



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра военно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(магистерская диссертация)

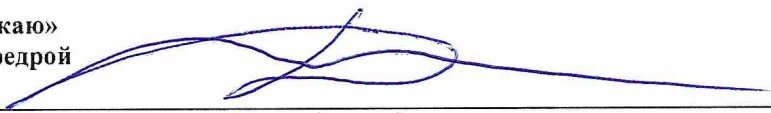
На тему Особенности руслового процесса р. Ветлуги в районе
подводного перехода Сургут-Полоцк

Исполнитель Шмаков Роман Александрович
(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,
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«09» сентября 2022г.

Санкт-Петербург

2022

Введение	1
1. Особенности руслового процесса на р.Ветлуга.....	3
1.1 Физико-географическое описание района исследований.....	3
1.1.1 Геологическое строение и рельеф	4
1.1.2 Климатическая характеристика	4
1.1.3 Растительность	6
1.1.4 Гидрология.....	6
1.2 Особенности руслового процесса.....	11
1.2.1 Тип руслового процесса	11
1.2.2 Факторы, определяющие ход русловых деформаций.....	12
1.2.3 Ретроспективный анализ вековых деформаций русла	13
2. Методика описания морфометрических характеристик речных излучин	18
2.1. Методика ГГИ	19
2.2. Методика МГУ	30
3. Результаты расчетов характеристик излучин Ветлуги и их сравнение с морфометрическими характеристиками участка перехода	39
3.1. Методика выполнения измерений	39
3.2. Характеристика участка исследования	42
3.3. Анализ полученных результатов.....	43
3.3.1. Оценка морфометрических параметров излучин.....	43
3.3.2. Оценка морфометрических параметров стариц	51
Заключение.....	59
Список использованных источников	61
Приложение А. Топографические материалы	63
Приложение Б. Значения расчетных характеристик излучин и стариц на участке обследования	68

Введение

Магистральный нефтепровод «Сургут-Полоцк» пересекает р. Ветлуга в ее нижнем течении по ходу транспорта нефти с левого берега на правый, в 5 км ниже по течению от д. Юркино Республики Марий-Эл. Основная нитка была реконструирована в 2001 году, резервная нитка была построена в 1981 и в ближайшее время планируется к реконструкции. Нефтепровод также пересекает р. Теплую и старичное озеро, являющиеся продуктом развития русловых процессов р. Ветлуга.

Развитие как плановых, так и высотных русловых деформаций на реках может представлять опасность для подводных переходов магистральных трубопроводов. Недоучет влияния русловых процессов может привести к принятию некорректных проектных решений при расчете заглубления трубопровода, организации берегозащитных сооружений и пр.

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки и апробации новых методов анализа русловых деформаций, поскольку методы, применяемые в настоящее время пока что не полностью удовлетворяют запросам практических задач и основаны на грубых схематизациях и допущениях, не в полной мере учитывающих морфологию объекта. Корректность учета русловых деформаций – залог безопасного функционирования подводных переходов магистральных трубопроводов.

В данной работе использовалась методика оценки характеристик речных излучин, которая применялась в выпускных квалификационных работах Ивановой О.И. [1] и Баскаковой А.И. [2].

Целью исследования являлся анализ руслового режима на участке в районе ППМТ «Сургут-Полоцк».

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- определение типа руслового процесса на р. Ветлуга и описание его особенностей;

- оценка скорости плановых деформаций;
- оценка морфометрических характеристик излучин и стариц на исследуемом участке реки;
- нахождение закономерностей для излучин и стариц реки.

1. Особенности руслового процесса на р.Ветлуга

Бассейн реки Ветлуги расположен в центре Восточно-Европейской равнины. В пределах бассейна находится территория четырех субъектов Российской Федерации: Кировская область, Костромская область, Нижегородская область, республика Марий-Эл (рисунок 1).

