



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

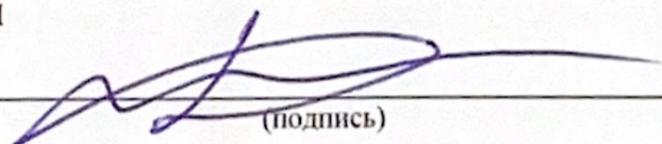
На тему **Особенности развития излучин**
При свободном меандрировании

Исполнитель Левковец Анастасия Юрьевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«26» мая 2025г.

Санкт-Петербург
2025

	Стр.
Введение	4
1 Физико-географическое описание	4
1.1 Географическое положение	5
1.2 Рельеф и геологическое строение	6
1.3 Климат	8
1.4 Почвы	11
1.5 Растительный покров	12
1.6 Экологическое состояние реки	14
1.7 Сведения о хозяйственном использовании реки	15
1.8 Водный режим	17
1.9 Русловой процесс	18
2 Гидрологический режим и гидрологическая изученность	22
2.1 Гидрологический режим	22
2.2 Гидрологическая изученность	23
3 Русловые процессы	25
3.1 Наносы	25
3.2 Свободное меандрирование как тип руслового процесса	25
3.3 Формирование пляжа	31
3.4 Характеристики долины реки Ока	32
4 Методики описания морфометрических особенностей излучин при свободном меандрировании	39
4.1 Параметры излучин	39
4.2 Особенности развития излучин на исследуемом участке реки Ока	41
4.3 Восстановление положений русла по аэрофотоснимкам	43
4.4 Анализ восстановленных положений	45
Заключение	73
Список использованных источников	77

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

Наиболее распространенным русловым процессом является свободное меандрирование, характеризующееся развитием излучин относительно наиболее устойчивых точек перегиба. Ученые давно занимаются исследованием механизмов образования излучин и влияние одной излучины на соседние. Современный метод оценки скорости деформации заключается в наложении различных снимков русла реки и определении направления и скорости деформации береговой линии. Такой метод эффективен для краткосрочных прогнозов деформации русла на период от 30 до 50 лет.

Ограниченная информация из прошлых веков, становится огромной помехой на пути к рассмотрению перспектив на 500-700 лет. На сегодняшний день самым большим релевантным периодом, который можно использовать для прогнозирования русловых деформаций составляет чуть больше 100 лет.

Цель: изучение динамики и интенсивности формирования излучин в течении длительного периода, путем анализа следов плановых деформаций русла, оставленных на пойме.

Задачи:

1. Изучить результаты исследований по данной тематике;
2. Установить динамику характеристик излучин участка реки Ока и скорость их деформирования на основании восстановленных положений русла методами наложения карт и методом пятиугольников.

Объект, состав и методика исследований: Объектом исследования является участок реки Ока, расположенный в 9,5 км от села Ерахтур, в Рязанской области. Площадь водосбора реки 245 тыс. км².

1. Физико-географическое описание

1.1 Географическое положение

Ока является главной водной артерией Рязанской области и одним из самых крупных и многоводных притоков Волги. Протяженность – 1478 км, площадь водосбора – 245 тыс. км². Ока берёт начало в центральной части Среднерусской возвышенности на высоте 226 м. До впадения реки Угра течёт на север в долине глубиной 40–60 м и шириной до 1 км, склоны которой сильно расчленены оврагами. Географическое положение р. Ока приведено на рисунке 1.1 [1, 2].

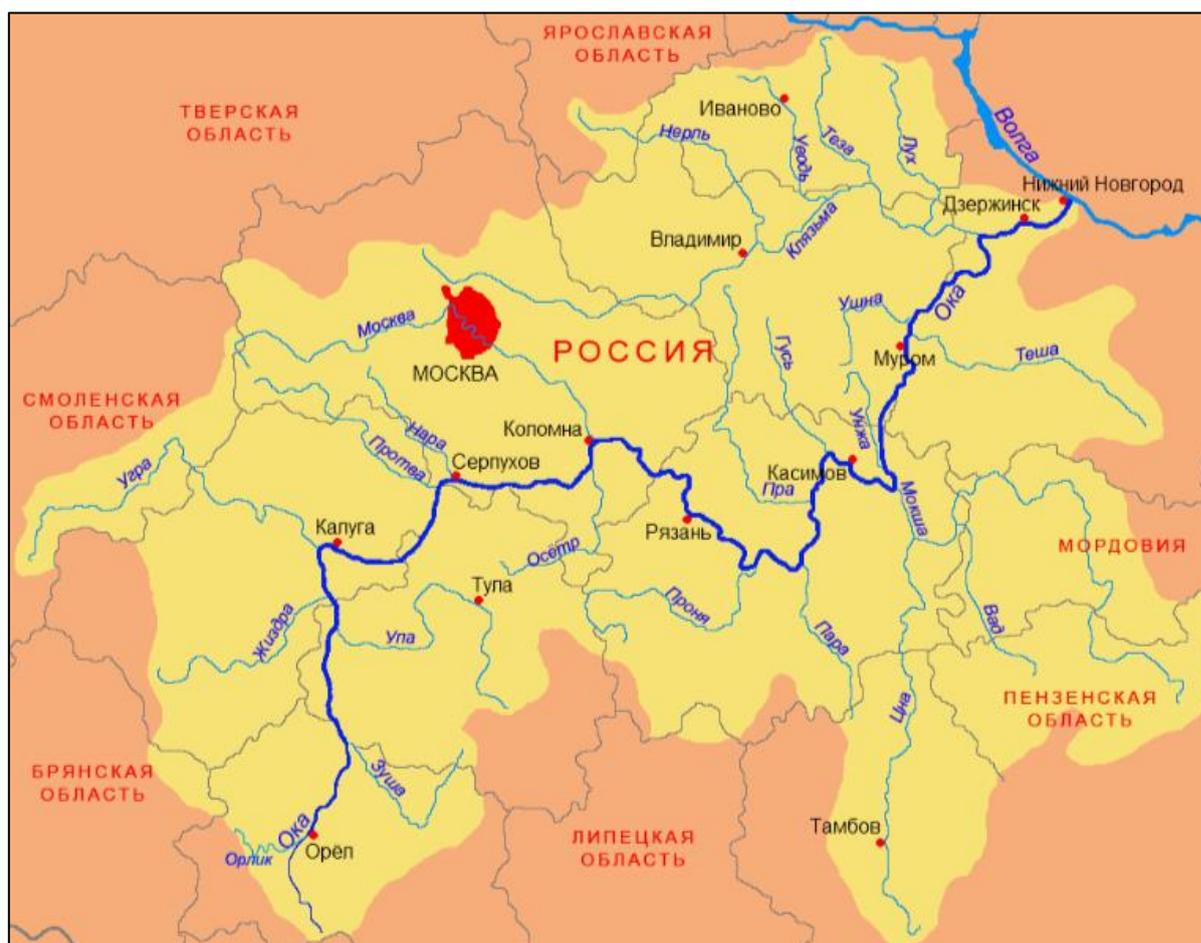


Рисунок 1.1 – Географическое положение бассейна реки Ока

Основные притоки на этом участке – Жиздра, Угра (левые), Упа (правый). Далее Ока поворачивает на восток и северо-восток и огибает с севера отроги Среднерусской возвышенности; ширина долины колеблется от 400 м до 3 км, русла – от 250 до 400 м. Слева впадают Протва, Нара, Москва, справа – Осётр. Ниже впадения реки Москва Ока выходит на обширную и заболоченную Мещёрскую низменность. Долина, ширина которой 10–20 км, нечётко выражена, низкие берега покрыты лугами и полями. На широкой пойме много стариц. Русло, шириной 175–550 м, становится извилистым с множеством мелей и перекатов. Основные притоки: Пра, Гусь, Клязьма (левые); Проня, Пара, Мокша, Тёша (правые). Устье реки Ока – вход в Волгу, находящийся между районами Нижнего Новгорода. Ширина дельты 1 300 метров, она включает остров Гребневские пески [1, 3].

На пути до Рязанской области Ока течет по территориям Орловской, Тульской, Калужской и Московской областей. А покинув Рязанскую область, и несет воды через Владимирскую и Нижегородскую области.

На реке располагаются такие города, как Орел, Калуга, Коломна, Рязань, Касимов, Муром и Нижний Новгород. В бассейне Оки насчитывается примерно 19 тыс. рек, из них более 90% – реки, короче десяти километров. Общая длина всех рек бассейна составляет 90581 км, средняя густота речной сети – 0,37 км/км². Ока относится к равнинному типу с малым уклоном и спокойным течением. В пределах Рязанской области протяженность составляет 489 км [3, 4].

1.2 Рельеф и геологическое строение

Характер речной сети обусловлена сочетанием первичного рельефа, геологии, климатических условий и возраста бассейнов.

Направление стока осадков определяется рельефом подстилающей поверхности, который в свою очередь связан с тектоническими особенностями рассматриваемой территории [5, 6].

Бассейн реки Оки относится к провинции водно-ледниковых и аллювиальных равнин – Окско-Донская низменность, для которой характерны обширные поверхности с отметками 150-180 м. Верхний слой состоит из поверхностных отложений, таких как флювиогляциальные пески, супеси и ледниковые морены.

Территории Окско-Донской низменности слабо расчленены развитием долинно-балочной сетью, мощность четвертичных слоев варьирует от 5-10 метров до максимальной глубины в 100 метров на некоторых участках [7].

Осадочные слои включают образования нижнего палеозоя, девона, карбона, перми и мезо-кайнозоя. Древнейшие верхнедевонские отложения представлены известняками, доломитом, мергелями, гипсовыми и ангидритовыми пластами.

Территория междуречья Москва-Ока покрыта меловыми слоями, зачастую скрытыми под покровом четвертичных образований. Эти районы отличаются определяют развитие карста, проявляющегося в форме провалов, впадин, воронок, подземных пустот и карстовых водоемов.

Для долины реки Оки в ее среднем течении характерно чередование суженных до 1.5–4.0 км и расширенных до 6.0–12.0 км участков поймы, видоизменяющихся по морфологическому облику, особенностям строения толщи голоценовых и подстилающих их плейстоценовых отложений, особенностям развития. На участках с минимальным количеством излучин, массивы имеют гривистую структуру поймы, тогда как зоны активного извилистого движения воды образуют разнообразные формы рельефа, включающие сегменты и широкие ровные участки поймы. Одним из таких примеров является участок в районе населенного пункта Спасск-Рязанский, где ширина поймы изменяется от 4,2 км на входящей реке до 11 км вблизи устья рек Истья и Проня, резко уменьшаясь до 1,4 км рядом с селом Старая Рязань [7, 8].

Участок Константиновского сужения расположен между южной частью Мещерской низменности и северной окраиной Среднерусской

возвышенности, его ширина варьируется от 3 до 4 км. Исключением является район села Константиново, где протяженностью около 7 км пойма реки Оки расширяется до 5,8 км из-за наличия старицы. Средняя ширина поймы в пределах Константиновского участка составляет порядка 3,6 км.

Р. Ока от села Константиново до деревни Иванчино представляет собой классический пример прямолинейного адаптированного русла с односторонней поймой. Хотя коэффициент извилистости на этом участке немного повышен (1,044), само русло считается прямым и стабильным на протяжении минимум двух-трех столетий [8].

В подмываемых рекой уступах высокой поймы под толщей супесчано-суглинистого пойменного аллювия мощностью от 2 до 5.5 м располагаются линзы старичных образований, представленных алевритами и глинами с обломками древесины, в том числе стволами дубов, а также залежами торфа мощностью от 0.5 до 2.5 м. [9]

Ежегодно река размывает берега, перемещая песок и ил, которые накапливаются на противоположных берегах, постепенно превращаясь в заросшие леса поймы.

Когда излучина становится слишком изогнутой, она спрямляется в своей корневой части; прежнее извилистое русло становится старичным озером, а река разрабатывает новое ложе в стороне от старого, максимальная глубина бывшего плёса не превышает здесь 5 м, средняя же по затону – около 2 м [10].

У большинства притоков реки Оки, кроме тех, что берут начало на Среднерусской возвышенности, хорошо выражены террасы. Дно небольших рек представлено песком или смесью песка и глины, их русла отличаются сильной извилистостью. Ландшафт долин малых рек относительно плоский и покрыт лугами, тогда как средние и крупные реки пересекают территорию ложбинными долинами [7,9].

1.3 Климат

Бассейн Оки находится под воздействием атлантических, арктических воздушных масс и континентальных европейских потоков и расположен в зоне умеренно континентального климата. Континентальность климата увеличивается с севера-запада на юго-восток. Значения основных климатических характеристик варьируются на территории района в зависимости от общих и местных факторов: солнечной радиации, циркуляции атмосферы, подстилающей поверхности. Бассейн реки находится под воздействием воздушного циклона с Атлантики [1, 2].

Осенью и весной распространён западный тип циркуляции, характеризующийся активной циклонической деятельностью, осадками, положительными аномалиями температуры воздуха зимой и отрицательными аномалиями температуры летом. Западный тип циркуляции характеризуется значительной устойчивостью, которая сохраняется около 1-2 месяцев.

На востоке и юго-востоке территории циклогенез проявляется в меньшей степени, а с конца сентября до середины мая западная циркуляция сменяется восточной, которая приводит к малооблачной погоде с большими отрицательными аномалиями температуры воздуха зимой и положительными летом [6, 11].

Среднегодовая температура воздуха на территории бассейна реки Ока колеблется от $1,4^{\circ}\text{C}$ на северо-востоке до $4,7^{\circ}\text{C}$ на юго-западе. Значение годовой амплитуды, увеличивается с запада на восток от 27°C до 32°C .

Среднесуточные температуры января изменяются от -8°C на западе бассейна до -12°C на востоке. Он является и самым холодным месяцем, минимальное значение температуры воздуха достигает -42°C на юге и -50°C на севере.

Ранняя весна характеризуется стабильным переходом температуры воздуха через 0°C . На юго-западе средняя температура воздуха становится положительной в начале апреля, на северо-востоке на 5-10 дней позже.

В теплое время года значение температуры воздуха возрастает с северо-запада на юго-восток. Самый жаркий месяц – июль. Средние температуры

которого достигают 20°C на юге и юго-востоке. Средняя продолжительность теплого периода с среднесуточной температурой выше 15°C – 55-60 дней на севере и северо-востоке, и 90-100 дней на юге [1, 2, 11].

С начала-середины октября среднесуточные температуры опускаются ниже 5°C, 0°C наступает в конце октября на севере и в начале ноября на юге. Заморозки начинаются в ноябре. В период с ноября по апрель среднее количество дней с оттепелями составляет 20-25 на востоке и 30-40 на западе территории. Продолжительность оттепелей может достигать 9-22 дней без перерыва.

На западных склонах Валдайской, Среднерусской и Смоленско-Московской возвышенностей наблюдается увеличение осадков. Годовые суммы осадков изменяются в широких временных рамках. Во многоводные годы с частотой один раз в 20 лет суммы осадков превышают норму на 33-40%, тогда как в маловодные годы они снижаются на 30-40% от нормы.

Среднемноголетняя сумма осадков достигает 600-800 мм. В многоводные годы осадков на 30-40% выше, а в маловодные на 30-40% ниже нормы. В зимнее время года в бассейне реки Ока образуется снежный покров. На севере его высота достигает 15-20 см, на юге – 3-7 см. Годовое распределение осадков крайне неравномерно. Более 60-70% от общего количества осадков приходится на апрель – октябрь, пик наблюдается в июле. Минимальное количество осадков наблюдается в феврале и апреле. Жидкие осадки составляют 65-75% от общего количества осадков, твердые - 15-25%, а смешанные - около 10-15% [2, 12].

В мае – сентябре выпадают только жидкие осадки, в апреле доля жидких осадков составляет 40-60%. В октябре-ноябре снижается до 25-30%. С декабря по март преобладают преимущественно твердые осадки. Наибольшее количество смешанных осадков наблюдается в октябре, ноябре и декабре.

В осенне-зимнее время господствуют ветры юго-западного и юго-восточного направлений. Летом из-за усиления меридиональных циркуляции

атмосферы, частота ветров северо-западного, северного и северо-восточного направлений возрастает. Максимальная средняя скорость ветра наблюдается в зимнее время и в начале весны, минимальная — летом [12]

1.4 Почвы

В бассейне реки Ока преобладают дерново-подзолистые почвы различные по механическому составу, как песчаные, так и супесчаными, суглинистыми и глинистыми. На склонах с большими уклонами, распахиваемые участки дерново-подзолистых почв, подвержены эрозии.

С дерново-подзолистыми сочетаются болотные и торфяно-болотные почвы, занимающие все отрицательные формы рельефа, а также развитые на плоских водоразделах, сложенных слабОВОдопроницаемыми породами [1, 2, 13].

Значительную часть бассейна занимают подзолисто-болотные и болотные почвы, расположенные на левобережной части бассейна Оки и встречающиеся средне- и легкосуглинистые почвы, а на правом – глинистые и тяжелоглинистые.

Смоленско-Московская возвышенность и Московско-Окское междуречье известны значительным распространением дерново-подзолистых почв на плотных суглинках и глинистых покровных отложениях. Ледниковые процессы повлияли на формирование сложных сочетаний почвенного покрова, включающего сложные комбинации дерново-подзолистых почв. Низменные районы заняты преимущественно подзолистыми и болотными почвами. Дерново-подзолистые почвы наиболее характерны для районов с песками и супесями, расположенных вблизи области обратных водотоков и древних дренажных ложбин. Участки пашни с дерново-подзолистой структурой на верхних слоях суглинистых почв подвержены интенсивной эрозии, особенно на крутых склонах [8].

В долине реки Клязьма и на территории Мещерской низменности

распространены средне- и слабоподзолистые почвы, которые сочетаются с болотными и полуболотными видами. Левый берег Клязьмы представлен серыми лесными почвами, а в пойме лугов — аллювиальными дерновыми почвами, нередко заболоченными. На Мещерской низменности в основном преобладают песчаные почвы, а в верхней части левого берега Мещерской низменности — также песчаные почвы. Болотные и полуболотные почвы занимают значительную территорию низменности. Левый берег реки Оки отличается среднесуглинистыми и легкими суглинками, правый же берег покрыт тяжелыми глинистыми и тяжелым суглинком [3, 11, 14].

Для юго-восточной части региона, охватывающей Окско-Тамбовскую равнину и Приволжскую возвышенность, характерно преобладание серых лесных почв наряду с оподзоленными и выщелоченными черноземами. Черноземы юга отличаются суглинистым строением, север — легкими суглинками. На правом берегу реки Мокша встречается преимущественно песчаный тип почв. Верхняя часть бассейна реки Цна известна широким распространением типичных черноземов. Русло реки Оки, Мокши, Суры и других водоемов заполнено аллювиальными почвами [15, 16, 17].

1.5 Растительный покров

Бассейн реки Ока расположен в зоне смешанных и широколиственных лесов, которые характеризуются разнообразным составом и залесенностью. В направлении от северо-запада к юго-востоку, типы лесной растительности изменяются от хвойных к широколиственным [2, 18].

