

## РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕЙ И СРЕДНЕЙ КАМЫ

<sup>1</sup>Пермский государственный университет, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: nazarov@psu.ru

<sup>2</sup>Удмуртский государственный университет, 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, e-mail: rysin@uni.udm.ru

Изучены морфодинамические типы русел рек Камского бассейна. Установлено, что наибольшее распространение в нем получили реки с врезанным и широкопойменным руслом; преобладают сегментные излучины (46 %) и относительно прямолинейные участки русел (26 %). Выявлена относительно высокая встречаемость синусоидальных и прорванных излучин. Отмечено, что в последние десятилетия наблюдается упрощение конфигурации русел а также высокой становится вероятность смены общей направленности развития русловых процессов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: русловые процессы; морфодинамические типы русел; речная эрозия; горизонтальные деформации; излучина; климат.

### Изученность вопроса

Изучение рек, и в частности русловых процессов, традиционно являлось одним из важнейших видов научно-практических исследований, осуществляемых в ходе проведения пионерного освоения новых территорий. Со времен присоединения Прикамья (Перми Великой) к Российскому государству, происходившего в XIV-XVI вв., описания особенностей режима рек, устойчивости берегов размыву и степени опасности для проживания и ведения хозяйства в пределах речных долин во многих случаях составляли одну из наиболее значимых частей в отчетах («описаниях») первопроходцев, путешественников, участников академических экспедиций, служащих вотчинского управления Строгановых и других представителей государственной власти, купечества и просвещения. Подобное внимание к долинно-речным комплексам можно объяснить их местом и ролью в жизни коренного и русского населения, активно заселявшего регион. Доля поселений, расположенных по берегам рек в самом большом уезде Перми Великой – Чердынском, по сведениям 1579 г., составляла 72,3 % [24]. При этом 67,7 % их общего числа располагалось на берегах самых крупных рек и их главных притоков. Природное богатство речных долин – плодородные почвы под пашню, водоемы для рыбного промысла, леса для охоты, а также принадлежность рек к основным путям сообщений послужили причиной превращения прибрежных территорий в места концентрации населения и соответственно риска возникновения различного рода опасностей, связанных с деятельностью русловых процессов.

Позднее (XIX–XX вв.) по мере освоения региона информация о типах и скоростях деформаций речных русел и местах локализаций «опасностей» становилась все более востребованной. Развитие металлургической промышленности и строительство крупных поселений и городов в Прикамье привели к резкой активизации молевого сплава древесины, транспортировки грузов самосплавом, а несколько позднее и судоходства на Каме. Постепенно социальная (социально-экологическая) значимость наблюдений и представлений о закономерностях развития русловых процессов для населения Прикамья становилась все более высокой и практически ориентированной. На основе этих знаний и наблюдений за динамикой русел поддерживалась судовая обстановка на больших реках, осуществлялось их «обустройство» (углубление, спрямление, берегозащита и т.д.).

В последние годы в Прикамье в связи с резким увеличением темпов освоения минерально-сырьевых ресурсов, активизацией промышленного и гражданского строительства и прежде всего в результате интенсификации деятельности человека в пределах пойменно-русловых комплексов любая информация о проявлениях русловых процессов является сегодня востребованной.

## Отсутствие

целенаправленных и продолжительных наблюдений за активностью речной эрозии, а чаще всего просто элементарных сведений об особенностях проявления горизонтальных деформаций русел уже неоднократно приводило к возникновению экологической напряженности и даже кризисных ситуаций в местах перехода магистральных и меж- и внутрипромысловых трубопроводов через реки, в пределах водозаборов, водовыпусков и некоторых других технических сооружений.

Первой работой, в которой была представлена морфодинамическая характеристика русел наиболее крупных рек Камского бассейна, стало исследование Р.С. Чалова и А.В. Чернова [29], посвященное его районированию по факторам и формам проявления русловых процессов. Районирование по факторам, условиям развития и формам проявления русловых процессов (распространению морфодинамических типов русел, направленности и интенсивности русловых деформаций) 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. Кроме того, авторами была учтена схема совмещенного гидрологического и физико-географического районирования Пермской области, выполненного ранее А.М. Комлевым и Е.А. Черных [4]. Корректировка границ районов при их незначительном несовпадении проводилась на основе использования данных о местных орографических или других естественных рубежах, природных зонах и т. д.

Позднее были опубликованы более подробные данные о распространении морфодинамических типов русел в регионе; выявлены места их основного развития [30]. Как и в первом исследовании, объектами изучения стали преимущественно крупные реки Прикамья и их основные притоки. Картосхемы распространения морфодинамических типов русел были подготовлены на основании результатов картографического анализа целого комплекса геолого-геоморфологических, гидрологических, гидрографических и некоторых других признаков, являющихся критериями отнесения речных русел к определенным классификационным группам.

С середины 90-х гг. прошлого столетия одновременно с мелкомасштабными исследованиями русловых процессов на реках Прикамья [1;29] стали проводиться работы, направленные на получение детальной исходной информации о развитии русловых процессов в регионе. Их результаты послужили основой осуществления морфодинамических обобщений о развитии горизонтальных деформаций на средних и сравнительно небольших реках региона [3; 10; 13; 17; 22].

Кроме традиционных картометрических исследований и вычислений составляющих морфодинамического анализа, работы включали в себя геоиндикационное дешифрирование аэрофотоснимков и визуальные обследования пойменно-русловых геосистем. Преимущество и отличие от ранее проводимых исследований данного вида – это возможность получения совершенно иной информации о проявлениях русловых процессов, которую практически не удавалось получить, используя для картографирования морфодинамических типов русел только топографические карты. К такой информации можно отнести геосистемную дифференциацию днища речной долины на пойму (низкую, среднюю, высокую) и низкие надпойменные террасы. Отсутствие на топографических картах любого масштаба прямых «подсказок» по идентификации элементов речной долины делает затруднительным качественное определение русел рек по принадлежности к широкопойменным, адаптированным или врезанным типам русел. Характер растительности (или ее отсутствие), состав русловых или пойменных отложений на выпуклых берегах излучин позволяет практически безошибочно классифицировать русло реки.

В соответствии с признаками (критериями) дифференциации русел на морфодинамические типы [7; 26] для всех рек Пермского края и Удмуртии, имеющих длину более 10 км, были определены основные количественные характеристики геоморфологических условий и плановых деформаций русла – уклон русла – относительный показатель развитости излучин (коэффициенты извилистости) – ширина пояса меандрирования – коэффициент извилистости макроизлучин.

Особое место в этих исследованиях занял процесс выявления динамической устойчивости русла, который служит основным показателем отнесения излучин к типу свободного, ограниченного развития или врезания. Для этого с применением дистанционных (дешифрирование аэрофотоснимков, аэровизуальные обследования) и полевых методов исследований устанавливалось наличие горизонтальных смещений русла.

