняя многолетняя интенсивность русловых деформаций на малых и средних реках Удмуртии (м/год)

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

По данным стационарных наблюдений наибольшие скорости размыва характерны для рек с порядком выше 9 (III группа). Максимальные значения размыва, наблюдаемые здесь, достигают 5-10 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) 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, Кырьмас.

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.

Аналогичные результаты получены при сопоставлении разновременных аэрофотоснимков и фотопланов.

Интенсивность проявления горизонтальных русловых деформаций зависит прежде всего от гидрологических характеристик водотока: с увеличением водности растут показатели интенсивности ($R=0,65-0,9$) (рис.7).

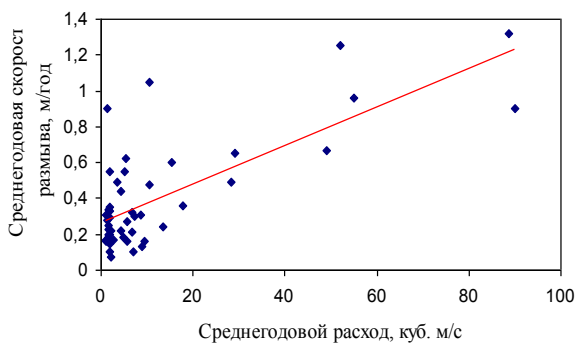


Рис. 7. Зависимость среднегодовой скорости размыва от среднегодового расхода

Скорости бокового размыва различаются у излучин с разным морфодинамическим типом русла (рис.8): наибольшие скорости смещения берегов характерны для крутых сегментных и петлеобразных излучин.

Интенсивность бокового смещения русел рек тесно связана с характером пойменных отложений, с величинами сопротивления размыву. Связь между этими показателями носит отрицательный характер ($R=0,6-0,7$): с увеличением эрозионной прочности скорости размыва уменьшаются (рис.9).

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.10).

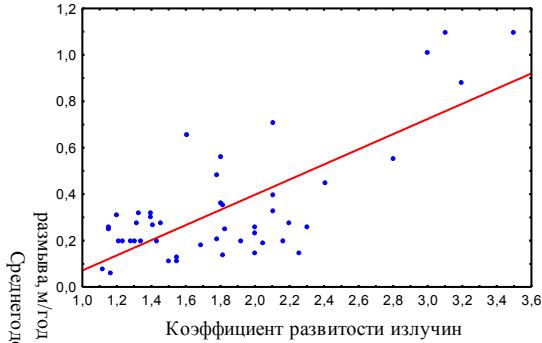


Рис. 8. Зависимость среднегодовой скорости размыва от коэффициента развитости

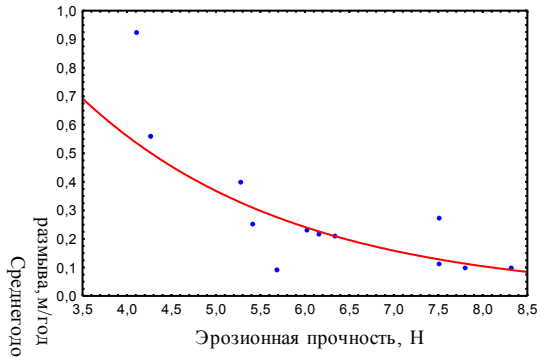


Рис. 9. Зависимость среднегодовой скорости размыва от эрозионной прочности на реках 1-ой группы

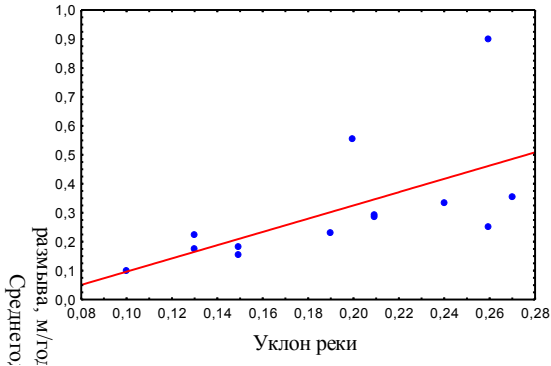


Рис. 10. Зависимость среднегодовой скорости размыва рек I группы от уклона

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.