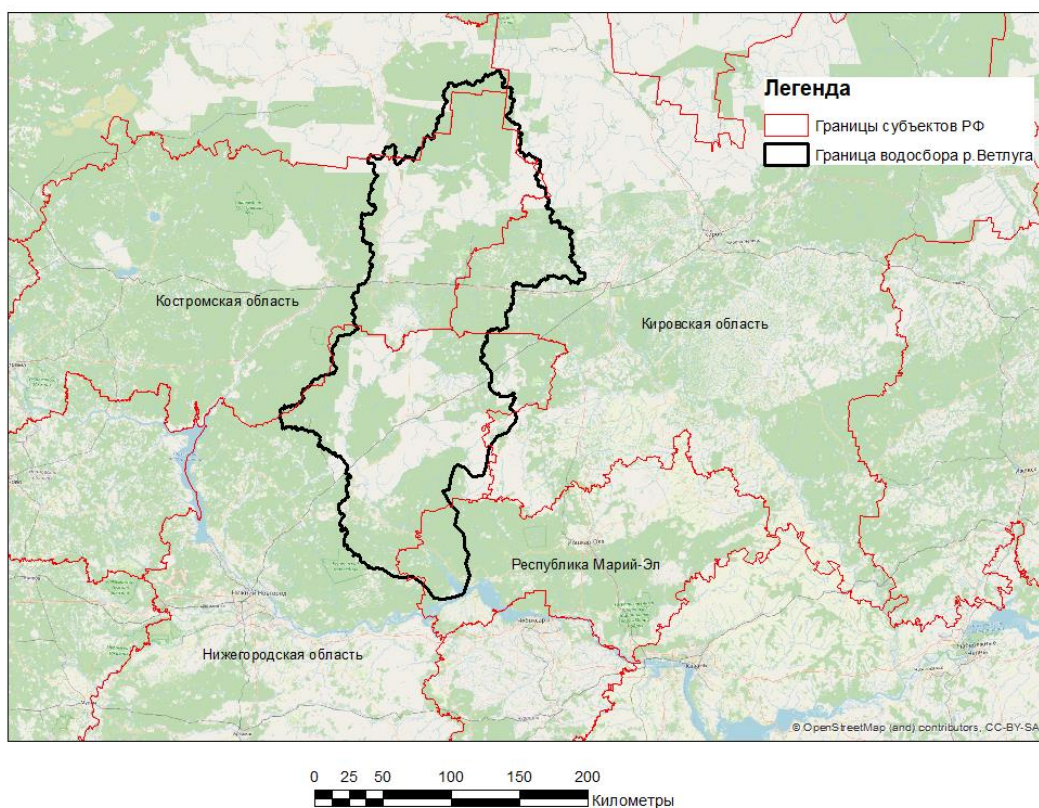


Рисунок 1 – Схема расположения водосбора р. Ветлуга

1.1 Физико-географическое описание района исследований

Река Ветлуга образуется слиянием рек Большой и Малой Быстрой в 2 км к востоку от с. Ивановское Кировской области. Впадает слева в р. Волгу (Чебоксарское водохранилище) на 2029-м км от устья, уклон реки составляет 0,13 ‰.

По данным государственного водного реестра общая площадь водосбора реки составляет 39400 км², длина 889 км, густота речной сети

0,56 км/км², количество притоков 456 (общая длина 1115 км), озер 215 (площадь 18,6 км²).

Бассейн реки граничит с бассейнами рек: на севере – Северной Двины, на востоке – Вятки и притоков Волги, на западе – Керженца.

1.1.1 Геологическое строение и рельеф

В геологическом отношении бассейн сформирован верхнечетвертичными аллювиальными пойменными отложениями и болотными разновидностями грунтов. Аллювиальные отложения представлены песком мелким и пылеватым, суглинком туго-мягкопластичным, глиной различной консистенции. Район слабо подвержен оползневым процессам, активный карст отсутствует.

Водосбор реки находится в пределах Унженско-Ветлужской равнины. Бассейн делится на три части по характеру поверхности: северную, центральную и южную. Северная часть – от истока до впадения р. Пыщуг, расположена в пределах Северных Увалов и представляет собой всхолмленную равнину. Центральная часть – до впадения р. Усты – слабоволнистая равнина. Южная часть занимает плоскую, сильнозаболоченую, песчаную Марийскую низменность. Почвы подзолистые, преимущественно песчаные и супесчаные, а в поймах рек и на заболоченных участках – дерновые и торфяно-болотные [9].

1.1.2 Климатическая характеристика

Территория бассейна находится в зоне умеренно-континентального климата, для которого характерна холодная зима и умеренно-теплое лето. На протяжении года в районе преобладает воздействие умеренных морских и континентальных воздушных масс. Регулярная адвекция арктического и тропического воздуха является принципиальным фактором формирования климата. Изменчивая атмосферная циркуляция создает большую неустойчивость режима увлажнения и температуры.

На территории водосбора, а также вблизи его территории расположено 13 метеорологических станций Росгидромета (рисунок 2). Климатическая характеристика приводится по метеостанции Ветлуга, которая расположена в центре водосбора.