Преимущественное распространение имеют сочетание елово-березовых, хвойно-мелколиственных, осиново-березовых, осиново-сосновых лесов наряду с чисто еловыми, березовыми лесами и сосновыми борами.

Лесистость бассейнов рек в пределах подзоны изменяются очень сильно. Участки с наиболее плодородными почвами — безлесны. В пределах Окско-Донской низменности и Приволжской возвышенности естественная

растительность почти не сохранилась. Залесенность бассейна верховьев Оки – 5-10%, в зоне широколиственных лесов – 15-20%.

Подзона тайги переходит в подзону смешанных лесов, где граница плавно проходит вдоль широтного направления реки Ока. Смешанные широколиственно-хвойные леса данной подзоны отличаются значительным разнообразием видов и густоты насаждений. Преобладают разнообразные комбинации лесных массивов — от чистых еловых, березовых и сосновых лесов до сложных сочетаний елово-березовых, хвойных мелколиственных, осиново-березовых и осиново-сосновых пород. Состав древесных сообществ существенно зависит от особенностей ландшафта, экспозиции склонов, типа почв и уровня увлажнения местности [18, 19].

Степень покрытия лесами в пределах речной сети региона неоднородна. Наиболее удобные для сельскохозяйственного освоения территории с богатыми почвами почти лишены лесной растительности. Около половины Мещерской низменности покрыто сосновыми лесами, преимущественно вторичными, сильно модифицированными из-за вырубок и пожаров. Большие территории заняты сосново-берёзовыми лесами, значительная доля которых подверглась заболачиванию.

Южнее начинается лесостепная зона. Верхняя часть бассейна реки Оки, включая район реки Зуша, имеет крайне низкую степень облесенности — всего около 5–10%, причём леса располагаются преимущественно в овражных зонах, где преобладает дуб и лещина среди кустарниковой подстилки. Здесь часто встречаются молодые вторичные леса из берёзы и осины. В районе Окско-Донской низменности широко представлены обширные пойменные луга вдоль крупных рек — Волга, Ока, Клязьма и другие [8, 20].

В долине Оки располагаются обширные луговые массивы. Суходольные луга занимают в лесные опушки, поляны и вырубки, а ложбины, окраины болот заняты низинными лугами. Также распространены пойменные луга.

Значительная часть площади занята под посевные угодья, наибольшую часть которых занимают зерновые культуры такие как озимая рожь, озимая и

яровая пшеница, овес, в посевах технических культур - сахарная свекла, затем овощные – в основном картофель.

В лесостепной зоне луговая флора сосредоточена главным образом на склоновых участках долин, балок и ложбин. Распространены болотно-кустарниковые сообщества, включающие багульник, морошку и голубику. Переходные болота выделяются характерными ассоциациями сфагновых мхов с хвощами, осокой либо гипновыми мхами.

Большая часть поверхности рассматриваемого района используется под культурные растения. Особенно интенсивно сельское хозяйство развито в лесостепной области, где площадь пахотных земель достигает свыше половины всей территории (около 80%). Подзоны южной тайги и прилегающих смешанных лесов освоены значительно меньше, занимая менее 10% и 10–30% соответственно. Значительную долю обрабатываемых земель составляют зерновые культуры, покрывая примерно 40% сельхозугодий [1, 8, 11].

1.6 Экологическое состояния

Качество воды в реке Ока изменяется от «слабо загрязненной» в верховье до «очень грязной» и «грязной» в низовье. За последнее столетие уровень воды в притоках Оки значительно снизился, а более 100 малых рек исчезли.

В середине прошлого столетия Ока начала мелеть. В районе Каширы за этот период река обмелела на 2 метра, в Серпухове – на 1,6 метра. В 2007 году из-за падения уровня воды было приостановлено судоходство, а в 2014 и 2015 годах ситуация повторилась. Обмеление Оки пагубно влияет на популяцию рыбы, некоторые виды на данный момент находятся на грани исчезновения.

Ока не регулируется крупными плотинами и водохранилищами, которые могли бы удерживать большое количество взвешенных веществ, поступающих в реку во время весеннего половодья [21].

Берега Оки густо застроены промышленными предприятиями, такими как химические заводы. Антропогенная нагрузка на реку чрезвычайна. В период снеготаяния большое количество загрязняющих веществ и попадают в реку, поэтому большая часть нагрузки на водоочистные сооружения приходится весной. За последние годы участились случаи массового роста сине-зелёных водорослей, вызывающих цветение реки, во время которого в воду выделяются и токсичные вещества.

Основными причинами сильного загрязнения Оки являются бытовые и промышленные сточные воды из городских поселений, расположенных на ее берегах. Нагрузку увеличивают притоки реки, несущие воды из г. Москва. К основным загрязнителям можно отнести сельское хозяйство и животноводческие комплексы, они загрязняют реку азотом аммонийным и нитритным.

Общее экологическое состояние реки можно считать удовлетворительным. Воды Оки необходимо, качественно очищать. Для этого был разработан целый экологический проект.

Улучшение очистки сточных вод. В последнее время из-за плохого состояния водоочистных сооружений, вода остается загрязненной. Следует очищать сточные воды не только городов, но и всех населенных пунктов.

Экологический мониторинг. Активно используется во всем мире и дает положительные результаты [18, 21].

1.7 Сведения о хозяйственном использовании реки.

Верхняя Ока подвержена антропогенной нагрузке. Основными факторам, повлиявшими на морфологию русла и водный режим является добыча нерудных (песчаных и гравийных) строительных материалов (НСМ) в русле, дноуглубительные работы на перекатах для обеспечения судоходных глубин на речных перекатах и водопотребление. Работы по добыче НСМ были начаты более 50 лет назад и велись на Подмокловских перекатах,

Серпуховских перекатах у г. Серпухова, Белопесоцком перекате у г. Каширы и на перекате Кременьевские пески, в 10 км ниже г/п г. Кашира.

Далее, попутно с продолжавшейся разработкой месторождений НСМ масштабы работ увеличивались и годовые объемы добычи возрастали. Общее количество месторождений, где производилась добыча НСМ, достигла 20, а общая их протяженность составила более 30 км [1, 2, 8].

Карьеры приурочены в основном к перекатным участкам русла с крупными формами скопления аллювия в виде пляжей и побочней. Ширина карьеров варьируется от 0.4 ширины меженного русла до полной его ширины, а максимальная глубина от 5 до 15 м при ее среднем значении около 8 м.

Ежегодная добыча нерудных строительных материалов (песка и гравия) составляет 1–2 миллиона кубических метров. В первой половине 1990-х годов объемы добычи значительно сократились, а в 1994 году добыча была прекращена [6].

Исследуемый участок реки Ока является судоходным. Нормирование судоходных глубин ведется с 1935 г. Гарантированная глубина судового хода была принята вначале равной 0.7 м, а затем увеличилась до 1.3 м.

Для обеспечения необходимых для судоходства глубин, проводились масштабные дноуглубительные работы на акваториях речных причалов, стоянок судов и на лимитирующих перекатах. В современных условиях лимитирующими остаются от 7 до 14 перекатов, расположенных в основном между Серпуховской и Каширской, Каширской и Коломенской группами русловых карьеров НСМ [8].

Работы по углублению русла предполагают создание судоходной траншеи глубиной от 1-2 метра и шириной не менее 40 метров. При этом, в отличие от безвозвратных изъятий грунта из русла при добыче НСМ, разрабатываемый грунт лишь перемещается из зоны фарватера в прибрежную.

На участке до г. Калуги из речной сети бассейна забирается около 1.5 км³ в год, при этом безвозвратное водопотребление составляет около 0.3 км³

На участке г. Калуга – г. Серпухов водопотребление составляет около 0.6 и представляет собой безвозвратные потери.

На исследуемом участке имеются многочисленные переходы различных коммуникаций: мостовые, автодорожные и железнодорожные переходы у городов Серпухова, Каширы и Коломны, а также наплавной (понтонный) мост у г. Озеры, подводные переходы газопроводов и нефтепровода, ряд подводных переходов кабелей связи и электрокабелей; воздушные переходы ЛЭП [8].

1.8 Водный режим

Для бассейна реки Ока характерно смешанное питание с преобладанием снегового. Весной, в период снеготаяния, формируется примерно 60% годового стока, на лето и осень – 25 %, на зиму – 15 %. В летний и весенний период питание реки осуществляется за счет дождей и грунтовых вод, зимой – за счет грунтовых вод [20].

Гидрологический режим Оки характеризуется высоким весенним половодьем, летней и осенней меженью, прерываемой дождевыми паводками, и устойчивой зимней меженью [12].

Годовые изменения уровня воды варьируются от 10–11 метров в верхнем течении до 7,5–8,5 метров – в нижнем. Среднемноголетний расход воды составляет 77 м³/с, максимум в устье – 1300 м³/с. Максимальные показатели расхода воды 20 000 м³/с [22].

В верховьях Ока замерзает в первой половине декабря, в низовьях — в последней декаде ноября. Вскрывается река в первой-второй декадах апреля. Продолжительность весеннего ледохода составляет 4-9 суток. Толщина льда может превышать 50 см. Поскольку река зарегулирована плотинами, удается избежать резкого подъема уровня воды. В черте г. Орёл р. Ока перекрыта плотиной; ниже впадения реки Москва на протяжении 100 км зарегулирована Белоомутовским и Кузьминским гидроузлами [8].

Начало половодья отмечается в последних числах марта и продолжается до середины мая в верховье, а в низовье – в начале июня. Во время весеннего половодья русло Оки увеличивается на 3-5 километров в ширину именно поэтому вдоль берегов строительство ограничено ввиду риска разрушения зданий.

Особенностью исследуемого участка является, то что рядом с г. Кашира отсутствие ледостава, это связано со сбросом тёплых вод с Каширской ГРЭС. С 1878 года, в Рязани, максимальное по высоте и расходу воды половодье отмечено в 1908 году [21].

Берега и дно реки состоят из песка, иногда встречаются галечные перекаты, являющиеся отличным местом для нереста стерляди. Из-за постоянной добычи полезных материалов происходит постоянное обмеление, которое негативно влияет на ихтиофауну.

Среднегодовое значение стока взвешенных наносов и мутности воды в нижнем течении составляют 2 млн т/год и 55 г/м³ соответственно [22].

1.9. Руслевой процесс.

На исследуемом участке русло реки Ока является однорукавным, слабо и умеренно извилистым, в пределах поймы преобразуется в плавные излучины последовательно от одного склона долины к другому. Ширина русла на уровне бровок пойменных берегов составляет в 250 – 550 метров. В зоне фарватера глубина составляет 11 м. Высота берегов над меженным уровнем воды – 5 – 8 м. Склоны, покрытые травянистой и кустарниковой растительностью [23, 24].

Береговые склоны на значительном протяжении русла относительно пологие, в основном покрыты травяной и кустарниковой растительностью, на участке прижима русла к склону долины крутые, приобретают форму уступа с обнажением коренных пород. Значительную крутизну имеют склоны подмываемых, вогнутых в плане, участков пойменных берегов выраженных

излучин русла. В таких местах склоны практически лишены растительности и обнажают слагающие пойму пески, супеси и суглинки. [18,19]

Общий вид берегов реки свидетельствует о высокой степени устойчивости в плане. Ограничивающим фактором являются склоны долины, сложенные трудно размываемыми породами. Основные формы руслового рельефа представлены крупными побочными аккумулятивными образованиями, примыкающими к выпуклому в плане берегу русла и реже к промолинейным участкам.

Русловой аллювий представлен песками разной фракции, часто содержащими гравий и гальку, где-то присутствует ил и глинистые отложения.

Естественная морфология русла в изменена добычей в русле нерудных строительных материалов, которая длилась десятилетиями, а также дноуглубительными работами на перекатных участках для поддержания и обеспечения судоходства.[4, 23]

Характерной чертой морфологического облика русла в его естественном состоянии было чередование по длине реки мелководных перекатных участков и плесовых лощин. Мелководными были, как правило, относительно прямые участки сопряжений излучин русла, зачастую с нечетко выраженным, неустойчивым и извилистым фарватером. Плесы располагались в изгибах русла, в вогнутых частях берега, оттесняемые пляжными аккумулятивными формами с противоположной стороны – выпуклого берега. Глубина плесовых лощин составляет 3-5 метров, а максимальная – 10 метров.

Расположение основных элементов рельефа русла остаётся стабильным, несмотря на постепенное смещение некоторых форм по направлению течения. Некоторые из них расширялись или удлинялись, захватывая прилегающие плёсы [24, 25].

Общий характер руслового процесса на исследуемом участке реки в естественных условиях отличается устойчивым балансом аккумулятивных накоплений и размывом донных отложений. Это обусловлено повышенным поступлением в бассейн Оки осадочных пород, которые являются

наносообразующим материалом, из-за активного освоения водосбора хозяйственной деятельностью, сюда можно отнести распашку угодий, вырубку лесов, которые приводят к интенсивному развитию эрозионных процессов [20].

В процессе исследования изменения уклона по длине русла была выявлена зависимость от особенностей рельефа самого русла на глубоких плёсовых участках уклон редко составляет 0.01–0.03‰, тогда как на перекатах – 0.1–0.2‰.

Наибольший уклон (более 0.2 ‰), был около Васильевского и Акатьевского перекатов в районе впадения р. Осетра. Большие уклоны – 0.16 – 0.2 ‰ были в районе Белопесоцкого и Мутеновского перекатов.г. Серпухов. [23]

Во время весеннего половодья влияние рельефа снижается, а перепады уклонов становятся минимальны, Среднее значение уклона – 0.08‰. На рисунке 1.2 график изменения уклона, построенный по данным Google Earth, на рисунке 1.3 представлен график уклона, построенный по расчётным данным.

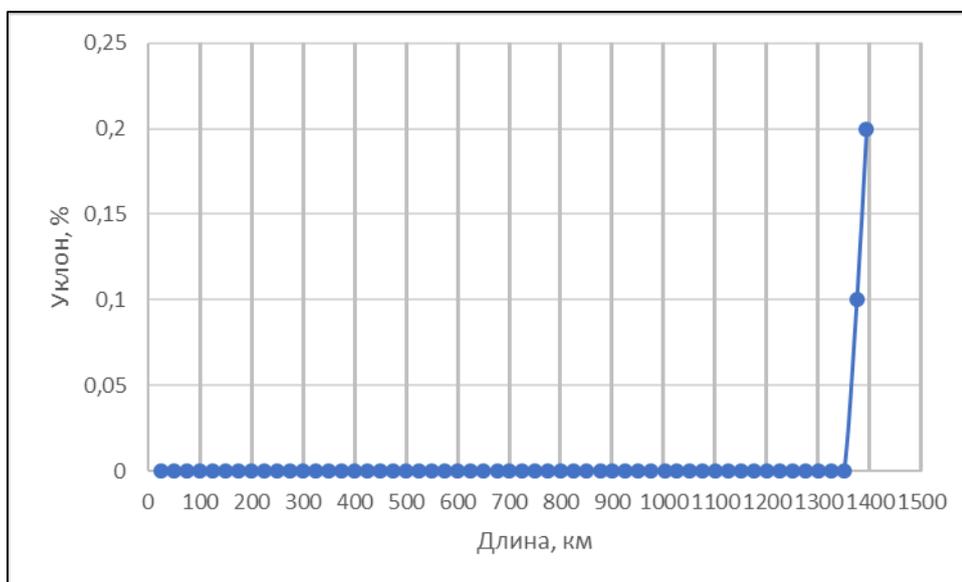


Рисунок 1.2 – График изменения уклона, построенный по данным Google Earth

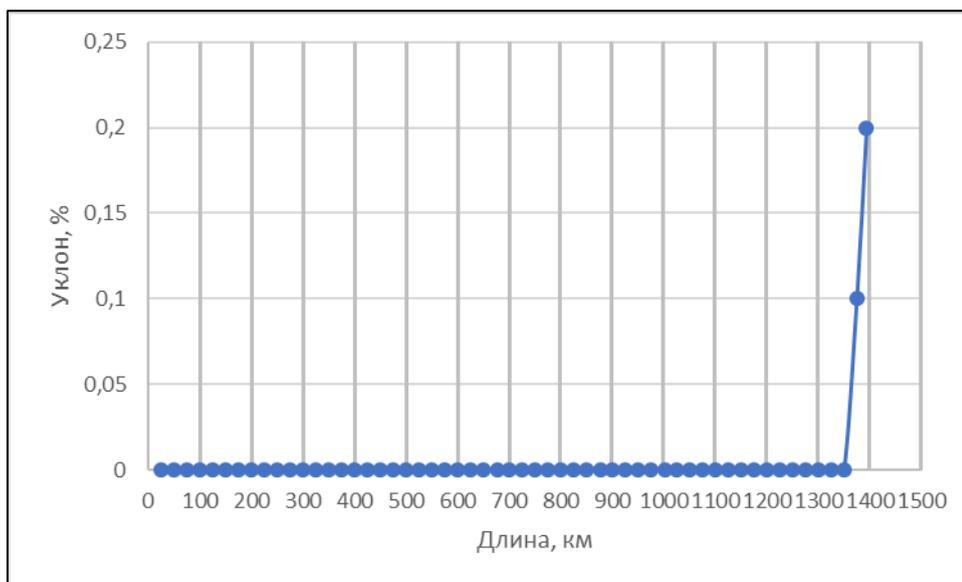


Рисунок 1.3 – График уклона, построенный по расчётным данным

Подобные, но менее значительные деформации русла связаны с разработкой и добычей нерудных строительных материалов рядом с городами Серпухов и Коломна. Особенно заметны последствия в городе Серпухов, где разработка проводилась на мелководьях с серией перекатов таких как Серпуховский, Михайловский, Липицкий и Спасские.

Из-за существенного углубления русла на 5–7 метров в карьерах и до 2–3 метров вне карьеров, участок русла стал канализованным. Наиболее ярко это видно в нижнем течении реки около г. Коломна.

Для поддержания судоходства проводились дноуглубительные работы практически на всех перекатных участках русла. В результате чего был создан искусственный фарватер путём спрямления русла, углубления и расширения естественного русла с подрезкой пляжных отмелей и побочней [8, 24, 26].

2. Гидрологический режим и гидрологическая изученность

2.1 Гидрологический режим

Гидрологический режим реки имеет ярко выраженные высокое весеннее половодье и низкую летнюю межень, периодически нарушаемую дождевыми паводками, и продолжительную зимнюю межень. Паводки зимой, связанные с таянием снега, случаются крайне редко. В основном к зимним паводкам относятся паводки смешанного обусловленные воздействием осадков и таяния снежного покрова происходят в конце ноября и в декабре.

Весенний подъем уровня начинается: на реках северной части региона в начале апреля, а на юге – в конце марта.

Подъем уровня воды в период половодьях происходит быстро, его интенсивность зависит от объема объема весеннего стока, погодных условий и степени зарегулированности стока [4, 12, 27].