Существенное влияние на работу рек оказывает растительность. Густой растительный покров с хорошо развитой корневой системой снижает скорость русловых деформаций, уменьшает частоту встречаемости размываемых берегов.

Протекание русловых процессов на 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. Скорости размыва берегов ниже моста в несколько раз больше таковых выше мостового сооружения. Это хорошо прослеживается на конкретных ключевых участках.

Помимо абсолютных значений скоростей размыва 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_0 , м), к средней ширине меженного русла (B , м) на данном участке, т.е. $U=B_0/B$. Умножая полученную величину на 100, можно выразить относительную скорость в процентах от ширины русла.

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 относительными значениями скоростей горизонтальных русловых деформаций и порядком реки является отрицательной экспоненциальной (рис.11), описываясь уравнением $U=7,348e^{-0,154N}$.

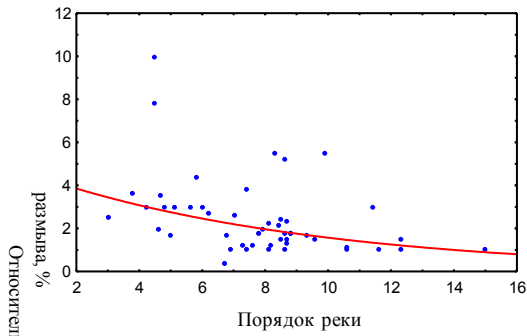


Рис. 11. Зависимость относительной скорости размыва от порядка реки

Глава 5. Районирование территории Удмуртии по факторам и формам проявления русловых процессов

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 (геолого-геоморфологические и гидрологические условия, характер почвенно-растительного покрова, степень антропогенной нагрузки и т.д.), преобладании тех или иных морфодинамических типов, в показателях интенсивности русловых деформаций.

На основе существующих различий по факторам и формам проявления русловых процессов территорию Удмуртии можно поделить на два района - *Северный* (1) и *Южный* (2) (рис.12).

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.13).

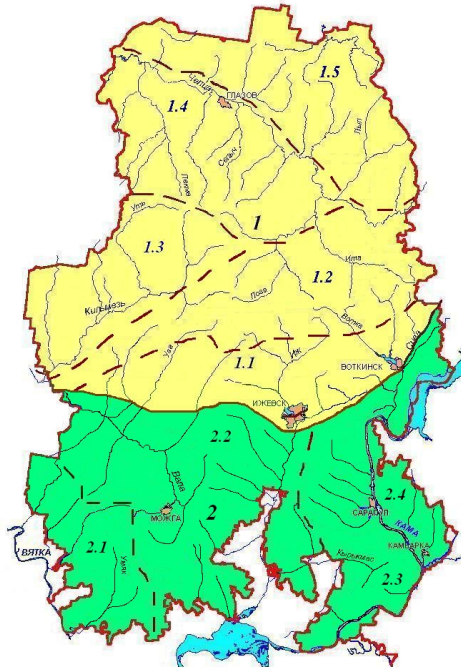


Рис. 12. Районирование территории Удмуртии по факторам и формам проявления русловых процессов (цифрами обозначены районы и подрайоны)

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

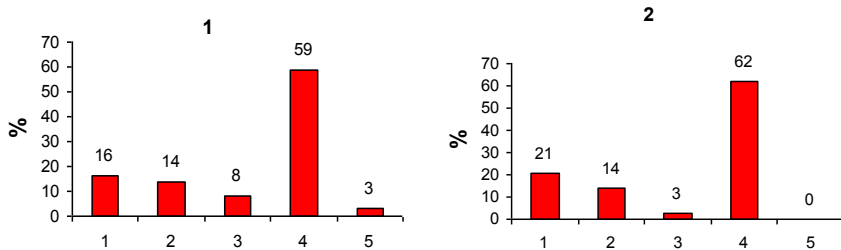


Рис. 13. Соотношение (в %) морфологических типов русел в северном (1) и южном (2) районах Удмуртии: 1- прямолинейные русла; 2– петлеобразные излучины; 3- пологие и прорванные излучины; 4- сегментные излучины; 5- адаптированные излучины

В Северном районе 8% длины рек приходится на прорванные и пологие излучины. Особенно часто они встречаются на р. Чепца и ее крупных притоках, р. Кильмезь. В Южном районе прорванные излучины распространены гораздо реже (3%) из-за меньшей обеспеченности руслоформирующих расходов (Q_{ϕ}) верхнего интервала.