В качестве прямых признаков развития горизонтальных деформаций использовались результаты взаимоналожения разновременных аэрофотоматериалов или топокарт, фиксирующих местоположения зон размыва или аккумуляции. Как правило, для плановых сопоставлений отбирались материалы

масштаба не мельче 1: 50 000 (обычно 1:10 000–1:25 000). При наличии аэрофотоматериалов лишь одного года залета геоиндикационное дешифрирование становилось основным приемом выявления направленности русловых деформаций. Преобладание горизонтальной русловой составляющей определялось по наличию специфического набора прибрежных геосистем (пески, галечники, отсутствие растительности), поскольку известно, что формирование подобных морфологических образований происходит из-за наращивания прибрежных отмелей в результате накопления аллювия и смещения русла в направлении противоположного (размываемого) берега. Напротив, активность и преобладание вертикального вреза русла довольно точно фиксировались по наличию четко выраженных бровок русла по обоим берегам реки вне зависимости от степени развитости излучин.

Изучению интенсивности развития горизонтальных русловых деформаций в Пермском Прикамье посвящено сравнительно немного исследований. Одним из самых ранних упоминаний об интенсивности речной эрозии в северо-восточной части региона является работа Р.В. Крапивнера, И.Л. Зайонца и др. (1960, фондовые материалы). В ней, в частности, сообщается, что основное русло р. Камы в районе г. Боровска в 1913 г. проходило по излучине, т. е. на 1,5 км восточнее его современного положения. Здесь же упоминается р. Колва, которая за 20 лет (1938-1958) у п. Покча смыла полосу берега шириной 20–30 м. Река Вишера около д. Березовая за 4 года смыла 15 м берега. Установлено также, что около 100 лет назад р. Вишера у д. Анниковская протекала в 3 км западнее своего современного положения.

В 1987 г. по результатам сравнительного дешифрирования аэрофотоснимков были опубликованы данные о скорости бокового смещения русел рек Прикамья с указанием целого ряда геоморфологических характеристик в точках измерений [11]. Особенности русловой эрозии в регионе нашли отражение также и в картографических материалах [21]. Авторами исследования в масштабе 1:4 000 000 представлены условия формирования русел в регионе, выделены их типы, определены скорости русловых деформаций.

В последние годы в связи с усилением внимания к экологическим проблемам в пределах речных долин появился ряд публикаций, в которых приводилась характеристика динамических изменений местоположений берегов в пределах селитебных и производственных объектов на рр. Тулве, Качке, Каме [2; 6].

Одна из последних работ по вопросу о берегоформирующих процессах на реках Пермского края – монография Н.Н. Назарова и С.С. Егоркиной [12] – содержит информацию о природных и антропогенных факторах и условиях развития русловых деформаций в регионе, географический анализ распространения горизонтальных русловых деформаций на реках, их активности и интенсивности, описание лимитирующих и активизирующих факторов речной эрозии и т.п.

### **Морфодинамические типы русел водотоков**

Изучение морфодинамических типов русел рек Камского бассейна показало, что в нем наибольшим распространением пользуются реки с врезанным и широкопойменным руслом. Районы с преобладанием широкопойменных русел приурочены, главным образом, к холмистым и низменным равнинам Предуралья. По преобладанию различных уклонов рек и крупности наносов с корректировкой по гидрологическим характеристикам выделяются: Средне-Североуральский (II), Косьвинско-Уфимский (III), Северо-Увальский (V), Камско-Печорский (VI), Камско-Вятский (VII), Закамский (VIII) и Икско-Бельский (IX) [29]. Каждый из выделенных районов характеризуется своим особым набором морфодинамических типов русел (рис. 1).

Исследуемые водотоки относятся к следующим районам: рр. Чусовая, Сылва – к Косьвинско-Уфимскому; рр. Обва, Нердва, а также все реки Удмуртии – к Камско-Вятскому; рр. Тулва, Буй, Быстрый Танып, Барда, Бабка и Пизя – к Закамскому району.

Косьвинско-Уфимский район занимает предгорья и осевую зону невысокого Среднего Урала. Он характеризуется меньшими уклонами рек (0,3–0,5 %) и соответственно большей долей песчано-галечных и песчаных наносов. Здесь явно преобладают широкопойменные русла, хотя доля врезанных достаточно заметна (25 %); горные реки отсутствуют (это не относится к

верховьям средних рек и их притокам). Высокие уклоны рек сопоставительно с таковыми равнинных районов обуславливают наличие среди широкопойменных значительной доли прямолинейных русел. Наиболее распространены на реках сегментные излучины.

Камско-Вятский район отличается большой площадью и приурочен к холмистым лесам и лугам северо-восточного Заволжья. Район характеризуется заметной пересеченностью рельефа, сложенного на двух третях территории мощными толщами песков и суглинков. Преобладают сегментные излучины (46 %) и относительно прямолинейные участки русел (26 %). Достаточно высока здесь встречаемость

синусоидальных и прорванных излучин. Уклоны на реках средние для бассейна (0,2–0,35 ‰), наносы большей частью песчаные.

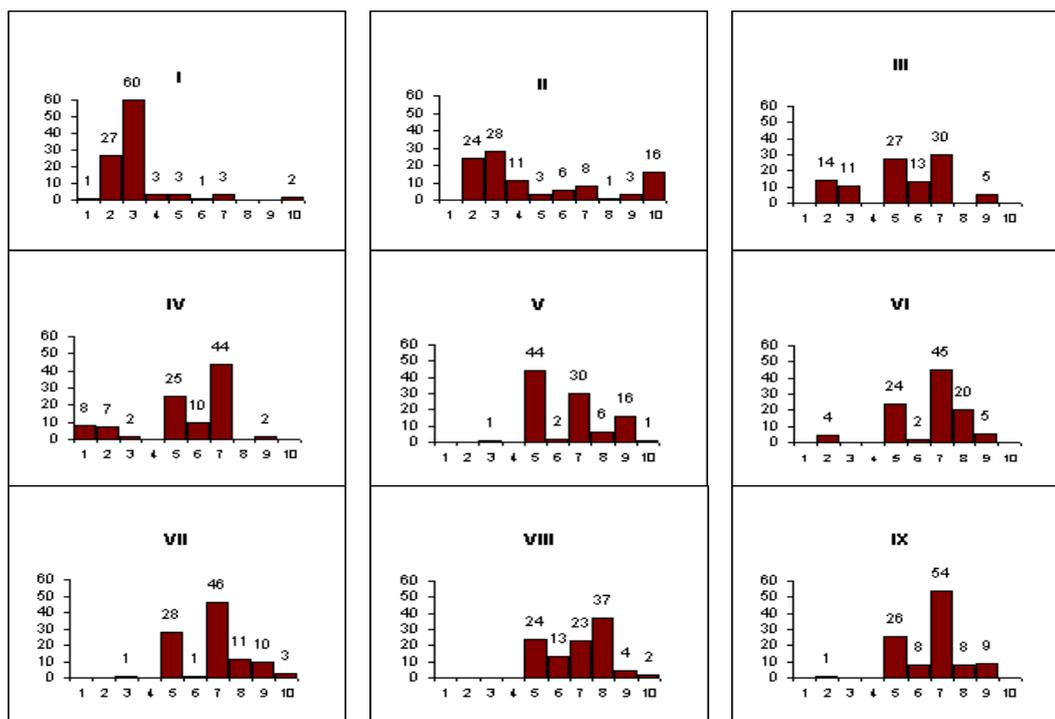


Рис. 1. Распределение русел с различными морфодинамическими типами

по районам, выделенным в бассейне р. Камы по факторам, условиям развития и формам проявления русловых процессов (по [29] с исправлениями авторов): Объяснения к рис. 1. I– IX – районы: I – Южно-Уральский, II – Средне-Североуральский, III – Косьвинско-Уфимский, IV – Верхнебельский, V – Северо-Увальский, VI – Камско-Печорский, VII – Камско-Вятский, VIII – Закамский, IX – Иско-Бельский. Морфодинамические типы русел: 1 – горных и полугорных рек, равнинных рек – врезанные русла; 2 – относительно прямолинейные неразветвленные; 3 – излучины; 4 – разветвления, широкопойменные русла; 5 – относительно прямолинейные неразветвленные; 6 – вынужденные и адаптированные излучины; 7 – сегментные крутые излучины; 8 – синусоидальные (вытянутые, пальцеобразные) излучины; 9 – пологие сегментные и прорванные излучины; 10 – разветвления региона, измененные хозяйственной деятельностью: низовья рр. Яйвы, Косьвы, Чусовой, Сылвы, ставшие заливами Камского водохранилища