В годы с высокими уровнями во время периода половодья интенсивность подъема уровня, значительно выше, чем в годы с низкими половодьями. Средняя интенсивность подъема уровня в период весеннего половодья на в Сурско-Мокшинском районе – 40–80 см/сутки, а в Верхнеокском района – 70–120 см/сутки. Наибольший рост уровня воды на Оке достигает отметки 10–14 метров. Минимальные отметки уровня воды наблюдаются в июле-августе, а самые минимумы – в мае, самые поздние – в ноябре [22, 27].

Летне-осенняя межень характеризуется низким уровнем воды, с небольшими вариациями в пределах нескольких десятков сантиметров (обычно 30–60 см), на реке Ока, где разница может превышать 50 см. Наиболее высокие значения низших уровней отмечены в годы с дождливыми летне-осенними сезонами (1933, 1962), а наиболее низкие — в засушливые годы (1939, 1962).

Зимняя межень отличается стабильным уровнем воды с небольшими колебаниями. Минимальные уровни наблюдаются в период интенсивного ледообразования в начале декабря и в конце марта. Наиболее высокие снеговые паводки наблюдаются в конце зимы и достигают отметки 50–80 см. Самые значительные зимние паводки с увеличением уровня до 3,5–7 метров и временным вскрытием на реке Ока были в 1936 году [22, 27].

Образование ледового покрытия на реках часто сопровождается подъемом уровня воды спровоцированное стеснением живого сечения реки льдом, а на реках северной части территории — заторами. На рисунке представлена гидрологическая изученность исследуемого участка реки Ока, в таблице 2.1 представлено описание гидрологических постов.

2.2 Гидрологическая изученность

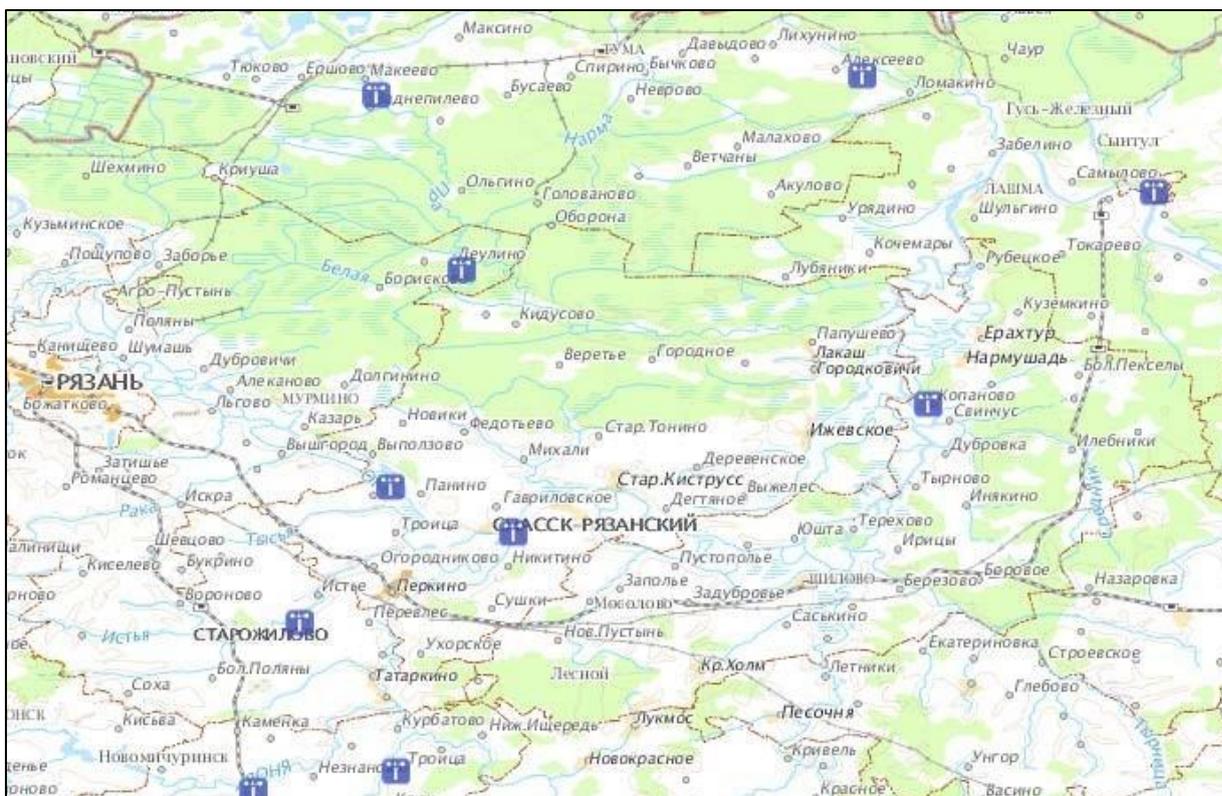


Рисунок 2.1 – Гидрологическая изученность исследуемого участка реки Ока

Таблица 2.1 – Описание гидрологических постов

№ п/п	Река-пост	Площадь водосбора, км ²	Принадлежность	Координаты	Дата открытия	Дата закрытия
1	р. Ока – Половское	99000	Центральное УГМС	54,47 с.ш. 40,22 в.д	01.01.1921	Действует
2	р. Ока – Старая Рязань	111000		54,4 с.ш. 40,41 в.д	23.03.1884	Действует
3	Р.Ока - Копоново	119000		54,6 с.ш. 41,05 в.д	13.04.1884	Действует
4	Р.Ока - Касимов	130000		54,93 с.ш. 41,4 в.д	19.04.1884	Действует
5	Р.Пра - Деулино	4170		54,26 с.ш. 40,01 в.д	04.04.1932	Действует
6	Р.Истья - Поповичи	816		54,26 с.ш. 40,01 в.д.	06.09.1958	Действует

3. Русловые процессы

3.1 Наносы

Образование наносов обусловлено эрозионными процессами, происходящими на водосборном бассейне и в гидрографической сети. В процессе исследования русловых процессов было установлено, что многочисленные перемещения наносов равнинными реками приводят лишь к обратимым деформациям, вследствие чего объем материала, что свидетельствует о незначительных объемах продуктах русловой эрозии.

Современные эрозионные процессы обусловлены разрушением и вымыванием почвы и интенсивность этих процессов зависит не только от природных условий, но и антропогенной деятельности [29, 30].

Выделяют два вида эрозии: нормальную и ускоренную. Нормальная эрозия обусловлена природно-географическими факторами, а ускоренная – антропогенным воздействием. Например, интенсивный размыв почвы на Среднерусской возвышенности в дореволюционный период привел к образованию территории, пострадавших от эрозии, и развитию овражно-балочной сети.

Процесс эрозии на водосборных площадях включает два основных типа: плоскостной смыв и линейный размыв. Термин «плоскостной смыв», условный, так как поверхность стока уже на расстоянии около 20 метров от водораздела образует микрорусла, которые постоянно видоизменяются под воздействием сельскохозяйственного использования, а смыв осуществляется более или менее равномерным слоем [29, 30].

Линейная эрозия проявляется в виде размыва почв мощной струей воды, стекающей по склону. Глубина размыва достигает 2–3 метра, промоин до 4 метров и оврагов до 15 метров, они нарушают почвенный покров. Эти образования невозможно устранить путем обычной агротехнической обработки. Линейная эрозия наиболее распространена на Среднерусской и

Приволжской возвышенностях.

Овраги с современными донными размывами наблюдаются на Приволжской возвышенности, где густота овражной сети достигает 1,0–1,5 км/м². На Среднерусской возвышенности наблюдается менее 10 % оврагов с донным размывом, которые имеют распространение эрозионных форм, напоминающих овраги, но они, частично или полностью задернованные, или залесенные [30, 31].

Степень интенсивности поверхностного смыва определяется природным и антропогенными факторами. К природным относят климатические условия, рельеф местности, состав почв, геология и наличие растительного покрова. Основными геоморфологическими факторами, влияющими на величину стока наносов, являются длина склона и уклон водосбора.

Пески и легкие супеси подвергаются большему смыву, чем глины и суглинки, но общая величина смыва с песчаных почв при прочих равных условиях меньше, чем с глинистых.

Многолетний мониторинг показывает значительные колебания годовой величины стока наносов. Внутригодовое распределение стока наносов характеризуется крайней неравномерностью. Большая часть которого проходит в весенние месяцы, доля весеннего стока наносов увеличивается с северо-запада на юго-восток [29, 30, 31].

3.2 Свободное меандрирование как тип руслового процесса

При отсутствии воздействия внешних факторов, влияющих на изменение русла, например, склонов долин излучины начинают постепенно сползать, как при ограниченном, образуя петлю. Конечным результатом является прорыв перешейка излучины, вызванный сближением противоположных берегов. Схема плановых деформаций свободно меандрирующей излучины, напоминает разворот "S"-образной фигуры вокруг

ее точки перегиба, положение которой устойчиво в пространстве и совпадает с положением переката. При переходе излучины от скатывания к развороту "S"-образной фигуры (то есть при углах разворота 120-150°) возникает асимметрия плановых очертаний, которая продолжает увеличиваться до прорыва перешейка петли [9, 31,].

Плановые деформации русла крайне неравномерны, вследствие чего ближние излучины могут быть на различных стадиях развития. Именно различие в развитии соседних излучин влияет на то, что излучины могут приобретать разнообразные плановые очертания. После перехода и сползания к развороту "S"-образной фигуры вокруг точки перегиба, излучина приобретает ассиметричную форму, начинается процесс разделения плеса. Встречаются излучины, состоящие из 5-10 плесов, которые разделены перевалами. На рисунке 3.1 представлено последовательное положение излучин при свободном меандрировании [9, 31].

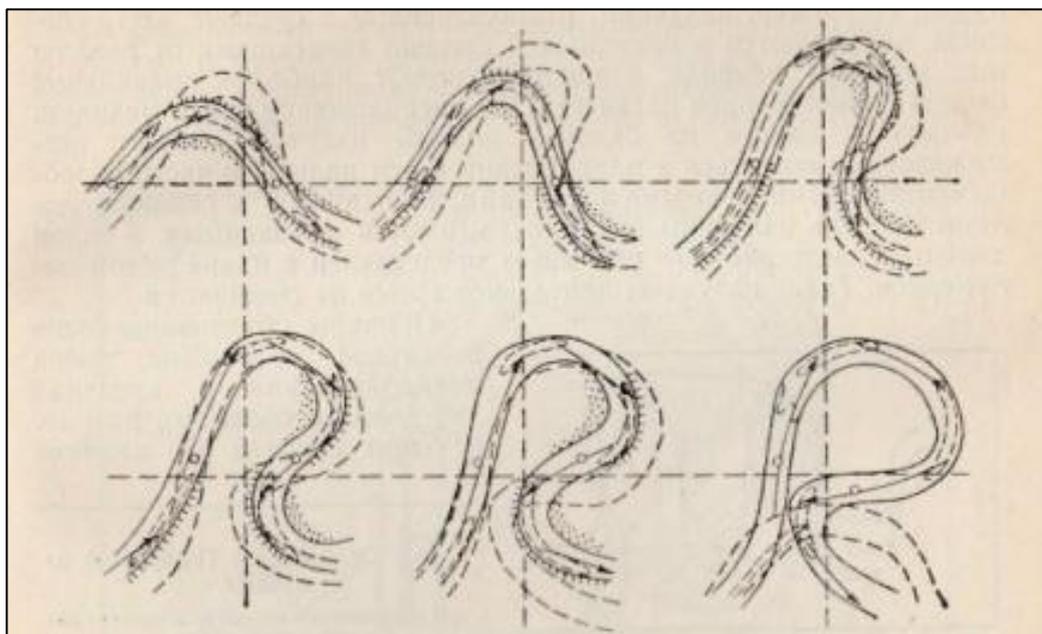


Рисунок 3.1 – Последовательное положение излучин при свободном меандрировании

С возрастанием асимметрии излучины увеличивается вероятность раздвоения плесов и увеличения их количества. Количество плесов на участке реки с излучинами пропорционально ее асимметрии.

Положение пояса меандрирования оказывает влияние на формы излучин и интенсивность развития плесов и перекатов. При пересекающем русло, поясе меандрирования, группа смежных излучин, в период половодья, когда они выравниваются, имеет небольшие плановые скорости. Если река прижата к неразмываемому склону, то могут образовываться вытянутые пальцеобразные излучины, с направленными к центру долины вершинами и разделенные прямыми участками, примыкающими к склонам. Тема влияния положения пояса меандрирования в пределах поймы на развитие меандр практически не изучена [32, 33].

Пойменный массив – выделенная единица типизации речных пойм, которая характеризуется определенным набором морфологических элементов, их общим происхождением, порядком накопления аллювиальных осадков и замкнутым гидравлическим циклом. Пойменный массив определяют по нескольким критериям, один из них – положение русла реки в пределах долины.

Простые типы пойменных массивов появляются при ограниченном меандрировании, при котором каждая из излучин пересекает всю площадь долины. В таком случае пойменный массив представляет собой участок поймы, охваченный одной излучиной русла.

При свободном меандрировании долина пересекается изгибами пояса меандрирования, формирующими несколько излучин.

Обобщающими характеристикам пойменных массивов являются наклон поверхности массива по направлению течения реки и от русла к склонам долины и постепенное затопление массива, распространяющееся вверх, с последующим разрывом береговых валов в верхней части массива [31, 32, 33].

При ограниченном меандрировании транзитных потоки водных масс в период половодья и паводков идет затопление поймы параллельно оси

долины. При свободном меандрировании образуется сложная система потоков, которые образуются при переливе воды через нижнюю часть массива и направлены по течению реки, создаются потоки от прорывов через верховые береговые валы, направленные вниз по течению реки.

При ленточно-грядовом и побочном типах руслового процесса, для которых не характерны плановые деформации, новые участки поймы не образуются. Но если при данных типах руслового процесса русло реки располагается в обширных поймах и имеет прямолинейный контур это указывает на то, что эти потоки сформированы не современными, а предшествующими, когда река имела меандрирующий характер [31, 32].

Встречаются случаи появления длинных прямолинейных валов на поймах при побочном режиме (р. Дон), это объясняется особенностями местного распределения наносов и их транспортировки. Вследствие сильных изгибов долины и активной эрозии склонов долины возникают условия, при которых побочное русло вначале выстраивается цепочкой вдоль одного берега, а затем путём аккумуляции осадочного материала объединяются в прямолинейный вал. В таком случае противоположный берег подвержен продолжительному размыву, что способствует возникновению ряда односторонних прямолинейных береговых валов.

При многорукавной пойме пойменный массив могут рассматривать, как острова или группы островов, способные разделить поток, возникающий при затоплении поймы.

Пойменные массивы представляют собой участки поймы, где эрозионно-аккумулятивные процессы наиболее развиты, но они не охватывают всю пойму, вне массивов находятся участки поймы с слабо выраженными эрозионно-аккумулятивными процессами, где часто происходят вторичные случайные процессы. Такие участки могут быть названы фрагментами поймы. Выделяют две разновидности таких участков: относительно прямолинейные участки поймы, находящиеся за пределами пояса меандрирования. Здесь активность современного потока проявляется

только в прирусловой зоне; участки поймы, образованные выравниванием пояса меандрирования речной долины [31, 32].

И.В. Поповым и Н.П. Кочаненковой было исследовано 15 крупных рек Европейской территории страны с общей длиной 10 000 км. Данное исследование показало, что участки с унаследованными поймами составляли всего 1% от общей длины рек. Пойменные массивы, образованные при ограниченном меандрировании составляют 48% протяженности рек, а массивы, созданные при свободном меандрировании – 51% длины рек.

На участках рек со свободным меандрированием пойменные массивы, охватываемые 3-10 излучинами русла, составляли 34% длины рек; массивы, образованные 10-15 излучинами, занимали 20-25 излучин на 6% длины рек; в 37% длины рек пойменные массивы, возникающие при свободном меандрировании, не охватывали всю ширину поймы [32, 33].

В ходе данного исследования также было установлено что средний шаг массива (расстояние между излучинами) составляет 3,9 ширины пояса меандрирования. Степень разветвленности массива (отношение длины контура к шагу) – 1,6. На половине протяженности рек ширина пояса меандрирования – $1/2$ общей ширины поймы.

По мере увеличения ширины поймы резко возрастает количество излучин, однако существует предел, после которого рост числа излучин замедляется. И.В. Попов и Н.П. Кочаненкова установили, что предел достигается при ширине поймы около 4 км. На реках с шириной долины более 4 км удвоение ширины поймы также приводит к удвоению числа излучин [32, 33].

Поймы делятся на: поймы ограниченного, свободного и незавершенного меандрирования. В случае незавершенного меандрирования, поймы занимают переходное положение между островными поймами и имеют формы деформации русла, которые соответствуют различным типам пойм. Основными факторами формирования пойм являются те же факторы, что и русловые процессы, а именно водный режим и сток наносов. В этом контексте

речные поймы могут рассматриваться как особая форма переноса наносов, которая характеризуется условно-необратимыми деформациями.

Помимо основных факторов, важными элементами формирования пойменных массивов является соотношение объемов транспортируемых потоком наносов (донных и взвешенных). Незначительный объем взвешенных наносов обуславливает возникновение низких пойм, высокий – формирование высоких пойм. Эти виды пойм наиболее характерны для условий ограниченного и свободного меандрирования [32, 33].

Другие значимые факторы, такие как делювиально-овражные отложения, заметнее всего проявляются в узких долинах, свидетельствуя о распространённом ограниченном меандрировании, они могут привести к образованию уклона на поверхности поймы от склонов долины к руслу реки.

3.3 Формирование пляжа

Одним из важнейших элементов речной излучины является пляж, относящийся к выпуклому берегу. Образование пляжа вызвано отклонением динамической оси потока на излучине к вогнутому берегу, в следствии чего в период половодья, появляется зона пониженных скоростей течения, которая оказывает положительное влияние на накопление донных наносов.

Для поперечного сечения пляжа характерно сохранение формы гряды. Приуроченная к реке часть пляжа имеет ярко выраженный наклон поверхности, а часть пляжа, которая обращенная к пойме имеет пологий скат. На гребне гряды, являющейся и гребнем пляжа, характерно наличие кустарниковой растительности такой как ивняк, которая способствует более ускоренному процессу отложения донных наносов и увеличения гребень в высоту [33, 34].

В период половодья, при затопленном пляже, по его поверхности движутся микроформы, которые сваливаясь в низовую часть пляжа, благоприятствуют образованию косы. При высоких скоростях плановых

деформаций излучин косы, могут образовываться длинные косы, протягивающиеся вниз по реке параллельно линии вогнутого берега.

При образовании пляжа, а также его простирания вдоль вогнутого берега, важнейшим фактором является грядовое движение наносов в русле реки. Большое значение для образования имеют условия обтекания потоком берегов русла реки. Если поток в период половодья спрямляется, то коса в нижней части пляжа способствует наращиванию верховой части нижерасположенной гряды по течению. Если поток не спрямляется, то коса, будет располагаться по линии вогнутого берега [33, 34].