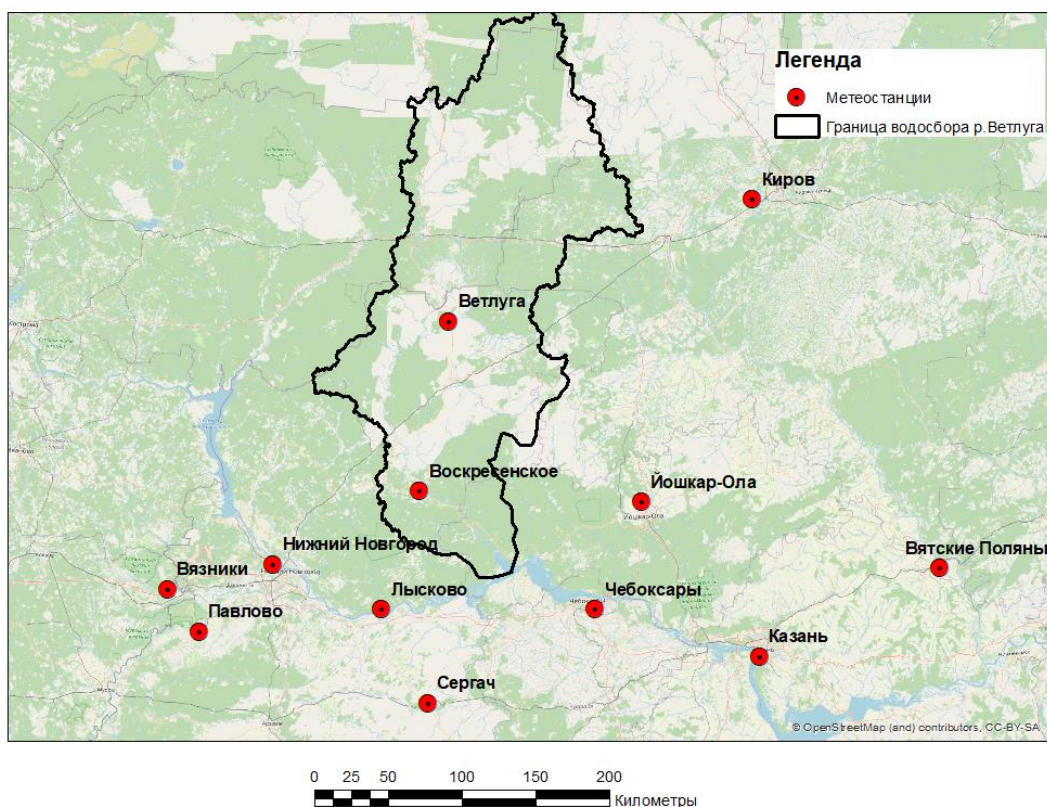


Рисунок 2 – Схема расположения метеорологических станций Росгидромета

Среднегодовая температура воздуха составляет $2,9^{\circ}\text{C}$. Отрицательные температуры воздуха наступают в ноябре и удерживаются до марта включительно. Самый холодный месяц – январь со средней температурой воздуха минус $12,5^{\circ}\text{C}$. Самый жаркий месяц – июль со средней температурой 18°C . Абсолютный минимум температуры минус $47,7^{\circ}\text{C}$, абсолютный максимум $37,1^{\circ}\text{C}$. Годовая норма осадков равна 670 мм.

Средняя годовая скорость ветра равна 2,5 м/с. Наибольшая скорость ветра наблюдается в зимний период и достигает величины 2,9 м/с. Преобладающее направление ветра – южное [12].

Снежный покров обычно появляется в начале I декады октября, разрушение происходит во II декаде апреля, среднее число дней со снежным покровом – 174. Наибольшая высота снежного покрова составляет 50 см.

1.1.3 Растительность

Бассейн реки расположен в лесной ландшафтной зоне. В северной и центральной частях бассейна в основном встречаются елово-пихтовые и смешанные леса. После впадения р. Усты из растительности в основном преобладают сосновые боры с примесью ели, березы, осины и других лиственных пород. Речные поймы покрыты преимущественно луговой растительностью. Низменные луга нередко подвержены заболачиванию и в значительной степени покрыты кустарником. Растительность низинных болот представлена в основном различными видами осок и влаголюбивым разнотравьем.

1.1.4 Гидрология

Река Ветлуга в гидрологическом отношении достаточно хорошо изучена. Краткая характеристика изученности реки Ветлуга приводится в таблице 1. На территории водосбора расположено 11 водомерных постов Росгидромета, 3 из которых в настоящее время закрыты. Схема расположения действующих водомерных постов приведена на рисунке 3

Таблица 1 - Сведения о водомерных постах, расположенных на реке Ветлуга

№ пп	Пост	Расст. от устья, км	Расст. от истока, км	Площадь водосбора, км ²	Отметка нуля поста, м БС	Период действия	
						открыт	закрыт
1	с.Быстри	151	738	2680	124,00	09.02.1935	01.01.1981
2	с.Кажирово	222	667	10300	112,43	04.01.1936	Действ.
3	с.Михайловицы	303	586	12600	105,31	01.02.1935	Действ.
4	г.Шарья	37,0	519	14900	98,15	30.10.1931	Действ.
5	г.Ветлуга	497	392	22200	86,99	23.04.1896	Действ.