Закамский район характеризуется равнинным рельефом и распространением преимущественно глинистых пород. Поэтому при средних для равнинных рек уклонах (0,15–0,35 ‰) в руслах рек преобладают илстые или илисто-песчаные наносы, а наиболее распространенным типом русла здесь являются типичные для тяжелых грунтов синусоидальные (пальцевидные) излучины.

Для рек Пермского Прикамья в качестве основных определено восемь морфодинамических типов русел [13] (табл. 1). Врезанные русла как равнинных, так и горных рек имеют в плане прямолинейные, устойчивые очертания. Сформировались они, как правило, вдоль тектонических трещин и разломов. В отдельных случаях такие русла образуют не менее устойчивые врезанные излучины. Пойма отсутствует или встречается небольшими фрагментами; берега в основном коренные – скальные и неразмываемые. В местах перегибов продольного профиля часто образуются

русловые разветвления, в пределах которых переформирование низких галечных островов протекает весьма активно, но само русло остается малоподвижным. Врезанные русла сосредоточены, главным образом, в речных системах Урала и Предуралья: горные и полугорные представлены верхними звеньями, равнинные – средними и нижними звеньями, реками 3-го и больших порядков в бассейнах рр. Вишеры, Чусовой, Яйвы, Косьвы, Сылвы и др.

Широкопойменные русла распространены преимущественно в равнинных районах, сложенных с поверхности мощным слоем рыхлых четвертичных отложений; отдельные широкопойменные участки встречаются на реках, протекающих в межгорных котловинах. У всех этих рек отношение ширины поймы к ширине русла составляет от 3:1 до 40:1 и более; долины рек выполнены легкоразмываемым аллювием. Относительно прямолинейные неразветвленные русла отличаются сравнительной устойчивостью в плане – размывы берегов происходят на отдельных локальных

участках русла, меняя очертания берега, не изменяя общей конфигурации русла. Часто один из берегов таких русел является высоким, неразмываемым, сложенным коренными скальными или глинистыми породами. Подобный тип русла распространен на реках, расчленяющих склоны денудационных и денудационно-аккумулятивных возвышенностей: Северных Увалов, Верхнекамской возвышенности, Уфимского плато, собственно Урала, где продольные уклоны русел достигают наибольших для равнинных рек значений (0,5–1 ‰). Например, в бассейне р. Быстрого Таныпа относительно прямолинейные русла составляют 31 %.

Вынужденные излучины наиболее типичны для котловин и предгорных участков, где размаху горизонтальных блужданий русла препятствуют коренные борта котловин или ящикообразных долин. Эти излучины, как правило, малоподвижны, иногда испытывают продольные перемещения.

Таблица 1

**Распространение русел рек с различными морфодинамическими типами в Пермском Прикамье (по [13])**

Морфодинамический тип русла	Доля от общей длины русла в регионе, %	Районы преобладающего распространения
<b>А. ВРЕЗАННЫЕ</b>		
1. Относительно прямолинейные	9	Горы и предгорья
2. Врезанные излучины	8	»
3. Разветвления врезанного русла	2	»
<b>Б. ШИРОКОПОЙМЕННЫЕ</b>		
4. Относительно прямолинейные	26	Северные Увалы (бассейн Весляны)
5. Излучины вынужденные	5	Предгорья Урала
6. Излучины свободные сегментные	40	Равнинная часть бассейна Средней Камы
7. Излучины свободные пологие и прорванные	7	Там же
8. Разветвления	3	Котловины и Предгорья Урала (Средняя Кама до затопления)

Свободные излучины – сегментные, синусоидальные, петлеобразные, пальцевидные, а также прорванные – наиболее распространенный тип широкопойменных русел. На них отмечаются наиболее интенсивные горизонтальные деформации – вогнутые берега излучин размываются со скоростью от первых десятков сантиметров до 10 м/год, что обеспечивает блуждание русел по дну долины. Свободные излучины преобладают в руслах большинства рек центральной равнинной части Прикамья (рр. Нердва, Сива, Обва), на юге региона (р. Буй, нижняя часть рр. Быстрого Таныпа, Ирени). Установлено, что в суглинистых и глинистых долинообразующих породах формируются, преимущественно, пальцевидные и синусоидальные излучины с невысокой скоростью размыва берегов (до 0,5–1,0 м/год, что типично для таких рек, как Велва, Чермоз и др.), тогда как в супесчаных грунтах преобладают сегментные излучины со скоростью размыва берегов в 2–5 раз большей.

Широкопойменные разветвленные русла встречаются в Прикамье в основном в котловинах (рр. Вишера, Улс) и на отдельных предгорных участках (рр. Косьва, Яйва, Чусовая, Усьва, Язьва и др.). До зарегулирования стока такой была на отдельных отрезках Средняя и Нижняя Кама. Для равнинных рек наиболее широко данный морфологический тип русла представлен в пределах среднего и нижнего течений р. Тулвы. Основные переформирования в руслах данного типа происходят с

островами; береговые массивы остаются устойчивыми, однако опасность их локального, но быстрого размыва постоянно сохраняется.

Исследуемые водотоки в основном относятся к 6-му (излучины свободные сегментные) и 7-му (излучины свободные пологие и прорванные) типам группы широкопойменных русел рек.

На территории Удмуртской Республики система наблюдений за русловыми процессами была организована в 1999 г. Создание наблюдательной сети было обусловлено стремлением наиболее полно изучить различные ландшафты республики, а также проследить развитие боковой эрозии на участках, где она наиболее активна и создает опасность для хозяйственной деятельности. В ходе исследований на территории республики было выделено 55 ключевых участков (рис. 2), охватывающих реки разного порядка, расположенные в различных физико-географических условиях.

Полевые работы на изучаемых реках проводятся ежегодно в летний период. Главная задача этих исследований – изучение скоростей бокового смещения русел и определение отдельных морфометрических характеристик. Для этого на активно размываемых участках рек (чаще на высокой пойме) было заложено

около 300 реперов и марок, на 29 участках проводится ежегодная теодолитная (с 2002 г. применяется электронный тахеометр) съемка.

Для выбора ключевых участков на камеральном этапе проводилось изучение морфометрических и морфологических характеристик речной сети Удмуртии. Были проанализированы топографические карты масштаба 1:25000 и 1:50000, к отдельным районам применялись аэрофототопопланы масштаба 1:10000 разных лет съемки.