3.4 Характеристика долины р. Ока

Бассейн р. Ока расположен протягивается с запада на восток. Густота речной сети 0,2-0,5 км/км². Долины рек бассейна реки Ока трапециевидальной и ящикообразной формы, на территории Среднерусской возвышенности – V-образные. Глубина вреза рек Среднерусской возвышенности – 20 – 40 метров, Мещёрской и Окско-Донской низменностях – 10 – 20 метров, а в бассейне р. Мокша глубина составляет примерно 20 – 30 метров. На рисунке 3.2 представлен график продольный профиль реки Ока, на рисунке 3.3 представлен график изменения глубины на судоходном участке [4,5,6].

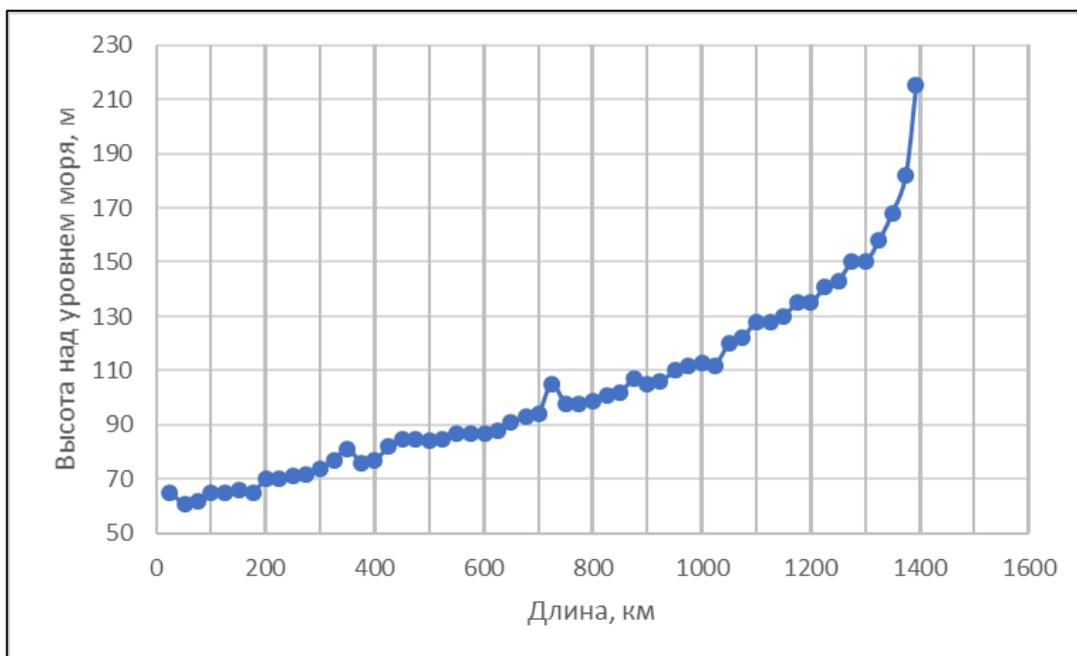


Рисунок 3.2 – Продольный профиль реки Ока

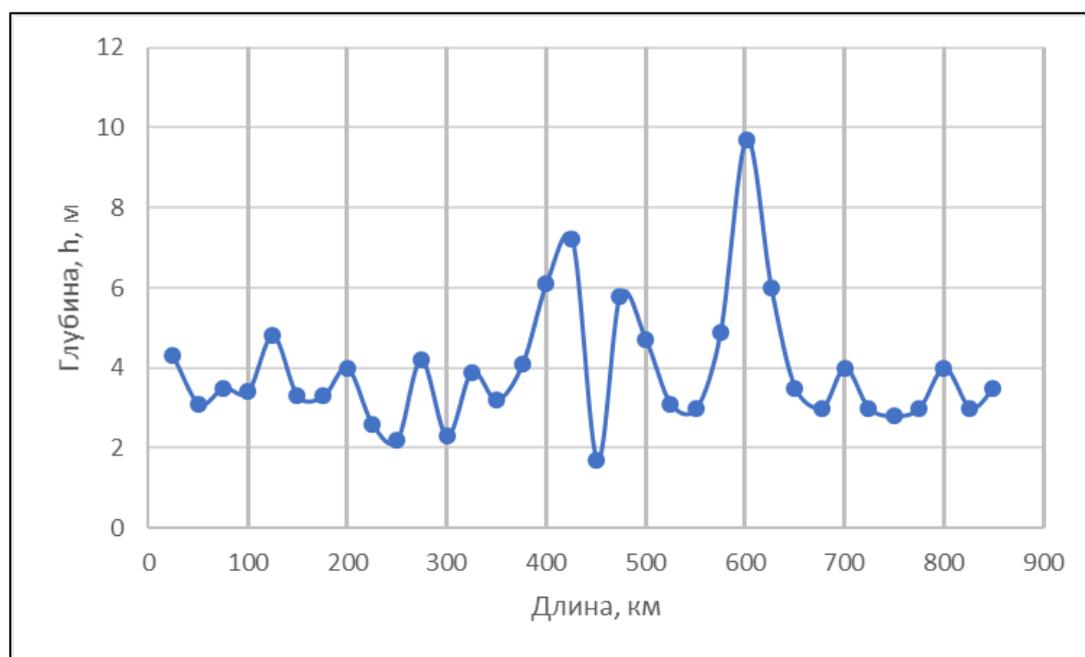


Рисунок 3.3 – График изменения глубины на судоходном участке реки Ока

Долины большинства притоков Оки, являются террасированными. Ширина долин небольших притоков варьируется от 0,5 м до 2–3 километров, а ширина самой Оки в среднем достигает ширины 10–20 километров. На рисунке 3.3 представлен график изменения ширины на реке Ока. Таблица с

расчет параметров представлена в таблице 3.1 [9, 10].

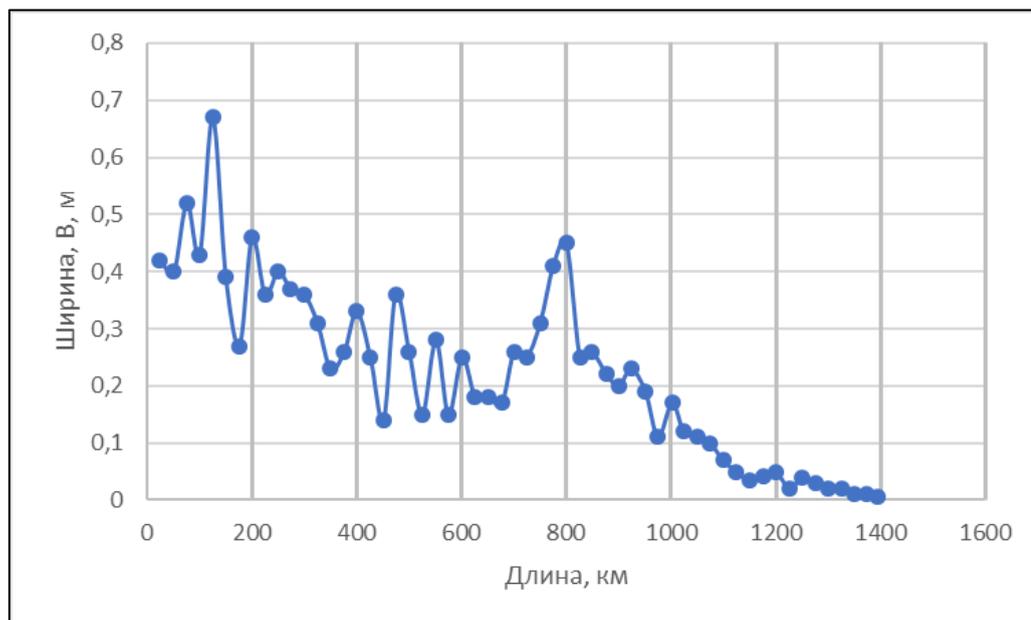


Рисунок 3.3 – Изменение ширины русла на реке Ока

Таблица 3.1 – Расчет параметров реки Ока

Профиль		Длина участка, км	Уклон, I, %	Уклон, I, % (Расч)	Ширина, В, м	Глубина, Н, м
L, км	Высота над ур моря, Н, м					
24,7	65	24,7	0	0,16	0,42	4,3
50,9	61	26	0	0,04	0,4	3,1
75,6	62	25	0	0,12	0,52	3,5
100	65	24	0	0,00	0,43	3,4
125	65	25	0	0,04	0,67	4,8
150	66	25	0	0,04	0,39	3,3
176	65	26	0	0,19	0,27	3,3
200	70	24	0	0,00	0,46	4
225	70	25	0	0,04	0,36	2,6
250	71	25	0	0,04	0,4	2,2
274	72	24	0	0,08	0,37	4,2

Профиль		Длина участка, км	Уклон, I, %	Уклон, I, % (Расч)	Ширина, В, м	Глубина, Н, м
L, км	Высота над ур моря, Н, м					
300	74	26	0	0,12	0,36	2,3
325	77	25	0	0,16	0,31	3,9
350	81	25	0	0,20	0,23	3,2
376	76	26	0	0,04	0,26	4,1
400	77	24	0	0,21	0,33	6,1
426	82	26	0	0,12	0,25	7,2
451	85	25	0	0,00	0,14	1,7
474	85	23	0	0,04	0,36	5,8
500	84	26	0	0,04	0,26	4,7
525	85	25	0	0,08	0,15	3,1
551	87	26	0	0,00	0,28	3
575	87	24	0	0,00	0,15	4,9
601	87	26	0	0,04	0,25	9,7
626	88	25	0	0,12	0,18	6
650	91	24	0	0,08	0,18	3,5
677	93	27	0	0,04	0,17	3
700	94	23	0	0,48	0,26	4
724	105	24	0	0,29	0,25	3
750	98	26	0	0,04	0,31	2,8
775	98	25	0	0,12	0,41	3
800	99	25	0	0,12	0,45	4
826	101	26	0	0,23	0,25	3
849	102	23	0	0,13	0,26	3,5
877	107	28	0	0,04	0,22	
900	105	23	0	0,22	0,2	

Профиль		Длина участка, км	Уклон, I, %	Уклон, I, % (Расч)	Ширина, В, м	Глубина, Н, м
L, км	Высота над ур моря, Н, м					
924	106	24	0	0,25	0,23	
951	110	27	0	0,11	0,19	
975	112	24	0	0,00	0,111	
1002	113	27	0	0,26	0,17	
1024	112	22	0	0,45	0,12	
1050	120	26	0	0,31	0,11	
1075	122	25	0	0,24	0,1	
1099	128	24	0	0,08	0,07	
1125	128	26	0	0,27	0,05	
1149	130	24	0	0,21	0,035	
1176	135	27	0	0,22	0,042	
1200	135	24	0	0,33	0,05	
1226	141	26	0	0,35	0,02	
1250	143	24	0	0,29	0,04	
1275	150	25	0	0,32	0,03	
1300	150	25	0	0,72	0,02	
1325	158	25	0	0,96	0,02	
1349	168	24	0	1,96	0,01	
1374	182	25	0,1	7,28	0,01	
1393	215	19	0,2		0,005	

Исследуемый участок Оки расположен в Рязанской области. В.А. Кривцов, И.М. Новиков в своем учении «Особенности строения и развития окской поймы в пределах рязанской области» Они исследовали современные процессы формирования рельефа в данной местности, оценили масштабы и

морфогенез антропогенных воздействий на формирование долины с использованием крупномасштабных космических снимков. На рисунке 3.4 представлен космический снимок исследуемого участка р. Ока [25].



Рисунок 3.4 – Космический снимок исследуемого участка р. Ока

В.А. Кривцов, И.М. Новиков установили, что пойма реки в районе сел Свинчус и Рубецкое сформировалось в границах Пра-Окской морфоструктуры, где формируются мощнейшие в области аллювиальные отложения 30 – 35 метров. Наибольшей ширина поймы (14 км.) возле села Нармушадь., русло меандрирующее. Ширина меандрирующего участка – 4 км, коэффициент извилистости – 2,63, не характерный для Рязанской области. Участок поймы в районе села Нармушадь до деревни Рубецкое характеризуется как сегментно-гвивистая с абсолютными отметками до 89,9 м, средняя высота поймы достигает 5,2 м, а мощность аллювиальных фаций достигает 4-5 метров. Самые высокие участки поймы, представленные песчаными островами ("останцами") – 92 метра, практически не затапливаемые в периодв весеннего половодья. Поймы малых рек

характеризуются как ровные, покрытые луговой растительностью, поймы средних и крупных рек пересечены ложбинами и староречьями, в пределах Мещерской низменности располагаются болота.

В бассейне реки Ока наблюдаются хорошо развитые поймы, что указывает на меандрирование с преобладанием свободного ограниченного и в меньшей степени незавершенного меандрирования, при котором русло реки однорукавное извилистое [25].

Излучины проходят циклы деформаций, характеризующиеся постепенным увеличением ее кривизны от слабо развитой до ярко выраженной U-образной формы. Развитие излучины завершается прорывом петли в результате сближения берегов реки. После чего цикл повторяется. Данный тип характерен для широких речных долин с хорошо развитой поймой.

4. Методики описания морфометрических особенностей излучин при свободном меандрировании

4.1 Параметры излучин

Для оценки размеров и формы излучин используются следующие характеристики «измерители» по терминологии ГГИ. На рисунке 4.1 представлены морфологические элементы излучин.

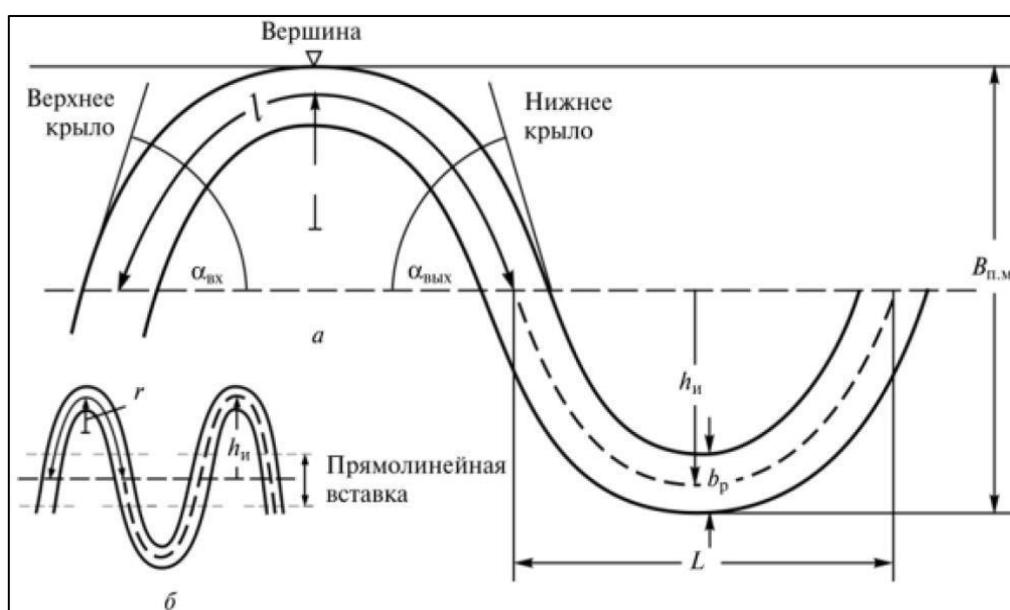


Рисунок 4.1 – Морфологические элементы излучин: а — при плавном переходе; б — при наличии прямолинейных вставок

- L (шаг излучины) – расстояние между вершинами соседних излучин;
- h (стрела прогиба) – перпендикуляр, от оси пояса меандрирования, построенный по направлению к вершине излучины. Две смежных стрелы прогиба приравниваются к ширине пояса меандрирования ($B_m=2h$);
- l (длина излучины по руслу) – сумма длин левого и правого крыла одной излучины;

- r (радиус кривизны) – радиус, которым можно описать кривую геометрической оси русла на превалирующей части излучины, если излучина имеет сегментную или петлеобразную форму, а также если излучина синусоидальной формы, в ее привершинном сегменте;
- ширина русла при вершине излучины – варьируется в периоды в периоды подъема и спада уровня. При наличии побочня у выпуклого берега ширина может быть разной в различные фазы водности, поэтому ее стоит измерять в местах крыльев, привершинном створе, средней части и в створах, и на границах прямолинейных вставок.

К безразмерным показателям относят степень развитости l/L и показатель формы r/h [35, 36].

В научных трудах Попова И. В., Барышникова Н. В. встречаются такие элементы излучин, как: пояс меандрирования B_m , пояс руслоформирования $B_{пр}$, стрела прогиба h , высота излучины u_m , шаг излучин отображается λ , длина излучин – S . На рисунке 4.2 представлена свободно меандрирующая излучина с указанием параметров [37].

Возможно применение таких расчетных параметров, как:

- λ – шаг излучины;
- S – длина излучины;
- u_m – высота;
- β – угол сопряжения излучин;
- угол входа $\alpha_{вх}$;
- угол разворота излучины – $\alpha = \alpha_{вх} + \alpha_{вых}$;
- угол выхода $\alpha_{вых}$;
- угол сопряжения излучин;
- $tg\gamma$ – показатель асимметрии

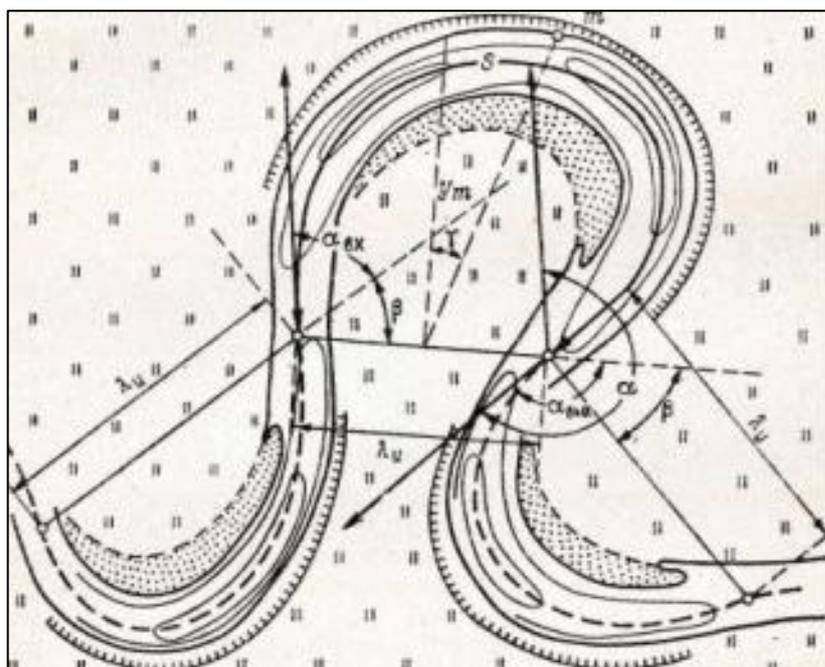


Рисунок 4.2 – Свободно меандрирующая излучина с указанием параметров

Шпора излучины – пространство суши, расположенное между крыльями излучины. При свободной и сегментной формах излучин шпора является пойменным сегментом [36, 37].