Существенное отличие Северного района от Южного – наличие на реках участков с адаптированными излучинами (около 3%). В тех местах, где русло реки подходит или расположено возле коренного берега эти излучины образуются как одиночные формы русла. Данный тип излучин характерен для северо-востока территории – для района Верхнекамской возвышенности.

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, Бывайка 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, преобладающих уклонах, в составе пород и т.д. внутри каждого района проведена более дробная

дифференциация по соотношению морфодинамических типов русел, показателям интенсивности русловых деформаций с выделением подрайонов (рис.12). На территории Северного района было выделено пять подрайонов, Южного – четыре.

Заключение

В итоге проделанной работы были сделаны следующие выводы:

1. 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_{ϕ} , протекающих в бровках поймы и верхнего интервала Q_{ϕ} (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.

2. 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.

3. 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 лесистой 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 ($R=0,9$).

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.

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.

4. 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.

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 ($R=0,65-0,9$).

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; зависят от ряда антропогенных факторов.

5. 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 показателями является отрицательной экспоненциальной.

6. 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 9 подрайонов.

Основные научные результаты работы опубликованы в следующих периодических изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Факторы русловых процессов и их влияние на морфодинамику русел рек Удмуртии // Геоморфология. 2006. №4. С. 69-77. (в соавторстве с И.И. Рысиным)

а также в следующих публикациях:

2. Русловые процессы на реках Удмуртии (монография). Ижевск: Ассоциация «Научная книга», 2006. - 176 с. (в соавторстве с И.И. Рысиным)

3. Первые результаты мониторинга русловых процессов на реках Удмуртии //5-я Российская университетско-академическая научно-практическая конференция. Ижевск, 2001. С.14-16.

4. Хозяйственное освоение территории Удмуртии и его проявление в динамике русловых процессов на малых реках //16 пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов С-Пб, 2001. С.172-174. (в соавторстве с А.А. Перевошиковым)

5. Результаты мониторинга русловых процессов на реках Удмуртии //16 пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов С-Пб, 2001. С.183-184. (в соавторстве с И.И. Рысиным)

6. Руслвые процессы на реках Удмуртии // Динамика овражно-балочных форм и руслвые процессы. М., МГУ, 2002. С.103-106.
7. Об опыте исследований руслвых процессов на реках Удмуртии //Материалы международной научно-практической конференции. Пермь, 2002. С.63-65. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
8. Мониторинг руслвых процессов на реках Удмуртии //17 пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозийных, руслвых и устьевых процессов Краснодар, 2002. С.156-158. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
9. Развитие руслвых процессов в условиях различных ландшафтов Удмуртии //Вестник Удмуртского университета. Серия Науки о земле, 2003. С.123-134.
10. История освоения территории Удмуртии и его влияние на динамику руслвых процессов// Вестник Удмуртского университета. Серия Науки о земле, 2003. С.61-70. (в соавторстве с А.А. Перевощиковым)
11. Мониторинг эрозийных и руслвых процессов на территории Удмуртии //Тезисы докладов международной научно-практической конференции. Минск, 2003. С.183-186. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
12. Боковая эрозия и эрозийная прочность грунтов //Материалы VI Российской университетско-академической научно-практической конференции. Ижевск: Из-во Удм. ун-та, 2003. С. 97-99.
13. Связь интенсивности руслвых деформаций с порядковой структурой речной сети //Вестник Удмуртского университета №8. 2004. С.107-114.
14. Анализ факторов развития горизонтальных руслвых деформаций на реках Удмуртии //19-е пленарное межвузовское координац-е совещание по проблеме эрозийных, руслвых и устьевых процессов. Белгород, 2004. С. 9-16. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
15. Monitoring of channel processes on the interfluve between the Kama and the Vyatka rivers //Sediment Transfer through the Fluvial System (Proceedings of the International Symposium held at Moscow, August 2004). IAHS Publication 288. 2004. P. 261-268. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
16. Геоэкологический мониторинг руслвых процессов на реках Западного Приуралья //Материалы междунар. науч.-практ. Конф. Барнаул: Изд-во Алт. ГУ, 2005. С. 284-289. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
17. О результатах мониторинга руслвых процессов на реках Удмуртии //Труды 12 съезда Русского географ. Общества. Т. 5. СПб., 2005. С. 279-285. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
18. Развитие горизонтальных руслвых деформаций на реках Удмуртии //Университетская география: Материалы юбилейной науч. конфер. М.: МГУ, 2005. С. 221-226. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
19. Результаты и перспективы изучения бассейнов малых и средних рек Вятско-Камского региона //20 пленарное межвузовское координа-е совещ-е по проблеме эрозийных, руслвых и устьевых процессов: доклады и краткие