В соответствии с морфодинамической классификацией Р.С. Чалова [27] все реки республики были разделены на отдельные участки с разными типами русел. Участки русел по степени меандрирования были дифференцированы на 7 типов: от относительно прямолинейных ( $K_{изв.} < 1,1$ ) до чрезвычайно извилистых ( $K_{изв.} > 2,0$ ).

В бассейнах изучаемых рек встречается 5 типов меандрирующих русел: а) сегментные пологие ( $1,15 < l/L < 1,40$ ); б) сегментные развитые ( $1,40 < l/L < 1,0$ ); в) крутые сегментные ( $1,70 < l/L < 2,00$ ); г) петлеобразные ( $l/L > 2,00$ ); д) прорванные ( $l/L = 1,50-2,00$ ), где  $l/L$  – отношение длины к шагу излучины [28]. Для верхних и нижних участков рек характерно относительно прямолинейное неразветвленное русло; его доля составляет от 16% в бассейне р. Сивы до 28% в бассейне р. Ижа от длины рек (табл. 2). Наиболее типичной формой проявления русловых процессов на реках Удмуртии является меандрирование, соответственно излучины – наиболее распространенная форма русла. На их долю в среднем по республике приходится 78%.

В результате анализа данных, полученных для малых и средних рек республики, выявлены следующие особенности: на исследуемой территории преобладают сегментные излучины, доля которых составляет 62%, и прямолинейные русла – 22%; встречаются также петлеобразные (7%) и прорванные излучины (8%) (табл. 2) [15; 17; 31].

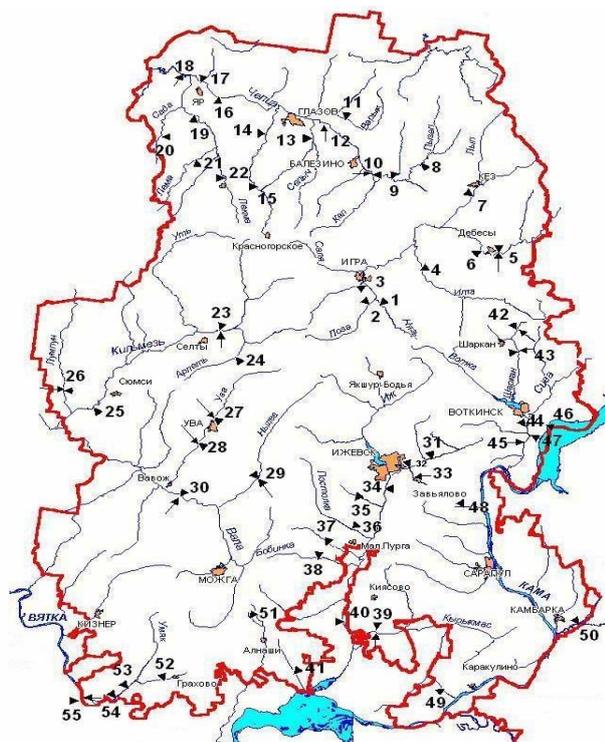


Рис. 2. Карта-схема расположения ключевых участков по изучению морфодинамики русел рек Удмуртии. Условные обозначения: ▼ - места расположения реперов и марок; ▲ - места тахеометрической съемки

Среди сегментных излучин значительная доля приходится на пологие: в среднем 43% 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, синусоидальных и прорванных излучин составляет 15% от всей длины рек республики. Петлеобразные и синусоидальные излучины охватывают в среднем 7% длины русел. Наибольшее их количество встречается в бассейне Чепцы, Кильмези, Валы – 11 – 15%. Среди других рек со значительной протяженностью этого типа русла можно отметить Лозу, Иту, Лекму в бассейне Чепцы, Лумпун, Уть – в бассейне Кильмези и Ижа. Доля прорванных излучин составляет 8% длины

всех рек. Наиболее широко данный тип русла представлен на р. Чепце (10% длины всех рек бассейна и 24% длины самой реки), р. Сиве (12 и 60% соответственно), р. Кильмези (18 и 50%) и их притоках.

Неширокое распространение на территории республики имеют адаптированные излучины (около 1%). В тех местах, где русло реки подходит к коренному берегу или расположено возле него, эти излучины представляют одиночные формы русла. Небольшие по протяженности участки данного типа излучин встречается в бассейне рек Чепцы, Лозы, Иты, он характерен для верховий Вятки и Камы.

Прямолинейные русла чаще всего встречаются в верхнем течении рек или являются результатом спрямления излучин. Вторая разновидность прямолинейного русла встречается среди прорванных излучин Чепцы, Лозы, Иты, Ижа и других средних и крупных рек республики.

Таблица 2

**Соотношение морфодинамических типов русел в различных речных бассейнах Удмуртии (в % от длины русла)\*\***

Морфодинамический тип русла	Чепца	Вала	Киль-мезь	Сива	Иж	Тойма и лев. прит. Вятки	Прав. прит. Камы	Среднее по УР
1. Относительно	17	20	20	16	28	28	28	22

прямолинейные, неразветвленные								
2. Свободные извилистые	<b>83</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>84</b>	<b>72</b>	<b>72</b>	<b>72</b>	<b>78</b>
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	15	11	11	4	9	3	-	7
д) пологие и прорванные	12	8	12	16	2	-	-	8

\*\* - без учета адаптированных излучин

Традиционным методом исследования меандрирующего русла является построение эмпирических зависимостей между параметрами излучин, а также между ними и количественными показателями, характеризующими условия формирования русла. В качестве факторов, влияющих на русловые процессы, обычно используют различные показатели водности (руслоформирующие, среднегодовые, расходы воды в половодье), площадь водосбора, уклоны долины и водной поверхности [5; 7; 8; 9]. В некоторых случаях в качестве показателя водности служит такой параметр, как длина реки. Это связано с тесной зависимостью этого показателя с площадью водосбора, который, в свою очередь, связан с расходами воды [28].

На реках Удмуртии были выделены относительно однородные по водности участки, границами которых служили места впадения наиболее крупных притоков. Общее количество выделенных участков на реках составило 245. Для каждого участка определялись модальные значения параметров излучин (шаг  $L$ , радиус кривизны  $r$ , стрела прогиба  $h$ , длина  $l$ , а также осредненные относительные:  $l/L$ ,  $r/h$ , характеризующие степень развитости и форму излучины) и показатели водности. Расчеты были проведены для 3827 отдельных излучин. В связи с недостаточной гидрологической изученностью рек Удмуртии (имеется лишь 9 гидропостов на изучаемых реках) для выявления эмпирических зависимостей использовались в основном показатели длины реки, площади водосбора и порядка реки.

Значения радиуса и шага излучин увеличиваются по мере продвижения вниз по течению рек с одновременным увеличением показателей водности (рис. 3). Для каждой конкретной реки связь прослеживается очень четко, характеризуется высоким коэффициентом корреляции – 0,8-0,9.