При последовательном расположении излучин границы каждой определяются по точкам перегиба русла в плане. Если излучина одна, границы устанавливаются в зависимости от расположения участков с максимальными глубинами, расположения размываемых зон берегов и отношения между собой различных параметров излучин.

4.2 Особенности развития излучин на исследуемом участке реки Ока

Исследуемый участок был выбран для анализа по причине того, что на нем проводились работы по восстановлению прежних положений русла реки до прорыва одной из рассматриваемых излучин, однако, детально этот процесс не изучался.

Для морфометрической оценки речных излучин используется методика, описанная в работе Методика описания речных излучин [35].

Существующие методы расчета русловых деформаций применительно к довольно протяженным участкам рек основаны на грубых схематизациях и допущениях, не учитывая важные морфологические особенности исследуемого участка. Расчет и прогноза русловых деформаций в большинстве случаев не зависит от представлений о том, как переформируется русло, как на ограниченных участках, так и на протяженных, охватывающих всевозможные взаимодействующие формы русловых образований и различные типы речных русел.

Для описания особенностей развития излучин на были рассчитаны характеристики по методу вписанного пятиугольника. Данный метод основан на описании излучины пятиугольником с основными точками. На рисунке 4.3 представлена схема определения параметров излучин методом пятиугольника [36, 37.]

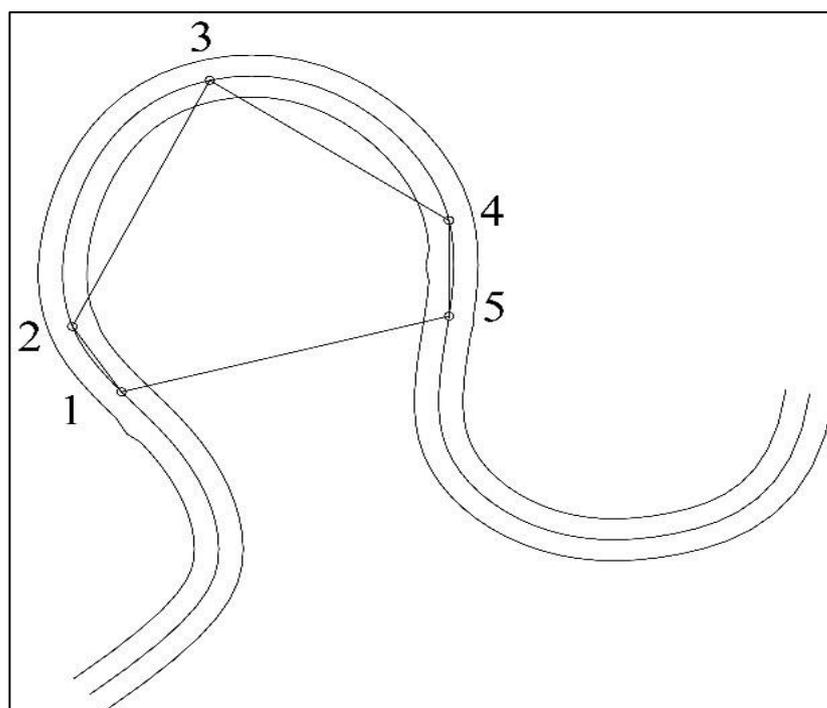


Рисунок 4.3 – Схема определения параметров излучин методом пятиугольника

Точки 1, 5 –точкам перегиба излучины; 2, 4 – точки с наибольшей шириной излучины, 3 – вершина излучины – самая удаленная от точек

перегиба. Расстояние между точками 1 и 5 – шаг излучины λ , сумма длин отрезков 1-2, 2-3, 3-4 и 4-5 близка к длине излучины L . Площадь пятиугольника пропорциональна площади излучины S . Отношение L/λ характеризует степень развитости излучины, а V/λ — относительную полноту. По соотношению длин сторон 1-3 и 3-5 определяют скошенность излучины относительно середины шага. На рисунке 4.4 представлены относительные измерители излучин.

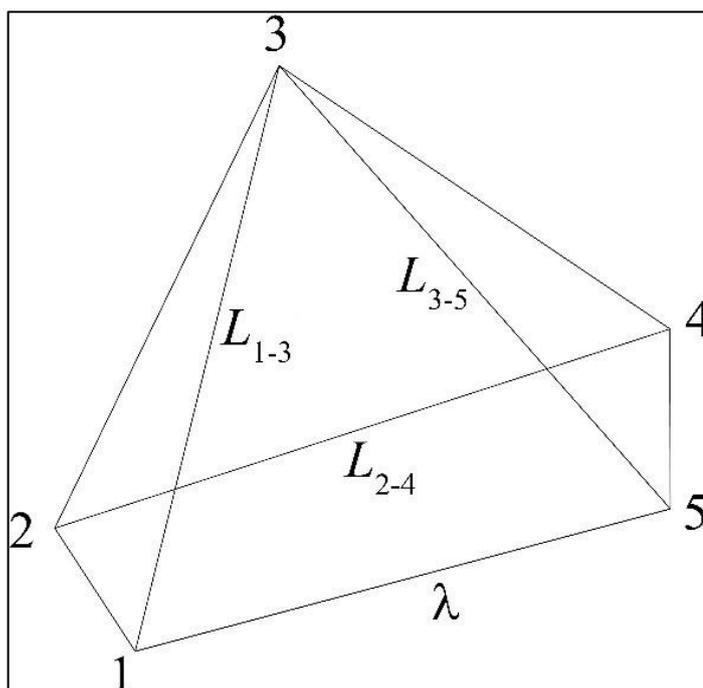


Рисунок 4.4 – Основные измерители излучин

4.3 Восстановление положений русла по аэрофотоснимкам

В своих учениях Игорь Валентинович Попов и Николай Евгеньевич Кондратьев представили схему развития веера перемещения русла. Данная схема позволяет исследовать плавно сопрягающиеся гребни двух смежных вееров, положения которых привязываются к современным положениям русла. [38].

Восстановление положений реки Ока было произведена по материалам аэрофотосъемки. В программе AutoCad по аэрофотоснимкам создавалась

схема микрорельефа поймы и контур современного русла для всех участков реки с изображением вееров перемещения русла и гребней, образующих их. Линии сопрягающихся гребней смежных излучин современного положения русла плавно соединялись между собой с учетом того, что линия гребня верховой излучины устанавливает положение линии вогнутого берега на низовой излучине, а линия берега низовой излучины – линию вогнутого берега верхней излучины, также важно учитывать, что соединять линии двух смежных излучин нельзя, а продолжение линии верхней излучины в пределах ее нижнего закругления строится с отступом от сопрягающейся линии в сторону вогнутого берега нижней излучины [37, 38, 39].

Восстановление прежних положений русла по аэрофотоснимкам следует начать с сопряжения линий двух смежных гребней, хорошо просматриваемых излучин S-образной формы, именно они определяют самое надежное положение русла, далее соединять с соседними участками до тех пор, пока не появятся очертания ряда последовательных положений русла.

Данный способ восстановления русла наглядно демонстрирует, что при реконструкции элементы положений русла являются исключительно схематичными так как в их основе, лежит на ориентации на хорошо просматриваемые, близкорасположенные участки русла.

Длина условных линий, воссозданных по тенденции изгиба выраженных гребней, наиболее близких к современному положению, составляет менее 30% от общей длины участка [38, 40, 41].

При выполнении данной работы важно не забывать о том, что образование вееров перемещения происходит благодаря движению выпуклого берега в сторону вогнутого.

Таким образом, в рамках исследованного участка реки Ока длиной 10 км удалось воспроизвести восстановление положений русла и оценить характер плановых деформаций. Схема последовательных положений русла одного из узлов, восстановленная по аэрофотоснимкам представлена на рисунке 4.5.

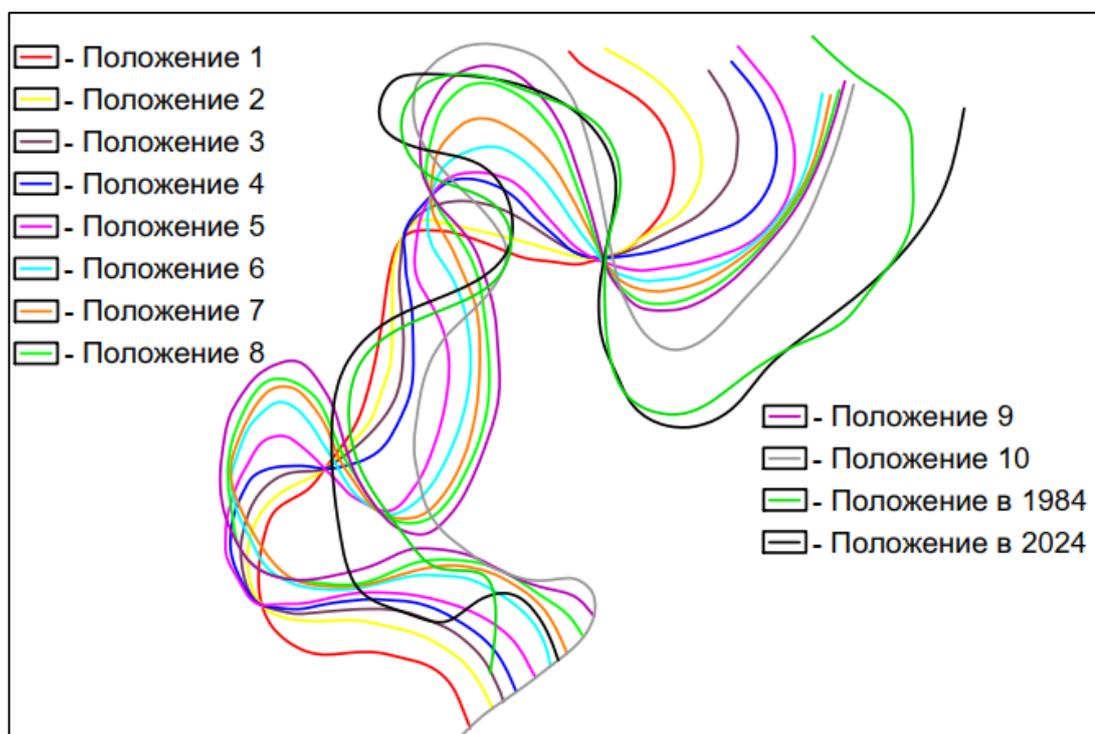


Рисунок 4.5 – Схема последовательных положений русла одного из узлов, восстановленная по аэрофотоснимкам

4.4 Анализ восстановленных положений русла исследуемого участка реки Ока

Для каждой из схематически восстановленных линии движения излучин были определены параметры по методу пятиугольника, а также построены графики зависимости каждого из исследуемых параметров.

Рассмотрим излучину 1, схема последовательных положений данного участка представлена на рисунке 4.6. Расчёт параметров первой излучины участка р. Ока представлен в таблице 4.1. Графики зависимостей исследуемых параметров приведены на рисунках 4.7 – 4.11.

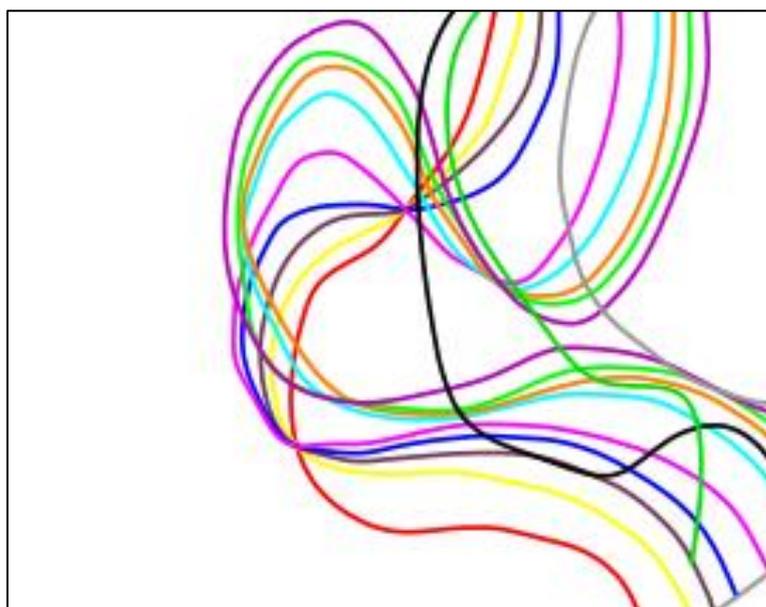


Рисунок 4.6 – Схема последовательных положений излучина 1

Таблица 4.1 – Расчёт параметров первой излучины участка р. Оки

Положение русла	Параметры				
	Шаг, λ , км	Периметр, Р, км	Степень развитости	Относительная ширина	Коэффициент асимметрии
1	2,45	3,60	1,47	0,73	0,97
2	2,11	3,68	1,72	0,75	0,94
3	2,11	3,89	1,95	0,93	1,11
4	1,96	4,09	2,18	0,96	1,11
5	1,55	4,42	2,73	1,38	1,13
6	1,88	5,35	2,8	1,31	1,69
7	1,70	5,61	3,26	1,48	1,48
8	1,66	5,63	3,43	1,51	1,51
9	1,67	6,41	3,92	1,81	1,47
10	1,57	6,31	3,9	1,81	1,53
11	1,59	6,32	3,93	1,79	1,54
12	1,57	6,30	3,94	1,78	1,53

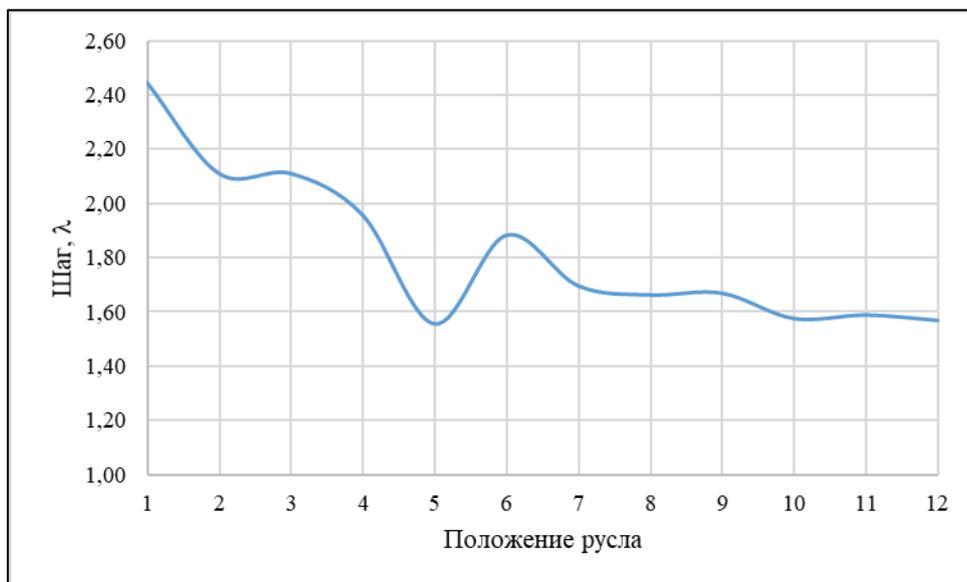


Рисунок 4.7 – Изменение шага излучины 1 по восстановленным
положениям

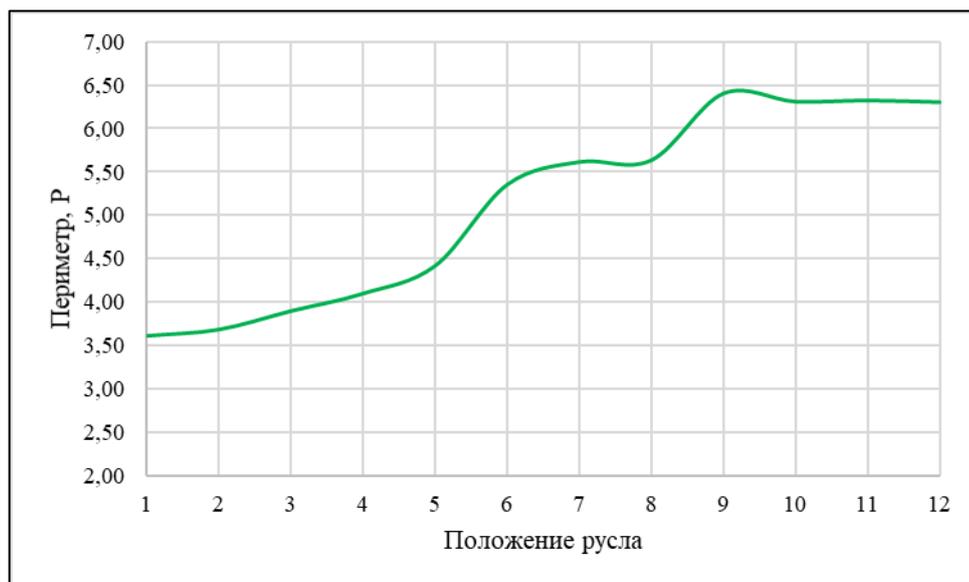


Рисунок 4.8 – Изменение периметра излучины 1 по восстановленным
положениям



Рисунок 4.9 – Изменение степени развитости излучины 1 по восстановленным положениям



Рисунок 4.10 – Изменение относительной ширины излучины 1 по восстановленным положениям

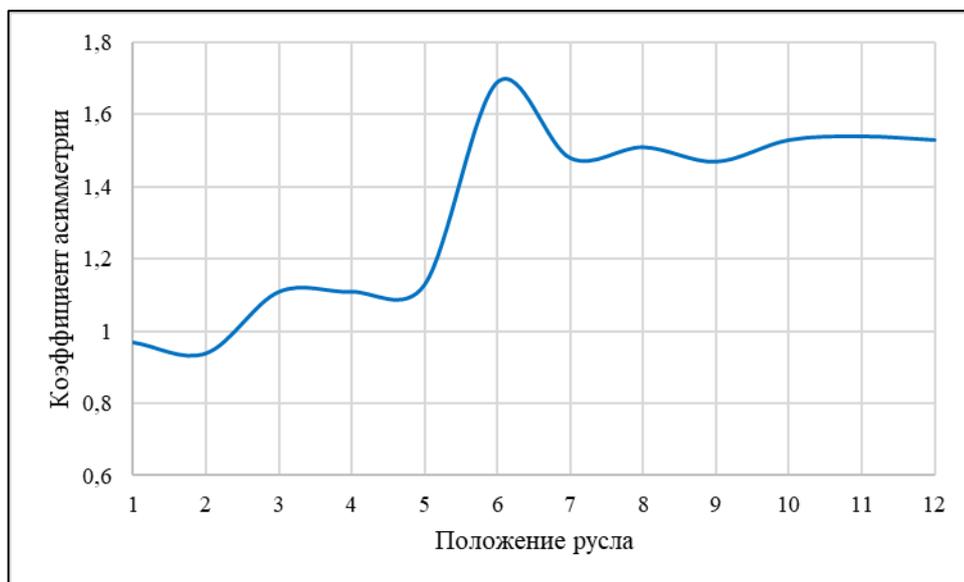


Рисунок 4.11 – Изменение коэффициента асимметрии излучины 1 по восстановленным положениям

Для данной излучины характерно, уменьшение шага. При первом положении шаг излучины составил 2,45, а в 2024 – 1,57, что свидетельствует о заметном уменьшении расстояния между наиболее удаленными точками излучины и развитию излучины.