- сообщения. Ульяновск, 2005. С. 28-40. (в соавторстве с И.Е. Егоровым, А.Г. Илларионовым, А.А. Перовошиковым, И.И. Рысиным, А.В. Сергеевым)
20. Интенсивность и активность горизонтальных русловых деформаций //Материалы VII Российской университетско-академической научно-практической конференции. Ижевск: Из-во Удм. ун-та, 2005. С.214-216.
21. Эрозионно-аккумулятивные процессы в водосборных бассейнах Вятско-Камского региона // Эрозионные и русловые процессы. Вып.5. М.: МГУ, 2005. С. 304 - 330. (в соавторстве с И.Е. Егоровым, А.Г. Илларионовым, А.А. Перовошиковым, И.И. Рысиным, А.В. Сергеевым)
22. Геоэкологический мониторинг русловых процессов на малых и средних реках Удмуртии //Современные аспекты экологии и экологического образования (материалы Всеросс. науч. конфер). Казань, 2005. С. 371-373. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
23. Особенности развития горизонтальных русловых деформаций на реках Удмуртии //Эрозионно-аккумулятивные процессы в бассейне Верхней и Средней Волги. Ижевск: Издат. дом «Удмуртский университет», 2005. С. 166 – 187. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
24. О факторах развития горизонтальных русловых деформаций на реках Удмуртии //Вестник Удмуртского университета №11. 2005. С.153-168. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
25. Основные закономерности морфодинамики русел рек Удмуртии //Материалы научного семинара «Маккавеевские чтения-2005». Москва, 2006. С. 8-25. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
26. Размыв берегов и аккумуляция ила на поймах рек Удмуртии //Пойма и пойменные процессы. Санкт - Петербург, 2006. С. 108-123. (в соавторстве с И.И. Рысиным, А.Г. Илларионовым, А.А. Перовошиковым)
27. Горизонтальные русловые деформации как фактор флювиального рельефообразования в Удмуртии //Материалы XXIX Пленума Геоморфологической Комиссии РАН «Проблемы флювиальной геоморфологии». Ижевск, 2006. С. 183-187. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
28. Исследование морфодинамики русел рек Удмуртии //21 пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: доклады и краткие сообщения. Чебоксары, 2006. С. 172-174. (в соавторстве с И.И. Рысиным)
29. Роль природных та антропогенних чинників у розвитку горизонтальних руслових деформацій на річках Удмуртії // III Міжнародний семінар «Ерозійно-аккумулятивні процеси і річкові системи освоєних регіонів». Львов, 2006. С.55-66. (в соавторстве с И.И. Рысиным).
30. Роль факторов развития горизонтальных русловых деформаций на реках Удмуртии // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: периодический научный сборник. Київ ВГЛ «Обрії», 2006. С. 84-90. (в соавторстве с И.И. Рысиным).