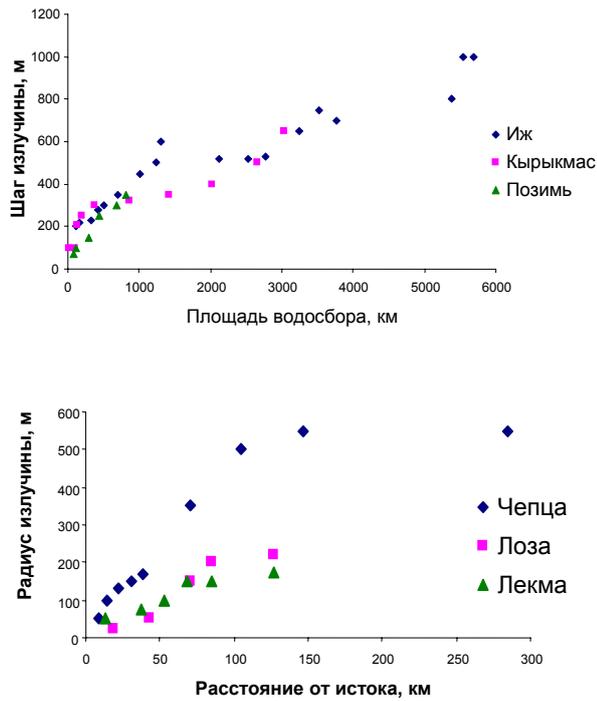


Рис. 3. Изменение радиуса и шага излучин на отдельных реках Удмуртии

Значения длины излучины и стрелы прогиба изменяются несколько иначе (рис. 4). Четкая линейная связь наблюдается далеко не на всех реках: значения параметров могут уменьшаться на отдельных участках рек, после чего вновь происходит их увеличение. Причина таких колебаний чаще всего заключается в изменении преобладающей вниз по течению формы излучин или в смене морфодинамического типа русла.

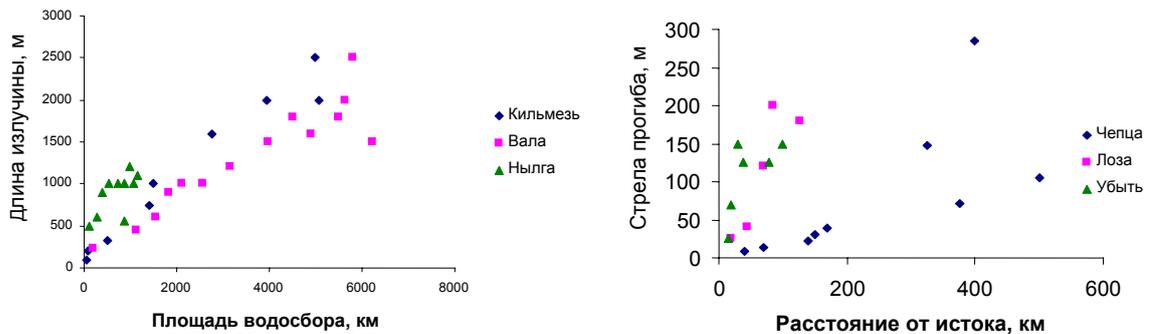


Рис.4. Изменение длины и стрелы прогиба излучин на отдельных реках Удмуртии

Н.А. Ржаницын [19] предложил использовать связь гидролого-морфологических характеристик с порядком рек, зависящим непосредственно от структуры речной сети. Существует несколько схем определения порядков водотоков – Р. Хортон, А.С. Стралера – В.П. Философова, Н.А. Ржаницына, А. Шайдегера и др. Для рек Удмуртии расчет их порядков выполнялся по схеме А. Шайдегера:

$$N = \log_2(P) + 1,$$

где  $P$  – число притоков первого порядка (притоком 1-го порядка считается поток длиной менее 10 км).

Характер зависимости для малых, средних и больших рек несколько иной, и уравнения связи также другие. По О.М. Пахомовой [14], для рек, имеющих порядок ниже 14-го, зависимость имеет степенной характер, выше 14-го – линейный.

Большинство рек Удмуртии относится к категории малых и имеет порядок ниже 14-го. Но и в этой группе довольно отчетливо проявляется различие в характере связи основных параметров свободных излучин с порядковой структурой речной сети. На графиках изменения параметров излучин на участках рек с разным порядком (рис. 5) четко различаются правая и левая половины. Точка перегиба приходится на 9-й порядок, который является пограничным между малыми и средними реками. Уравнения связи и для малых и для средних рек имеют линейный характер, но несколько различаются величинами коэффициентов.

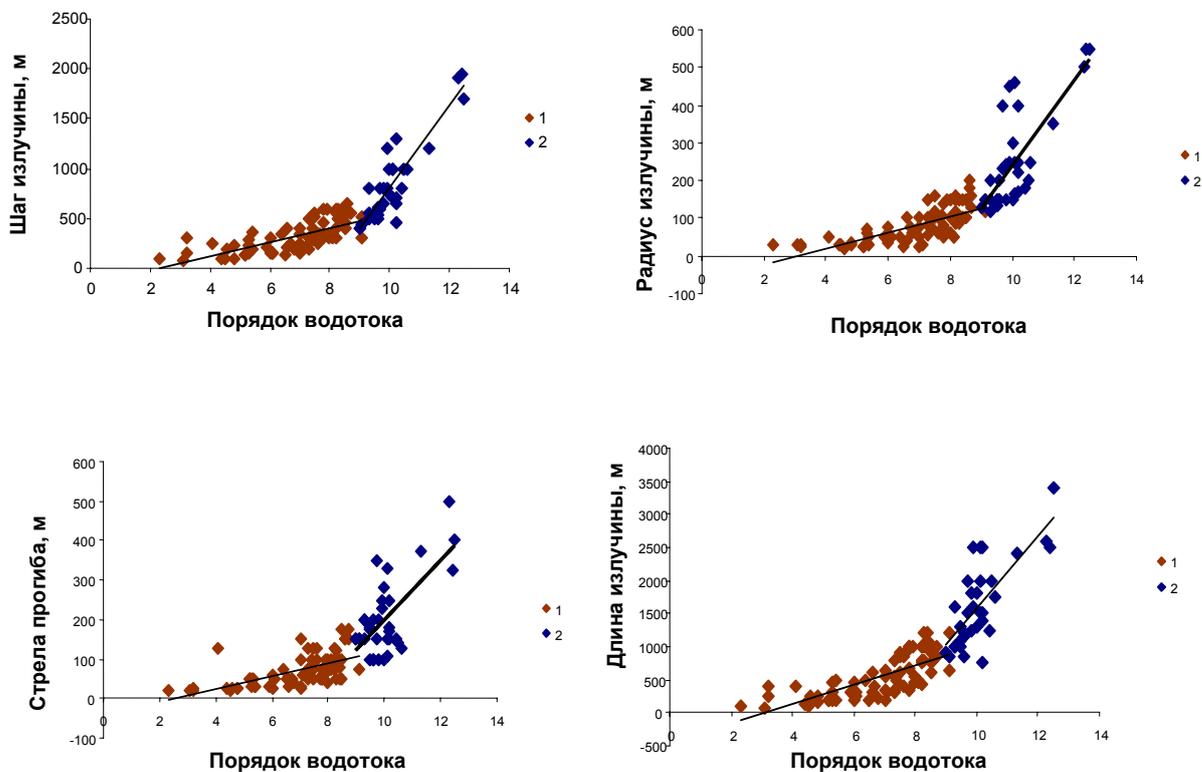


Рис. 5. Изменение параметров свободных излучин на реках различных порядков: 1- реки до 9-го порядка; 2 – реки с порядком 9 и выше

Характер зависимости изменяется и по мере нарастания площади водосбора (рис. 6). Пограничное значение площади водосбора между ними – около 2000 км<sup>2</sup>.