Значения периметра первой излучины при первом положении 3,6, а в последнем – 6,3. Увеличение периметра излучины свидетельствует об увеличении длины и размеров излучины, а также формировании более извилистых очертаний.

Значение степени развитости для данной излучины при первом положении 1,47, а при последнем – 3,94, что свидетельствует о положительной динамике и указывает на развитие более сложной, извилистой формы излучины.

Значения относительной ширины увеличились с 0,73 до 1,78. Повышение значения происходило постепенно, на графике зависимости наблюдаются два пика при 3 и 9 положениях. Такая тенденция свидетельствует о том, что излучина приобретает свою максимальную ширину, относительно имеющийся длине, под воздействием руслообразующих факторов.

Коэффициент асимметрии тоже имеет тенденцию на повышение, на 6 положении наблюдается максимальное значение – 1,69, что свидетельствует о максимальной степени асимметрии в геометрии излучины в данном положении.

На излучине 1, наблюдается увеличение периметра, коэффициента развитости и коэффициента асимметрии, а шаг – уменьшается. Относительная ширина имеет два пика на 5-ом и 6-ом положениях, а коэффициент асимметрии имеет пик на 6-м положении.

Переходя ко второй излучине, важно рассмотреть аналогичные показатели. Для полноценного анализа требуются данные, представленные в таблице 4.2 и графиках, графики зависимостей исследуемых параметров приведены на рисунках 4.13 – 4.17.

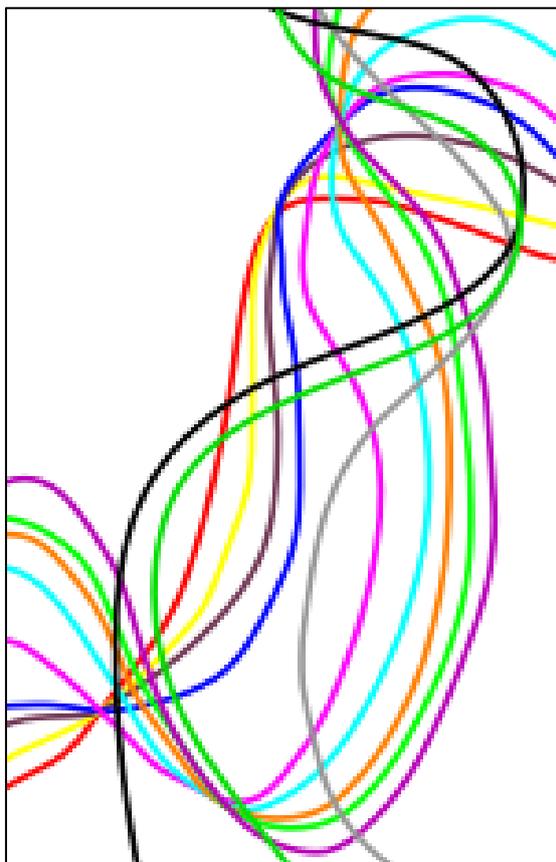


Рисунок 4.12 – Схема последовательных положений излучина 2

Таблица 4.2 – Расчёт параметров второй излучины участка р. Оки

Положение русла	Параметры				
	Шаг, λ , км	Периметр, Р, км	Степень развитости	Относительная ширина	Коэффициент асимметрии
1	2,30	2,33	1,04	0,79	0,95
2	2,30	2,41	1,05	0,80	0,97
3	2,41	2,69	1,04	0,76	0,94
4	2,55	3,23	1,16	0,70	0,85
5	2,43	3,61	1,37	0,84	0,59
6	2,85	4,46	1,48	0,87	0,53
7	2,98	4,88	1,62	0,74	0,51
8	3,28	5,31	1,66	0,88	0,48
9	3,28	5,86	1,74	0,90	0,45
10	3,32	5,91	1,76	0,91	0,47
11	3,33	5,93	1,77	0,89	0,47
12	3,32	5,91	1,76	0,91	0,47

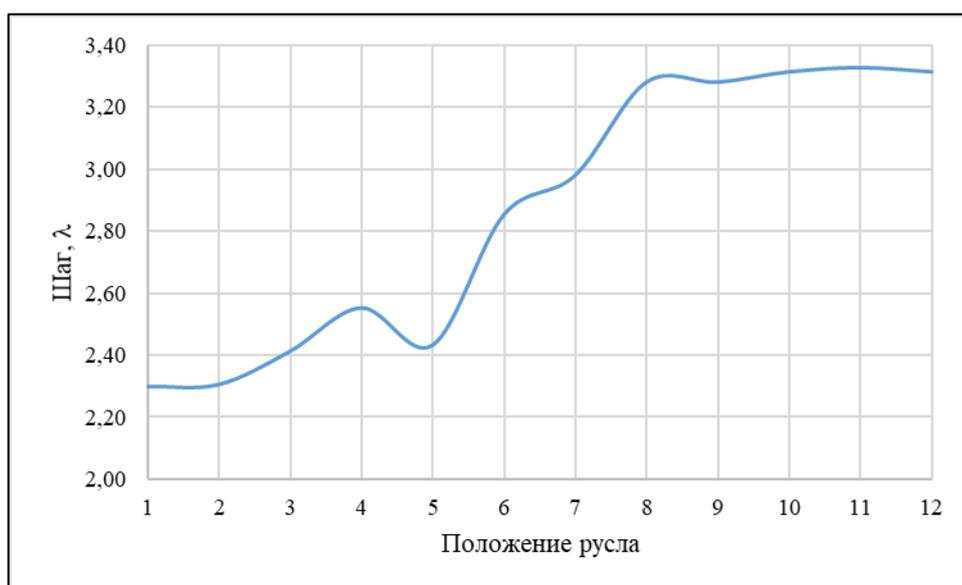


Рисунок 4.13 – Изменение шага излучины 2 по восстановленным положениям

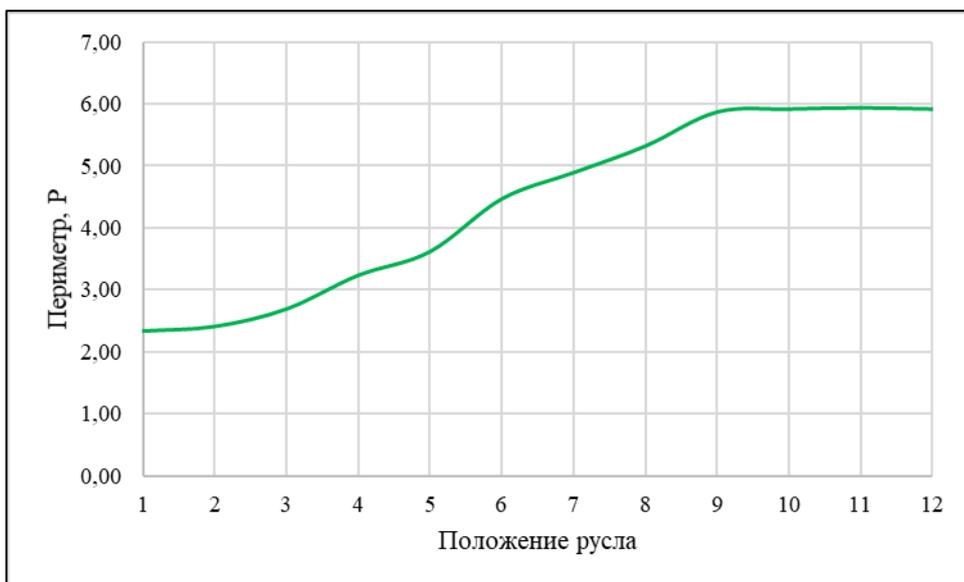


Рисунок 4.14 – Изменение периметра излучины 2 по восстановленным
положениям



Рисунок 4.15 – Изменение степени развитости излучины 2 по
восстановленным положениям



Рисунок 4.16 – Изменение относительной ширины излуины 2 по восстановленным положениям



Рисунок 4.17 – Изменение коэффициента асимметрии излуины 2 по восстановленным положениям

При анализе второй излуины было выявлено увеличение шага при первом положении 2,3, а при двенадцатом 3,32, шаг увеличивается. Периметр тоже увеличивается при первом положении 2,33, при двенадцатом – 5,91, что характеризует увеличение ширины и растяжении вдоль реки.

Коэффициент асимметрии имеет тренд на понижение. При первом положении 0,95, а при двенадцатом 0,47, что свидетельствует о приобретении симметричной формы излучины.

При анализе относительной ширины также наблюдался тренд на повышение при положении 1 – 0,79, а при двенадцатом 0,91. Пики наблюдаются на 6 и 7 положениях с соответственными значениями 0,87 и 0,74, что характеризует скачкообразное изменение ширины с стабильным соотношением длины излучины.

Представленные материалы позволяют провести следующий обобщённый анализ: изменение формы: наблюдается значительное преобразование формы излучины; ширина увеличивается, коэффициент асимметрии: формируется заметная асимметрия.

Параметры излучины показывают следующую динамику: шаг и периметр возрастают, отражая удлинение пути потока, относительная ширина имеет тенденцию к увеличению, что говорит о расширении границ излучины. Коэффициент асимметрии понижается, что сигнализирует о формировании асимметричных структур.

На третьей излучине исходя из описания графика и таблицы 2.3, ожидается аналогичный процесс преобразования формы излучины. Вероятно, аналогичные тенденции в изменении шагов, периметров и относительной ширины. Возможное формирование асимметрий, наблюдаемое визуально на графике.

Однако для точной оценки динамики и характера процессов третьей излучины необходимы дополнительные аналитические расчёты и интерпретация графического материала.

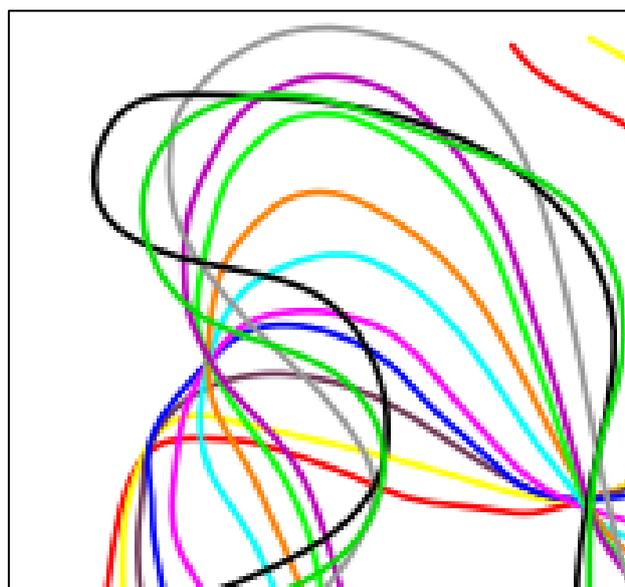


Рисунок 4.18 – Схема последовательных положений излучина 3

Таблица 3.3 – Расчёт параметров третьей излучины участка р. Оки

Положение русла	Параметры				
	Шаг, λ , км	Периметр, Р, км	Степень развитости	Относительная ширина	Коэффициент асимметрии
1	2,43	3,92	1,41	0,62	0,88
2	2,26	3,82	1,35	0,74	0,61
3	2,23	3,90	1,39	0,72	0,81
4	2,15	4,01	1,51	0,76	0,86
5	2,23	4,22	1,97	0,77	0,86
6	2,15	4,40	2,12	0,9	0,92
7	2,10	5,08	2,39	0,86	0,95
8	2,02	5,55	2,78	0,94	0,96
9	1,98	5,86	2,98	1,1	0,98
10	1,97	5,84	3,04	1,15	0,97
11	1,96	5,86	3,05	1,16	0,98
12	1,98	5,88	3,05	1,17	0,96

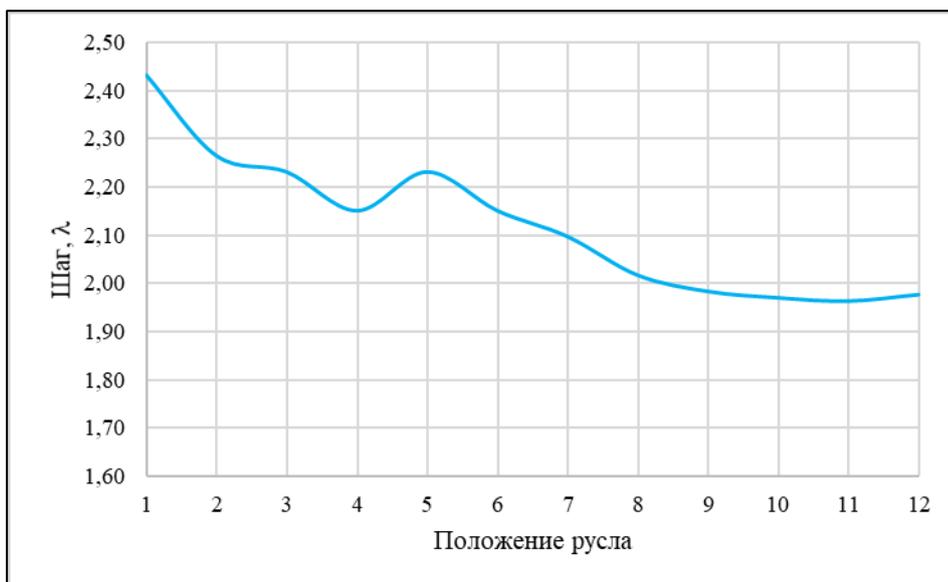


Рисунок 4.19 – Изменение шага излучины 3 по восстановленным
положениям

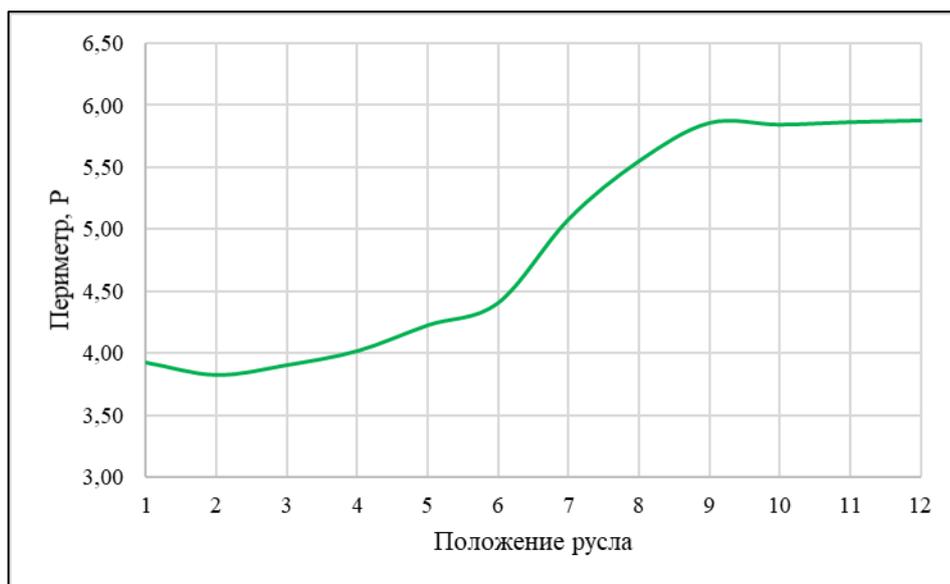


Рисунок 4.20 – Изменение периметра излучины 3 по восстановленным
положениям

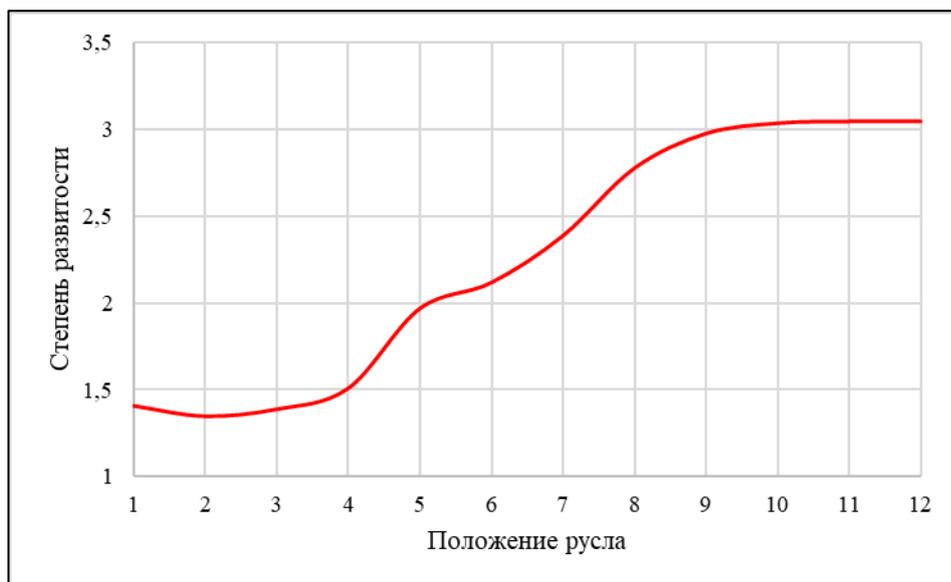


Рисунок 4.21 – Изменение степени развитости излучины 3 по восстановленным положениям

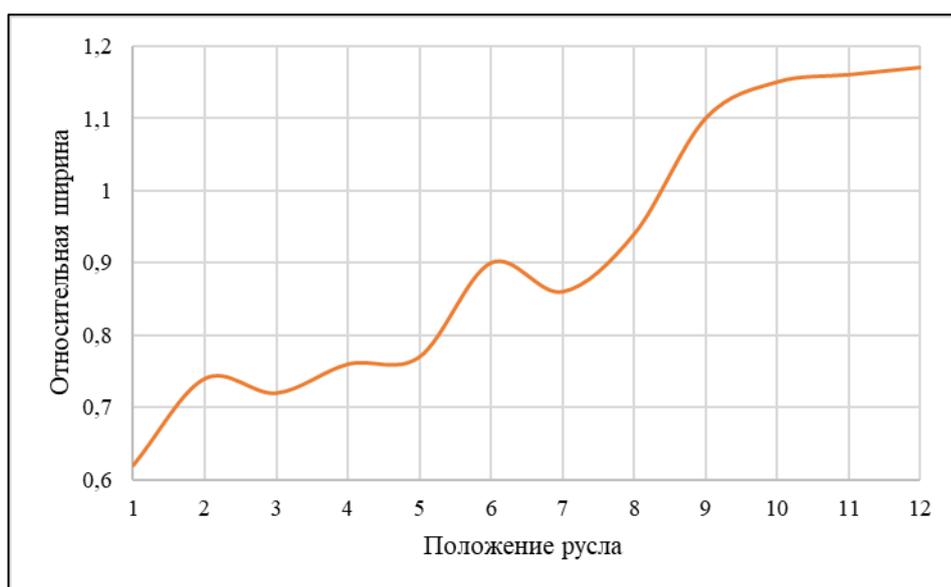


Рисунок 4.22 – Изменение относительной ширины излучины 3 по восстановленным положениям

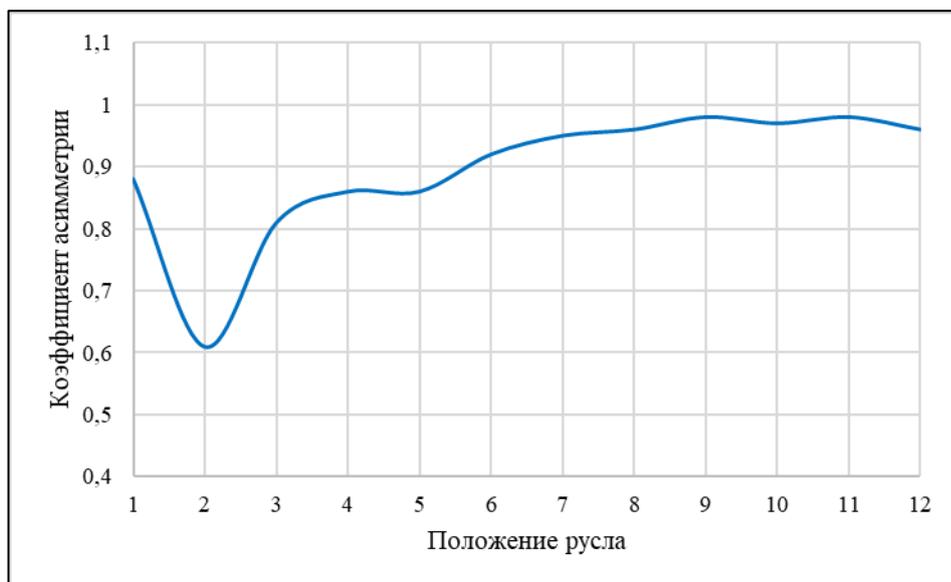


Рисунок 4.23 – Изменение коэффициента асимметрии излучины 3 по восстановленным положениям

Для третьей излучины характерно постепенное уменьшение шага излучины. Так, при первом положении значение шага составляет 2,43, на последнем положении оно уже составляет 1,98. Это единственный параметр, который идет на спад.