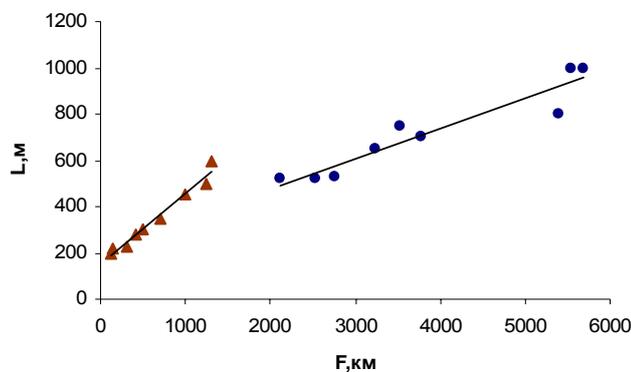


Рис. 6. Зависимость характерных значений шага свободных излучин ( $L, м$ ) р. Ижа от площади водосбора ( $F, км^2$ ): 1 – для рек до 9-го порядка; 2 – для рек с порядком 9 и выше

Развитие излучин до определенных пределов сопровождается активизацией русловых деформаций и увеличением скоростей смещения. Наибольшие скорости смещения характерны для

широкопойменных русел. Скорости и масштабы развития горизонтальных русловых деформаций можно оценить с помощью показателей – интенсивность и активность.

Под *интенсивностью* горизонтальных русловых деформаций понимается отношение суммарной протяженности участков береговых размывов ко всей длине оцениваемого отрезка русла.

Наибольшая доля размываемых берегов характерна для рек южной части республики – левобережья Вятки и правобережья Камы. Показатель интенсивности здесь составляет в среднем 30-

60%. Для р. Сивы на территории Удмуртии на всем протяжении характерны высокие подмываемые берега, величина интенсивности превышает 70%.

Большой показатель доли размываемых берегов характерен для рек бассейна р. Чепцы, в особенности ее левобережья: на реках Лоза, Ита, Убыть, Лекма, Сада для 40% длины берегов характерны размывы. С увеличением порядка реки доля размываемых берегов также увеличивается. Наоборот, малые реки или верховья больших и средних рек, находящиеся в залесенной местности, характеризуются минимальными значениями интенсивности. Для залесенного бассейна р. Кильмези величина интенсивности в среднем составляет лишь 12%, а для верховьев рек Вятки и Камы этот показатель еще меньше – 3-4% [20; 22].

*Активность* горизонтальных русловых деформаций характеризуется скоростью плановых смещений русла.

Анализ полученных за десять лет (2000-2009) полевых данных свидетельствует о большом диапазоне скоростей бокового размыва [16]. При этом имеются существенные различия по рекам, отличающимся размерами (порядком, водоносностью и т.д.). По данным стационарных наблюдений наибольшие скорости размыва характерны для рек с порядком выше 9-го. Максимальные значения размыва, наблюдаемые здесь, достигают 10 – 15 м и более, среднегодовые скорости размыва колеблются в интервале 1,2 – 3,0 м/год (на р.Вятке среднегодовые скорости размыва превышают 3 – 5 м/год, максимальные из зафиксированных значений составляют 15 – 25 м/год). Интенсивно проявляется боковая эрозия на р. Чепце: среднегодовые скорости размыва здесь составляют обычно 1,1 – 1,8 м/год.

Для малых рек 6 – 9-го порядка средние скорости отступления берегов составляют 0,4 – 0,7 м/год, максимальные 2-3 м. В этой группе следует выделить такие реки, как Кильмезь, Вала, Ува, Нылга, Иж, Кырыкмас.

Для самых малых рек с порядком 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 и при сопоставлении разновременных аэрофотоснимков и фотопланов.

Активность деформаций различается на участках с разным морфодинамическим типом русла. По данным полевых исследований установлено, что наибольшие скорости размыва берегов характерны для петлеобразных излучин, преобладающих на крупных реках или в низовьях средних рек, – 1,2 – 3,0 м/год. Среди сегментных излучин наиболее интенсивно боковая эрозия проявляется на крутых излучинах. Значение коэффициента корреляции между показателем коэффициента развитости  $I/L$  и среднегодовой скоростью размыва  $C_{cp}$  составляет 0,637, связь описывается уравнением

$$C_{cp} = 0,304 I/L - 0,199.$$

В качестве показателя активности развития свободных излучин можно использовать также скорости изменения их параметров. Вследствие размывов берегов в вершинах и на крыльях излучин происходит их смещение и искривление; наблюдается удлинение, изменение параметров ( $r$ ,  $L$ ), увеличение степени развитости  $I/L$ , а также трансформация самой формы излучины или ее спрямление. При сопоставлении разновременных топографических карт был проведен анализ изменения параметров свободных излучин рек бассейна Чепцы. За 53 года (с 1934 по 1987) на многих участках рек произошли довольно существенные изменения основных параметров излучин –  $r$ ,  $L$ ,  $h$ ,  $l$ . Анализ 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 характерна трансформация в прорванные с образованием стариц.

Летом 2000 г. на реках были зафиксированы высокие скорости размыва берегов; средняя по республике скорость бокового размыва составила 0,54 м/год. В дальнейшем, до 2004 г., практически на всех ключевых участках наблюдалась тенденция снижения активности русловых

деформаций. Особенно низкие скорости размыва были зафиксированы в 2004 г.: даже на реках с порядком выше 9-го (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 г.: скорости бокового смещения русел резко возрастают. На р. Вятке наблюдаются рекордные за 5 лет деформации – образуется новое оползневое тело шириной более 25 м, а размывы берегов достигают в отдельных точках 15 м. На ключевых участках Яр и Дизьмино (р. Чепца) максимальные размывы составили 7,1 и 4, 7 м/год соответственно. В последующие годы интенсивность размыва берегов на большинстве рек несколько снижается.

Такой неравномерный характер развития боковых деформаций в большинстве случаев обусловлен влиянием гидролого-климатических условий.

### **Климатические изменения и русловые процессы**

Бытующие сегодня среди геоморфологов и русловедов представления о скоростях и направленности развития излучин и речных русел в целом основываются чаще всего на анализе картографических материалов и данных дистанционных исследований. Необходимую информацию обычно получают путем сравнения разновременных местоположений русел в плане и установления «стартовых» и «финальных» признаков развивающихся излучин (серий излучин). Как правило, реперные года удалены друг от друга на многие десятки и сотни лет. В зависимости от размеров и морфологических особенностей элементов русел, а также климатических особенностей рассматриваемого отрезка времени продолжительность «жизни» излучин, по мнению некоторых исследователей, может составлять от нескольких лет до нескольких столетий. В этой связи следует заметить, что поскольку период развития морфоэлементов русла неизбежно проецируется не на один, а, как правило, на несколько природных ритмов самой различной климатогеоморфологической выраженности и направленности, не совсем понятным становится смысл самого понятия «жизнь излучины».

Существует точка зрения о том, что периоды и циклы развития свободных излучин проявляются в их стадийном (последовательном) развитии – от появления первичного изгиба до спрямления. Не отвергая мнения о подобной последовательности изменений речных русел в плане, следует заметить, что данная модель эволюционирования излучин не является единственной, регламентирующей ход их развития. В настоящее время в Прикамье имеется довольно много примеров, когда русла рек продолжительное время «держат паузу». В одних случаях хорошо развитые излучины или значительные по протяженности участки водотока остаются стабильными (не деформирующимися) в течение длительного периода времени; в других, напротив, образуются довольно протяженные (десятки километров) участки прямолинейного русла, не восприимчивые к образованию излучин, хотя при этом на пойме широко распространены молодые старицы-озера.

Объяснение причин подобного развития русловых процессов в свое время было сделано Н.И. Маккаевым [7]. Им установлено три вида соотношений между существующим радиусом изгиба русла реки ( $r_c$ ) и радиусом кривизны, соответствующим текущим гидравлическим характеристикам потока ( $r$ ): 1)  $r = r_c$ ; 2)  $r > r_c$ ; 3)  $r < r_c$ .

Наблюдения за развитием русел рек Прикамья, начатые еще в 1980-х гг. прошлого века, показали: наряду с реками, активно формирующими пойменно-русловые системы путем подмыва вогнутого и наращивания выпуклого берегов ( $r < r_c$ , но при небольшой разнице), имеются реки, у которых наблюдается высокая степень стабильности очертаний излучин ( $r = r_c$ ). Динамическая ось потока в их вершинах, особенно если эти реки не несут большого количества наносов, располагается в средних частях русел, где и наблюдаются максимальные глубины. В верхней половине таких излучин тальвег русла несколько смещен в сторону выпуклого, а в нижней части – в сторону вогнутого берега. Отчетливых следов размыва вогнутого и наращивания выпуклого берега обычно не заметно, а их склоны часто не просто задернованы, но покрыты густой кустарниковой растительностью.

Одним из ведущих факторов регулирования гидравлических характеристик потока во времени является величина расхода воды, которая зависит от водности рассматриваемого периода. Сегодня для бассейна р. Камы уже установленным фактом считается продолжающееся с конца XIX в. увеличение годового стока у большинства рек. Его увеличение в 1981–2004 гг., по сравнению с периодом 1930–1980 гг., составило около 25 % [18]. При этом наибольший прирост величин стока приходится на самые последние годы. По данным пермских гидрологов на таких реках региона, как Обва, Сытва, Ирень, Бабка, Тюй, Быстрый Танып, величина положительных

изменений минимального летнего стока в последнее время стала весьма существенной (25,5–112,6 %), а увеличение минимального зимнего стока составило 17,1–68,3 % [23].

Тенденция увеличения среднегодовых расходов отчетливо проявляется на рр. Чепце и Вале (рис. 7, 8). Аналогичная картина наблюдается также на Лозе, Лумпун, Позимь и других реках Удмуртии. Наряду со среднегодовыми расходами на большинстве рек отмечается соответственно и возрастание половодного стока.

В начале нового столетия в Прикамье в результате возрастания годового стока было зафиксировано увеличение скорости плановых смещений русла р. Чепцы с 1,02 м/год (1934-1987 гг.) до 1,95 м/год (2001-2005 гг.) [22].

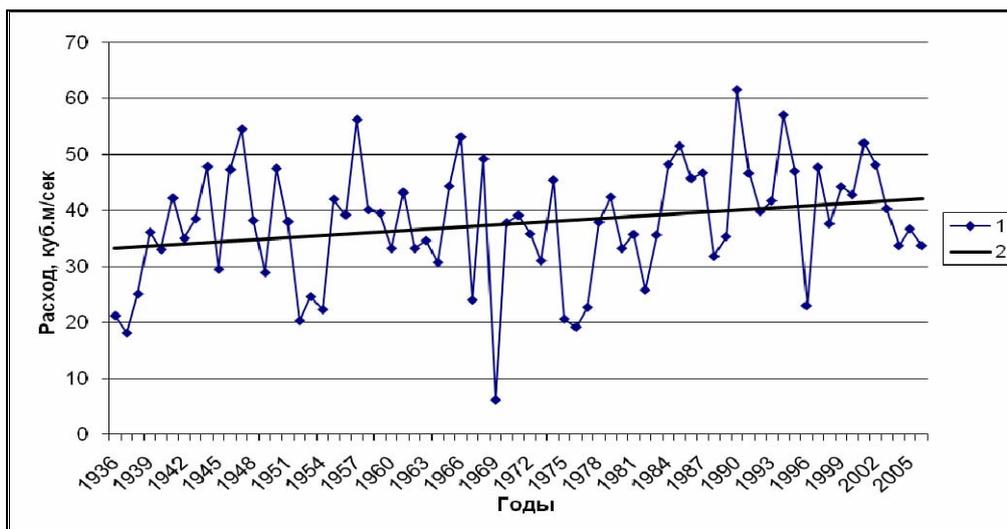


Рис.7. Изменение среднегодовых расходов (1) с линией тренда (2) р.Чепцы (с.Полом) за 1936 – 2006 гг.

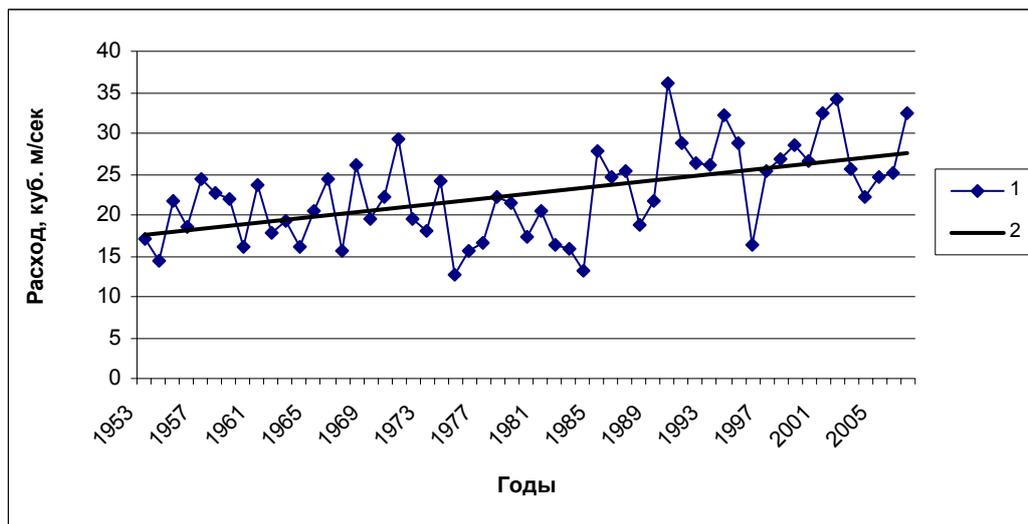


Рис. 8. Изменение среднегодовых расходов (1) с линией тренда (2) р. Вала (с. Вавож) за 1953 – 2007 гг.