Проведём детальный анализ представленных данных для третьей излучины. Ключевые показатели: периметр: возрастает от 3,92 до 5,88, коэффициент асимметрии: увеличивается с 0,88 до 0,96, относительная ширина: растёт с 0,62 до 1,17.

Рост периметра излучины является индикатором увеличения протяженности участка реки, усложнением формы и структуры излучины. Увеличение периметра отражает активное развитие и изменение конфигурации участка

Увеличение коэффициента асимметрии свидетельствует о постепенном приближении формы излучины к симметричному виду. Если исходное значение было низким (0,88), то достижение значения 0,96 означает, что форма становится всё ближе к идеальному кругу или овалу, характеризующему сбалансированную структуру.

Повышение относительной ширины (увеличение от 0,62 до 1,17)

демонстрирует рост поперечного размера излуины. Этот показатель важен, поскольку широкий канал позволяет воде течь медленнее, способствуя формированию отложений и углублению дна.

Исходя из полученных результатов, третья излуина активно развивается, приобретая более симметричные очертания и увеличивая свою длину и ширину. Эти процессы способствуют дальнейшему изменению гидродинамических условий и формируют условия для накопления осадочных пород внутри самой излуины.

Рассмотрим излуину 4, схема последовательных положений данного участка представлена на рисунке 4.24. Расчёт параметров четвертой излуины участка р. Ока представлен в таблице 4.4. Графики зависимостей исследуемых параметров приведены на рисунках 4.25 – 4.29.

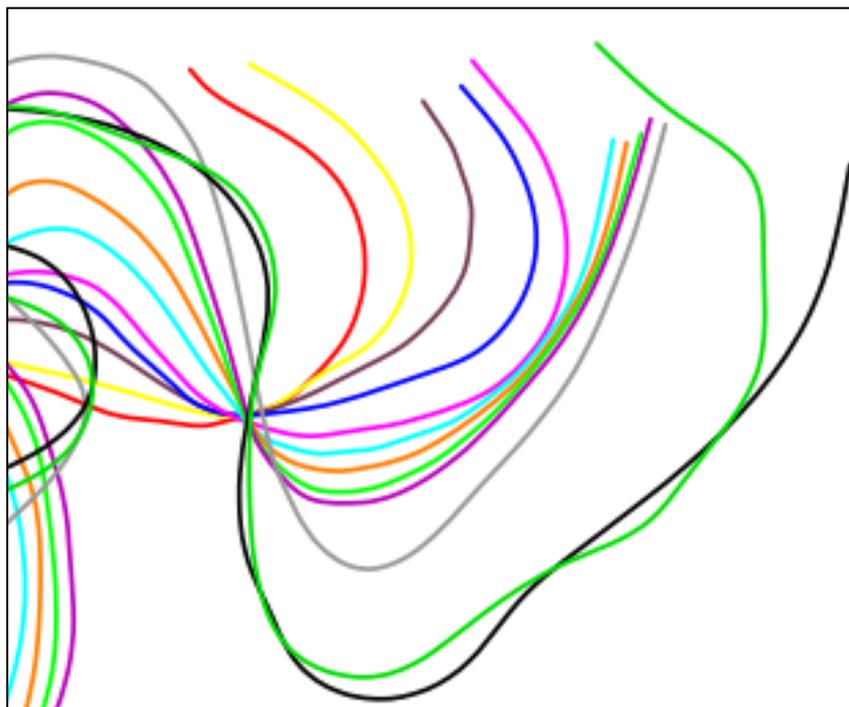


Рисунок 4.24 – Схема последовательных положений излуина

Таблица 4.24 – Расчёт параметров четвертая излучины участка р. Оки

Положение русла	Параметры				
	Шаг, λ , км	Периметр p, P , км	Степень развитости	Относительная ширина	Коэффициент асимметрии
1	3,08	5,70	1,93	0,83	0,62
2	3,05	5,21	1,75	0,83	0,64
3	3,66	5,17	1,51	0,92	1,45
4	3,71	5,78	1,45	0,89	1,99
5	4,05	5,65	1,47	0,97	1,47
6	4,22	5,32	1,26	0,88	0,72
7	4,29	5,54	1,37	0,88	0,65
8	4,25	5,97	1,4	0,85	0,61
9	4,27	6,22	1,45	0,84	0,63
10	4,29	6,24	1,48	0,85	0,63
11	4,29	6,24	1,47	0,86	0,64
12	4,29	6,23	1,47	0,85	0,65

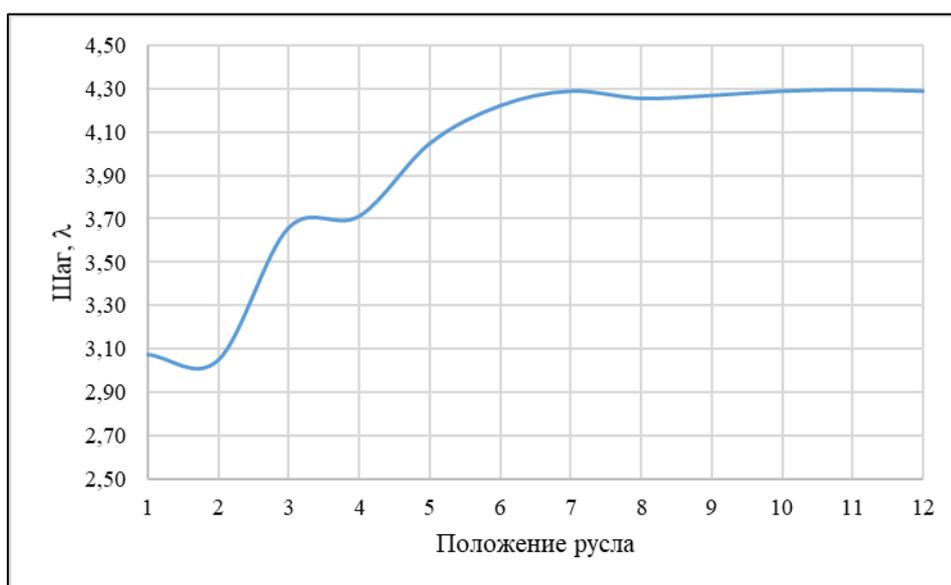


Рисунок 4.25 – Изменение шага излучины 4 по восстановленным
положениям

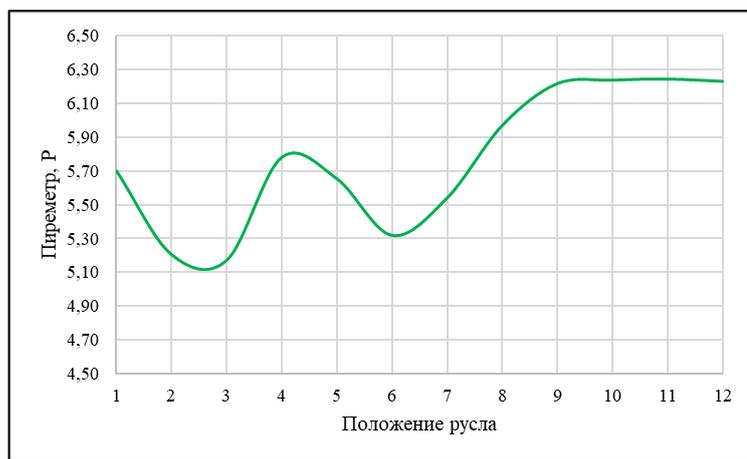


Рисунок 4.26 – Изменение периметра излучины 4 по восстановленным ПОЛОЖЕНИЯМ

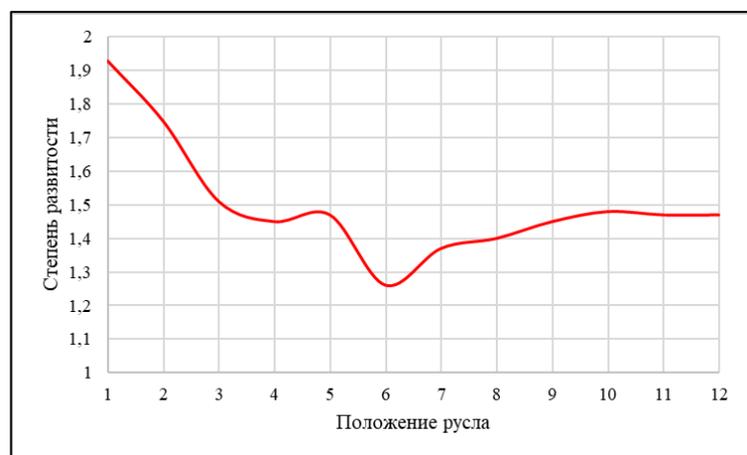


Рисунок 4.27 – Изменение степени развитости излучины 2 по ВОССТАНОВЛЕННЫМ ПОЛОЖЕНИЯМ

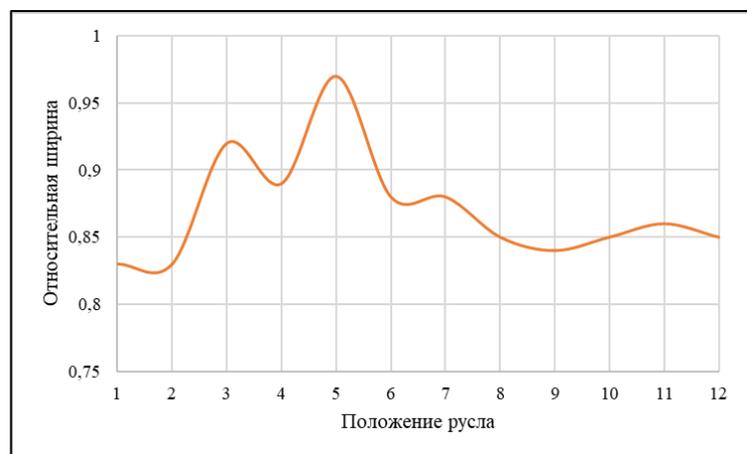


Рисунок 4.28 – Изменение относительной ширины излучины 4 по ВОССТАНОВЛЕННЫМ ПОЛОЖЕНИЯМ

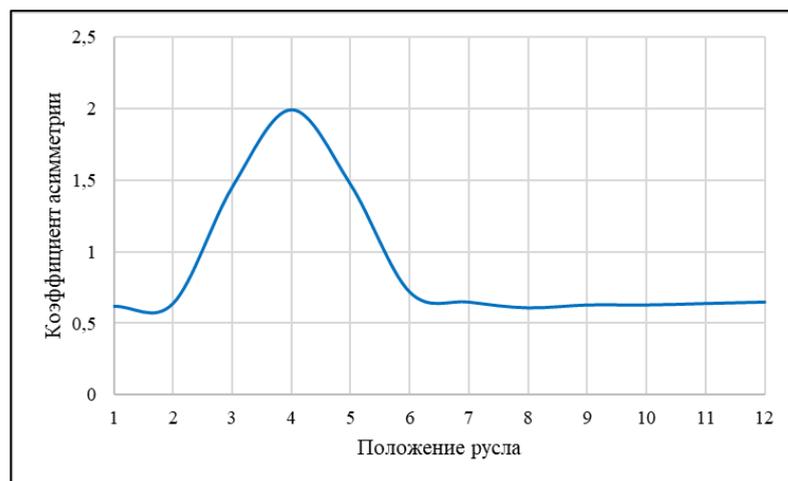


Рисунок 4.29 – Изменение коэффициента асимметрии излучины 4 по восстановленным положениям

Анализируя данные характеристики четвертой излучины реки, можно сделать следующие выводы:

Основные тенденции развития: шаг излучины: изначально равен 3,08, постепенно увеличиваясь до максимума — 4,29. Это свидетельствует о расширении излучины, характерном для активного процесса её формирования.

Периметр излучины: начинается с значения 5,7, достигает пика на четвёртом положении (5,17) и далее продолжает расти вплоть до последнего измерения (6,32). Пик на четвёртой позиции подтверждает усложнение геометрии излучины и активное ее развитие.

Коэффициент развитости: уменьшается от начального значения 1,93 до конечного 1,47. Такое снижение объясняется увеличением длины излучины, расстояния между крайними точками (шаг), свидетельствуя о переходе от сложных форм к более простым и прямым участкам.

Относительная ширина: Остается стабильной, варьируясь лишь в пределах незначительных колебаний от минимальных значений около 0,83–0,85. Небольшой пик на пятом положении соответствует отметке 1,47, однако это скорее исключение, чем правило.

Коэффициент асимметрии: несмотря на наличие небольшого пика

(1,47), общий тренд показывает плавное повышение значимости данного параметра, хотя абсолютная величина изменений остаётся небольшой.

Четвертая излучина характеризуется активным развитием и изменением своей структуры, выраженным увеличением длины и уменьшением сложности геометрии, что подтверждается падением коэффициента развитости. Относительные показатели остаются почти постоянными, демонстрируя устойчивость некоторых характеристик, несмотря на происходящие морфологические трансформации.

В качестве дополнительной характеристики, был выбран коэффициент миграции β . Его подробно рассматривал Н.Е. Кондратьев в своей диссертации «Гидроморфологические процессы и методы их изучения».

Гидроморфологические процессы объединяют русловые и процессы формирования берегов вновь создаваемых водных объектов. Оба процесса развиваются под действием активных гидродинамических сил, которые в свою очередь подчинены случайностям и закономерностям водного режима. Поэтому к изучению гидроморфологических процессов следует подходить с позиции геоморфологии, гидродинамики и гидрологии.

В отличие от исследований береговых деформаций на водохранилищах при изучении руслового процесса открывается возможность использовать богатейший натурный материал картографический и аэрофотосъёмочный. Морфологический метод приобретает здесь особое значение.

Под русловым процессом понимается видоизменение морфологического строения речного русла и речной поймы, постоянно происходящие под действием текущей воды. Однако деформации сами по себе лишь внешне отображают некоторое внутреннее содержание явления, изучение которого и становится подлинной задачей теории руслового процесса.

Анализируя динамику русловых изменений, мы можем разделить их

на две фундаментально различные категории: медленные, долговременные и практически необратимые изменения, характерные для эволюции самой реки, и быстрые, четко обозначенные трансформации, проявляющие свойство обратимости. Вторая группа тесно связана именно с процессом транспортировки твердых частиц — наносов. Деформации, способные возвращаться обратно к исходному состоянию, невозможны без участия наносов точно так же, как и сами наносы теряют смысл без учета роли, которую они играют в формировании русла и поймы.

Следовательно, само определение понятия "наносы" становится яснее: речь идет исключительно о тех твердых элементах, находящихся в движении под воздействием водного потока, которые активно участвуют в изменении очертания русла или формирования поймы. Процесс перемещения наносов можно рассматривать как внутреннюю сущность обратимых деформаций русла, подчеркивая взаимозависимость между этими двумя явлениями.

Изучение транспорта наносов целесообразно начать с выделения двух качественно различных форм движения, отличающихся механизмом движения элементарной частицы.

Самые большие фракции наносов транспортируются преимущественно путём непосредственного контакта с дном водоёма. Такой способ передвижения называется перекатывание. Крупные обломочные материалы, такие как песок, гравий и камни, движутся по поверхности дна, увлекаемые движением водного потока либо скользя небольшими скачками, называемыми сальтацией.

Характерной особенностью сальтации является зависимость исключительно от интенсивности гидродинамического воздействия вблизи самого дна. Гидравлические силы, действующие непосредственно в придонном слое, способны создавать условия, достаточные для начала движения крупных частиц. Чем сильнее течение и выше кинетическая энергия жидкости, тем большее количество и размер твёрдых фракций

могут включаться в движение. Однако, вне зоны влияния основного придонного слоя вода практически не оказывает заметного влияния на перемещение тяжелых донных наносов.

Эти силы иногда могут быть достаточными для того, чтобы подбросить частицу на значительную высоту от дна. Но, подброшенная вверх, эта частица возвращается на дно, не находя в толще потока сил, способных ее там удержать. Такие наносы естественно назвать донными. Характерной особенностью донных наносов является их неразрывная связь с грядовым движением.

Мелкие наносы поддерживаются в потоке пульсациями скоростей, существующими по всей толще потока. Поэтому, попав в поток, они, перемещаясь вдоль русла реки, часто следуют сложными траекториями, состоящему из многочисленных поворотов и изгибов. Под влиянием меняющихся скоростей течения и особенностей гидравлического режима частицы проходят длительный путь, постепенно замедляясь в местах затишья или ослабления потока. Именно там, в участках с пониженной скоростью движения воды, наносы начинают оседать, формируя слои тонкого ила, известного как наиллок. Таким образом, сочетание сложного пути перемещения и условий накопления формирует характерную слоистую структуру донных отложений или между грядами в результате случайных сочетаний пульсирующих скоростей. Такие наносы естественно назвать взвешенными. Исходя из подобных представлений

Одним из ключевых характеристик руслового процесса является дискретность, она подразумевает, что форма русла и прилегающей поймы состоит из чётко выраженных, хотя и разных по размерам элементов, а сам механизм перемещения наносов представляет собой ряд несвязанных между собой элементарных процессов, что обуславливает существование нескольких уровней структурирования, представляющих собой ступени крупности или меньшего количества мелких структур последующего уровня. выделение структурных уровней можно рассматривать, как

важнейший этап построения теории. Это объясняется тем, что каждому уровню соответствует свой, только ему присущий закон и свои практические задачи.

При изучении русловых процессов русловеды для достижения наиболее точных результатов выделяют три ключевых структурных уровня:

1. Микроуровень. Это малые русловые формы, к которым относят мелкомасштабные структуры, небольшие песчаные гряды, формирующие рельеф дна, шероховатость и обуславливающие турбулентность течения, потерю энергии и распределение взвешенных частиц.
2. Мезоуровень. Это средние русловые формы, представленные в виде крупных песчаников, образующих форму русла. Они обладают высокой степенью устойчивости и играют важнейшую роль в воздействии на пространственное распределение потоков воды.
3. Макроуровень. Это большие речные формы, охватывающие весь спектр морфологических компонентов русла и поймы, включая целостные участки водотоков, обеспечивающие наиболее полное представление о характере руслового процесса. Именно они отражают полную картину характеристик жидкого и твердого стоков.

Выделение основных структурных уровней позволяет перейти к детализации внутри каждого выделенного уровня. Из сказанного выше следует, что тип руслового процесса определяется жидким и твердым стоком, заданным данной реке. Однако транспортирование наносов определенного состава и определенного количества заданным расходом воды должно осуществляться при наличии условий, ограничивающих свободное развитие руслового процесса. К числу лимитирующих факторов можно отнести общий уклон речной долины, местные базисы эрозии, локальные уровни размыва, обнажение твердых неразмываемых пород, присутствие базального слоя и ряд иных условий.

Характеристики твердого и жидкого стоков и ограничивающие условия

следует рассматривать как определяющие Факторы руслового процесса. После выделения основных структурных уровней можно приступать к детализации внутри каждого уровня.

Существует несколько предложений по типизации микроформ. Все они выделяют три основных типа: слаборазвитые гряды, рассматриваемые в двухмерной схеме, характерные наличием в подвалье их относительно устойчивой водоворотной зоны и транзитной зоны над ней; крутые трехмерные, сильно развитые гряды, обтекание которых сопровождается периодическим срывом пространственных вихрей, охватывающих всю толщу потока; антидюны – плавно очерченные гряды, перемещающиеся против течения и обтекаемые потоком, образующим остановившиеся волны, фазы которых совпадают с фазой гряд. Наиболее детальная схематизация дается Н. С. Знаменской, выделившей семь типов гряд и установившей количественные соотношения измерителей гряд с гидравлическими характеристиками потока.

Каждому типу гряд соответствует своя схема перемещения наносов, вследствие чего для каждого типа гряд получается свое выражение, связывающее расход наносов с Formой гряды и скоростью ее перемещения.

Несмотря на большое количество гидродинамических исследований и расчетных предложений эмпирического и полуэмпирического типа теория микроформ, по-видимому, еще далека от своего завершения. Это можно объяснить тем, что гидродинамическая теория микроформ связана с теорией турбулентности, как известно, сложнейшим разделом гидродинамики. Структурный подход к проблеме турбулентности, наиболее соответствующий характеру частной задачи, относится к наименее разработанным аспектам теории турбулентности.

В работах наших и зарубежных исследователей, посвященных грядовому движению наносов, обычно не оговаривается различие между малыми и средними формами. В действительности эти формы имеют не только количественное, но и существенное качественное различие.

Главнейшие из них заключаются в том, что изменение гидравлических характеристик потока в границах одной гряды, которые в микроформах рассматриваются как турбулентные пульсации, в средних формах распространяются и на осредненные значения этих характеристик. Иными словами, в пределах средней формы поток оказывается неравномерным в гидравлическом понимании.

Формула для расчёта скорости развития излучины:

$$\beta = \frac{L}{t} \quad (1)$$

β – скорость развития излучины, м/год;

L – Расстояние между вершинами излучин, м;

t – Период, год.

Таблица – 4.25 – Расчет коэффициента β

Излучина	Года		Период в годах	Расстояние м/у излучинами в метрах	β м/год
	2024	1984			
1	2024	1984	40	10	0,25
	2024	1800	224	60	0,27
	1984	1800	184	40	0,22
2	2024	1984	40	39	0,98
	2024	1800	224	200	0,89
	1984	1800	184	170	0,92
3	2024	1984	40	20	0,50
	2024	1800	224	90	0,40
	1984	1800	184	100	0,54
4	2024	1984	40	30	0,75
	2024	1800	224	200	0,89
	1984	1800	184	170	0,92

Для первой излучины среднее значение коэффициента β составляет 0,25.

Исходя из результатов расчета можно сделать вывод, что с 1800 года излучина развивается достаточно равномерно, наблюдается уменьшение расстояния между наиболее удаленными точками излучины и увеличение размеров излучины. Так же можно предположить, что ширина первой излучины практически достигла своей максимальной ширины.

Для второй излучины среднее значение коэффициента β – 0,93, анализируя полученные значения было выявлено, что с 1800 годов излучина развивается быстро со скачкообразными изменениями ширины по отношению к длине

Для третьей излучины среднее значение коэффициента β составляет 0,48. Исходя из результатов расчета можно сделать вывод, что с 1800 года излучина развивается равномерно, происходит уменьшение расстояния между наиболее удаленными точками излучины и уменьшение размеров излучины. Так же можно предположить, что излучина практически стремится к разрыву.

Для четвертой излучины среднее значение коэффициента β составляет 0,85, анализируя полученное значение было выявлено, что с 1800 года излучина развивается равномерно, наблюдается уменьшение расстояния между наиболее удаленными точками излучины и увеличение размеров излучины. Так же можно предположить, что ширина излучины практически достигла своей максимальной ширины и стремится к разрыву.

При рассмотрении влияния параметров одной излучины на другую было выявлено, что шаг первой излучины уменьшается, на третьей значение шага тоже идет на спад. Если рассматривать вторую и четвертую излучины, то здесь наблюдается интенсивное уменьшение шага.

На всех излучинах характерно увеличение периметра. Если рассматривать зависимость степени развитости излучины от периметра, то можно сделать вывод, что с увеличением периметра увеличивается степень развития, особенно ярко это выражено на первой и третьей излучине, на второй излучине наблюдается при резком увеличении периметра менее

интенсивное повышение степени развитости, на четвертой при увеличении периметра степень развитости уменьшается.

Заключение

Основными целями и задачами при написании работы были изучение динамики и интенсивности формирования излучин в течении длительного периода, путем анализа следов плановых деформаций русла, оставленных на пойме, изучение результатов исследований по данной тематике, а также установление динамики характеристик излучин участка реки Ока и скорости их деформирования на основании восстановленных положений русла методами наложения карт и методом пятиугольников. Для этого был выполнен анализ по спутниковым снимкам, ретроспективным картам и логам для участка реки Ока, расположенный в 9,5 км от села Ерахтур, в Рязанской области.

Бассейн р. Ока протягивается с запада на восток. Густота речной сети 0,2-0,5 км/км². Долины рек бассейна реки Ока трапециевидальной и ящикообразной формы, на территории Среднерусской возвышенности – V-образные. Глубина вреза рек Среднерусской возвышенности – 20 – 40 метров, Мещёрской и Окско-Донской низменностях – 10 – 20 метров, а в бассейне р. Мокша глубина составляет примерно 20 – 30 метров.

Для оценки размеров и формы излучин использовались морфологические элементы излучины по терминологии ГГИ.

Исследуемый участок был выбран для анализа по причине того, что на нем проводились работы по восстановлению прежних положений русла реки до прорыва одной из рассматриваемых излучин, однако, детально этот процесс не изучался. Для описания особенностей развития излучин были рассчитаны характеристики по методу вписанного пятиугольника. Данный метод основан на описании излучины пятиугольником с основными точками.

Восстановление положений реки Ока было произведено по материалам аэрофотосъемки. В программе AutoCad по аэрофотоснимкам создавалась схема микрорельефа поймы и контур современного русла для всех участков реки с изображением вееров перемещения русла и гребней, образующих их.

Данный способ восстановления русла наглядно демонстрирует, что при реконструкции элементы положений русла являются исключительно схематичными так как в их основе, лежит на ориентации на хорошо просматриваемые, близкорасположенные участки русла.

Таким образом, в рамках исследованного участка реки Ока длиной 10 км удалось воспроизвести восстановление положений русла и оценить характер плановых деформаций. Схема последовательных положений русла одного из узлов.

Для каждой из схематически восстановленных линии движения излучин были определены параметры по методу пятиугольника, а также построены графики зависимости каждого из исследуемых параметров.

Для первой излучины характерно, уменьшение шага, увеличение периметра излучины, что свидетельствует об увеличении длины и размеров излучины, а также формировании более извилистых очертаний. Значение степени развитости, периметр и коэффициент асимметрии увеличивались, что указывает на развитие более сложной, извилистой формы излучины.

При анализе второй излучины было выявлено увеличение шага, периметра и относительной ширины, что характеризует увеличение ширины и растяжении вдоль реки, а также скачкообразное изменение ширины с стабильным соотношением длины излучины. Коэффициент асимметрии имеет тренд на понижение, что свидетельствует о приобретении симметричной формы излучины.

На третьей излучине наблюдается процесс преобразования формы излучины. Вероятно, аналогичные тенденции в изменении шагов, периметров и относительной ширины. Возможное формирование асимметрий, наблюдаемое визуально на графике.

Однако для точной оценки динамики и характера процессов третьей излучины необходимы дополнительные аналитические расчёты и интерпретация графического материала.

Третья излучина активно развивается, приобретая более

симметричные очертания и увеличивая свою длину и ширину. Эти процессы способствуют дальнейшему изменению гидродинамических условий и формируют условия для накопления осадочных пород внутри самой излучины.

Четвертая излучина характеризуется активным развитием и изменением своей структуры, выраженным увеличением длины и уменьшением сложности геометрии, что подтверждается падением коэффициента развитости. Относительные показатели остаются почти постоянными, демонстрируя устойчивость некоторых характеристик, несмотря на происходящие морфологические трансформации.

В качестве дополнительной характеристики, был выбран коэффициент миграции β . Его подробно рассматривал Н.Е. Кондратьев в своей диссертации «Гидроморфологические процессы и методы их изучения».

Для первой излучины среднее значение коэффициента β составляет 0,25. Исходя из результатов расчета можно сделать вывод, что с 1800 года излучина развивается достаточно равномерно, наблюдается уменьшение расстояния между наиболее удаленными точками излучины и увеличение размеров излучины. Так же можно предположить, что ширина первой излучины практически достигла своей максимальной ширины.

Для второй излучины среднее значение коэффициента β – 0,93, анализируя полученные значения было выявлено, что с 1800 годов излучина развивается быстро со скачкообразными изменениями ширины по отношению к длине

Для третьей излучины среднее значение коэффициента β составляет 0,48. Исходя из результатов расчета можно сделать вывод, что с 1800 года излучина развивается равномерно, происходит уменьшение расстояния между наиболее удаленными точками излучины и уменьшение размеров излучины. Так же можно предположить, что излучина практически стремится к разрыву.

Для четвертой излучины среднее значение коэффициента β составляет 0,85, анализируя полученное значение было выявлено, что с 1800 года излучина развивается равномерно, наблюдается уменьшение расстояния между наиболее удаленными точками излучины и увеличение размеров излучины. Так же можно предположить, что ширина излучины практически достигла своей максимальной ширины и стремится к разрыву.

Список источников:

1. Марвин Л.Б., Воробьёв А.Ю., Водорезов А.В., Чернов А.В., Рубцова Л.Ю., Бутко А.А. Ока: настоящее, прошлое и будущее. — Рязань: Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, 2019. — 86 с.
2. Большая Российская энциклопедия. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide.— URL: <https://bigenc.ru/c/oka-bassein-volgi-d5cdf0> (Дата обращения 19.11.2024)
3. География реки Ока: расположение, гидрология, притоки. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide.— URL: <https://nauka.club/geografiya/geografiya-reki-oka-raspolozheniegidrologiya-pritoki.html> (Дата обращения 19.11.2024)
4. Википедия. Свободная энциклопедия. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ока> (Дата обращения 19.11.2024)
5. ФГБУ «ЦУРЭН». [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. — URL: <https://tsuren.ru/news/reka-oka/> (Дата обращения 19.11.2024)
6. Река Ока. Нижегородская область. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. — URL: <https://gotonature.ru/1867-reka-oka.html> (Дата обращения 19.11.2024)
7. Кривцов В.А., Воробьёв А.Ю., Комаров М.М. Река Ока и некоторые особенности развития рельефа южной части Мещерской низменности в четвертичное время // Вестник Рязанского госуниверситета. — 2016. — № 2/51. — с. 180–196.
8. Реки России. Ока. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. — URL: <https://www.kp.ru/russia/reki-rossii/oka/> (Дата обращения 19.11.2024)
9. Чалов Н.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излуины. - Москва: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2004.

10. Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит // Труды Института геологии Академии наук СССР. – 1951. – Вып. 135. Геологическая серия (№ 55). – 271 с.
11. ФГБУ «ЦУРЭН». [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://tsuren.ru/news/reka-oka/> (Дата обращения 19.11.2024)
12. МБУК «Алексинская централизованная библиотечная система» им. Князя Г.Е. Львова. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://aleksinlib.ru/info/reki/oka/> (Дата обращения 19.11.2024)
13. Сычева С.А. Причины и общие закономерности многовековой ритмичности голоценового почвообразования в трансаккумулятивных ландшафтах // Почвоведение. – 2003. – № 5. – С. 228–242.
14. Александровский А.Л., Ершова Е.Г., Пономаренко Е.В., Кренке Н.А., Скрипкин В.В. Природно-антропогенные изменения почв и среды в пойме Москвы-реки в голоцене: педогенные, пыльцевые и антракологические маркеры // Почвоведение. – 2018. – № 6. – С. 1–15.
15. Асеев А.А. Палеогеография долины Средней и Нижней Оки в четвертичный период. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 202 с.
16. Александровский А.Л., Гласко М.П. Взаимодействие аллювиальных и почвообразовательных процессов на различных этапах формирования пойм равнинных рек в голоцене (на примере рек центральной части Восточно-Европейской равнины) // Геоморфология. – 2014. – № 4. С. 3–17.
17. Чичагова О.А., Хохлова О.С., Зазовская Э.П., Горячкин С.В. Радиоуглеродный анализ и проблемы памяти почв // Память почв. Почва как память биосферно-геосферно-атмосферных взаимодействий. – М.: Институт географии РАН, 2008. – С. 182–204.
18. Орлов В.Г. Основы физической гидрографии. – Ленинград: ЛПИ имени М. И. Калинина, 1979. – 72 с

- 19.Кривцов В.А., Водорезов А.В., Воробьев А.Ю. Особенности строения и формирования поймы реки Оки в ее Половском сужении // Вестник Рязанского госуниверситета. – 2012. – № 4/37. – С. 172–184.
- 20.Кривцов В.А., Водорезов А.В., Воробьев А.Ю., Тобратов С.А. Особенности строения и формирования поймы реки Оки в ее Спасском расширении // Вестн. Рязанского госуниверситета. – 2014. – № 4/49. – С. 153–172.
- 21.Экологические риски бассейна реки Ока. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide.– URL: <https://oka.miigaik.ru/region/> (Дата обращения 19.11.2024)
- 22.Уровень воды онлайн. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide.– URL: <https://allrivers.info/river/oka> (Дата обращения 19.11.2024)
- 23.Барышников Н.Б., Исаев Д.И. Русловые процессы. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2014.
- 24.Кривцов В.А., Воробьев А.Ю. Особенности пространственной организации и формирования локальных морфологических комплексов в пределах поймы реки Оки на ее рязанском участке // Вестник Рязанского госуниверситета. – 2014. – № 1/42. – С. 141–154.
- 25.Кривцов В.А., Воробьев А.Ю., Водорезов А.В., Зазовская Э.П. Особенности формирования поймы реки Ока в её среднем течении (на примере Спасского расширения). — Рязань : Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, 2020
- 26.Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. Основные этапы формирования пойм равнинных рек северной Евразии // Геоморфология. – 2011. – № 3. – С. 20–31.
- 27.Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В. 11. Поздневалдайские палеоруслу рек Русской равнины // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2000. – №6.
- 28.ГЕ

- 29.Гласко М.П. Анализ факторов, определяющих интенсивность накопления аллювия поймы средней Оки в позднем и среднем голоцене // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1983. – № 5. – С. 66–75.
- 30.Величко А.А. Природный процесс в плейстоцене. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
- 31.Величко А.А., Бердников В.В., Нечаев В.П. Реконструкция зоны многолетней мерзлоты и этапов ее развития // Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет. Атлас - монография. – М.: Наука, 1982. – С. 74- 80
- 32.Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. Основные этапы формирования пойм равнинных рек Северной Евразии.
- 33.Экспериментальная геоморфология. Вып. 2. / Под ред. проф. Н.И. Маккавеева. – М.: Изд-во Московского университета 1969. – 143 с.
- 34.Обедиентова Г.В. Эрозионные циклы и формирование долины Волги. – М.: Наука, 1977. – 240 с.
- 35.Исаев Д.И. Методика описания речных излучин [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://notes.rshu.ru/wp-content/uploads/2021/07/maket-63-el-27> (Дата обращения 19.11.2024)
- 36.Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в её бассейне. – М.: Изд. АН СССР, 1955
- 37.Лазаренко А.А. Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны (на примере Днепра, Десны, Оки) // Труды Геологического института. – Вып. 120. – 1964. – 236 с.
- 38.Studbooks.net. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://studbooks.net/1782404/geografiya/vvedenie> (Дата обращения 19.11.2024)
- 39.Комлев А.М. Закономерности формирования речного стока. – Пермь, 2002. – С. 52-60.

40. Арманд Д.Л. Изучение эрозии в лесостепных и степных районах СССР и состояние противоэрозионных мероприятий // Известия АН СССР. Серия Географическая. – 1954. – №2.
41. Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Снижение стока рек равнин Северной Евразии в оптимум голоцена // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 1. С. 1–14.
42. Shtampik. Карта глубин реки Ока [Электронный ресурс] // Web page Source user guide.– URL: <https://www.shtampik.com/photo/karta-glubin-reki-oka/> (Дата обращения 19.11.2024)
43. Garmin. Карта глубин реки Ока [Электронный ресурс] // Web page Source user guide.– URL: <https://www.garmin.ru/vodoemy/karty-vnutrennih-vodnyh-putej/oka-reka/> (Дата обращения 19.11.2024)
44. Река Ока – лоция (карта глубин) [Электронный ресурс] // Web page Source user guide.– URL: https://rspin.com/map_atlas/oka/index.html (Дата обращения 19.11.2024)