Анализ морфологических изменений свободных и адаптированных излучин на ряде рек бассейна Сылвы (Бабка, Ирень, Шаква) показал, что на аэрофотоматериалах 2006–2008 гг. по сравнению с таковыми 1980-х гг. отсутствуют некоторые из ранее существовавших излучин более низкого порядка. Кроме того, установлено, что упрощение конфигурации русел происходило одновременно с активизацией их плановых смещений, выразившейся в тенденции постепенной

трансформации сегментных и синусоидальных излучин в петлеобразные с поперечно-продольным перемещением. Кроме этого факта, свидетельствующего о постепенной смене характера и активности русловых процессов на реках Камского бассейна, необходимо отметить много других примеров эрозионного «омоложения» пологих берегов стабильных излучин. Для ряда рек, характеризующихся развитием петлеобразных и сложных (пальцеобразных, w-образных) излучин, последние годы были отмечены участвовавшими случаями спрямления излучин, происходившего в результате прорыва шейки. Массовые проявления этого процесса были зафиксированы на реках: Буй, Быстрый Танып, Обва, Велва, Чепца, Кильмезь, Вала, Сепыч, Сива и др.

Таким образом, с высокой долей уверенности можно утверждать, что в конце прошлого – начале нового столетия для русловых процессов Прикамья характерно, что приблизившись к

критической величине в результате увеличения годового стока, уровень обеспеченности руслоформирующих расходов ( $Q_{\phi}$ ) на некоторых реках достиг таких значений, при которых излучины, сохранявшие до того пассивность в течение длительного периода времени, вновь включились в процесс активного формирования пойменно-русловых геосистем. На других реках, где развитие излучин (главным образом, сегментных) происходило с активностью, обеспечиваемой текущими гидравлическими характеристиками потока, выявлено значительное увеличение скорости их горизонтальных деформаций.

В качестве общего вывода, подтверждающего сложный (циклический) характер развития русловых процессов в сезонном и многолетнем разрезах в связи с неравномерностью стока [25], можно заключить, что в условиях изменяющегося климата высокой становится вероятность смены общей направленности развития русловых процессов. В зависимости от характера, скорости и взаимоналожения вековых (длиннопериодических), внутривековых (среднепериодических) или текущих (короткопериодических) гидрометеорологических циклов изменения морфологии и морфометрии излучин в будущем могут происходить различными путями: а) снижения скорости или вообще приостановки горизонтальных деформаций, б) увеличения скорости плановых деформаций за счет поперечного и/или продольного перемещения; в) начала процесса спрямления русла и др.

#### Библиографический список

1. Бутаков Г.П., Назаров Н.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Условия формирования русел и русловые деформации на реках бассейнах р. Камы // Эрозионные и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. Вып. 3. С. 138–148.
2. Девятков А.В., Морозова Г.В., Девяткова Т.П. Оценка гидроморфологических условий участка нижнего бьефа Воткинской ГЭС в связи с его хозяйственным использованием // География и регион. IV. Гидрология и охрана водных ресурсов. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2002. С. 101–107.
3. Егоркина С.С., Назаров Н.Н. Горизонтальные деформации русла и экологический риск // Самоорганизация и динамика геоморфосистем. Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2003. С. 344–346.
4. Комлев А.М., Е. Черных Е.А. Реки Пермской области. Пермь: Перм. книжн. изд-во, 1984. 214 с.
5. Кондратьев Н.Е., Ляпин А.Н., Попов И.В. и др. Русловой процесс. Л.: Гидрометеиздат. 1959. 372 с.
6. Ларченко О.В. Системообразующая роль водного фактора в развитии и функционировании природно-антропогенных комплексов (на примере Усть-Качкинской рекреационной зоны): автореф. дис. ...канд. геогр. наук/ Перм. ун-т. Пермь, 2004. 20 с.
7. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
8. Маккавеев Н.И. Сток и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. 116 с.
9. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1986. 264 с.
10. Назаров Н.Н. Современный экзогенный морфогенез ландшафтов таежного Предуралья и Урала: автореф. дис. ...докт. геогр. наук. СПб, 1996. 56 с.
11. Назаров Н.Н. Экзогенные геологические процессы Пермского Урала и Предуралья // Физико-географические основы развития и размещения производительных сил Нечерноземного Урала/ Перм. ун-т. Пермь, 1987. С. 91–103.
12. Назаров Н.Н., Егоркина С.С. Реки Пермского края: Горизонтальные русловые деформации. Пермь: ИПК «Звезда», 2004. 155 с.

13. Назаров Н.Н., Чернов А.В. Особенности проявления и оценка интенсивности горизонтальных русловых деформаций на реках Пермского Прикамья // Геоморфология. 1997. № 2. С. 55–60.

14. Пахомова О.М. Горизонтальные русловые деформации и их связь с порядковой структурой речной сети // Геоморфология. 2002. №3. С. 105-111.

15. Петухова Л.Н. Развитие русловых процессов в условиях различных ландшафтов Удмуртии // Вестник Удмурт. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2003. С. 123 – 134.

16. Петухова Л.Н. Размывы берегов рек Удмуртии: анализ полевых данных // Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию проф. С.И.Широбокова и 45-летию кафедры географии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 2009. С. 49 – 52.

17. Петухова Л.Н., Рысин И.И. О факторах развития горизонтальных русловых деформаций на реках Удмуртии // Вестник Удмурт. ун-та. 2005. № 11. С. 153 – 168.

18. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. М.: МАКС Пресс, 2008. 292 с.

19. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. Л.: Гидрометеоздат. 1985. 264 с.

20. Рысин И.И., Петухова Л.Н. Результаты многолетних исследований русловых деформаций на малых и средних реках Удмуртии // Маккавеевские чтения – 2008/ науч. ред. Р.С.Чалов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. С.109 – 117.

21. Русловые процессы на реках СССР. Масштаб 1:4000000 /ГУГК СССР. М., 1990. 4 л.

22. Рысин И.И., Петухова Л.Н. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Ассоц. «Научная книга», 2006. 176 с.

23. Федотов С.А. Влияние хозяйственной деятельности на водный режим рек Пермской области: автореф. дис. ... канд. геогр. наук / Перм. ун-т. Пермь, 2000. 24 с.

24. Чагин Г.Н. Этнокультурная история Среднего Урала в конце XVII – первой половине XIX века. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1995. 363 с.

25. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т.1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.

26. Чалов Р.С. Типы русловых процессов и принципы морфодинамической классификации речных русел // Геоморфология. 1996. № 1. С. 25–36.

27. Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В. и др. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998. 288 с.

28. Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излуины. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 371 с.

29. Чалов Р.С., Чернов А.В. Районирование Камского бассейна по факторам и формам проявления русловых процессов на средних и крупных реках // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала/ Перм. ун-т. 1996. С. 10 – 20.

30. Чалов Р.С., Штанкова Н.Н. Сток наносов, руслоформирующие расходы воды и морфодинамические типы русел рек бассейна Камы // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Пермь, 2000. С. 99–116.

31. Rysin I., Petukhova L. Monitoring of channel processes on the interfluvium 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. 117–119.

**N.N. Nazarov, I.I. Rysin., L.N. Petukhova**  
**CHANNEL PROCESSES IN BASIN UPPER AND MIDDLE KAMA**

Studying morphodynamic types channels the rivers Kama basin has shown, that in it the rivers with incised and expanded floodplane channel use the greatest distribution. Segment bends (46 %) and rather rectilinear sites the channels (26 %) prevail. Occurrence of the sine wave and broken through bends is rather high. The concave coast of bends are washed away with a speed from first tens centimeters up to 10 m/years. Last decades simplification of a configuration the channels is observed. In conditions of a changing climate high there is a probability of change of the general orientation of development channel processes.

**К е у в о р д s:** channel processes; morphodynamic types channels; river erosion; horizontal deformations; the bend; the climate.