№ пп	Пост	Расст. от устья, км	Расст. от истока, км	Площадь водосбора, км ²	Отметка нуля поста, м БС	Период действия	
						открыт	закрыт
6	пгт Варнавино	628	261	26800	76,13	30.04.1903	Действ.
7	пгт Ветлужский	661	228	27500	72,50	12.04.1960	Действ.
8	д.Дубники(Ильинское)	673	216	27700	71,53	13.10.1931	01.09.1960
9	пгт Воскресенское	725	164	3430	69,00	02.05.1903	Действ.
10	д.Мелковка	849	40.0	39000	56,81	01.11.1931	01.10.1980
11	с.Черновское	101	788	1450	129,35	01.11.1981	Действ.

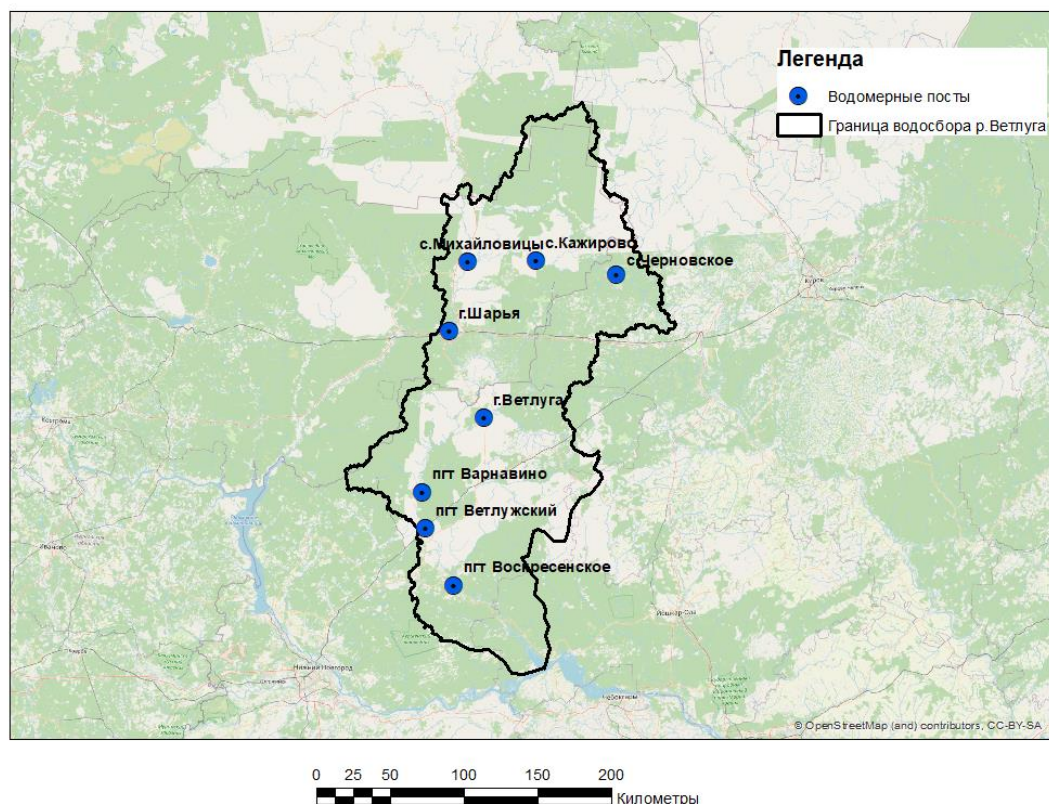


Рисунок 3 – Схема расположения водомерных постов Росгидромета

По классификации Б.Д. Зайкова, река Ветлуга соответствует восточно-европейскому типу. Для данного типа при естественных условиях характерно высокое четко выраженное весеннее половодье, низкая летне-осенняя межень, которая может прерываться дождевыми паводками, и устойчивая продолжительная зимняя межень.

По классификации О.А. Алекина (1970 г.), вода исследуемого участка р. Ветлуги относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, соответствующей индексу $S_{Ca II}^{Ca}$. Преобладание ионов HCO_3^- хорошо проявляется в период половодья (36-28 % экв.) и резко выражается в летнюю и зимнюю межени (44-36 % экв. и 50-45 % экв. соответственно). В катионном составе в течение всего года выраженность ионов Ca^{2+} (27-31 % экв) достаточно высока. Изменчивость величины минерализации воды обратно пропорционально фазе водности реки: от 50 мг/л – на пике половодья, до 300-400 мг/л – в межень.

В настоящее время водный режим реки подвержен влиянию Чебоксарского водохранилища, которое было открыто в 1982 г. Водохранилище используется для сезонного регулирования стока, используется в энергетических целях, в целях водоснабжения, для судоходства, а также для рыбного и сельского хозяйства. Гидрологический режим Чебоксарского водохранилища характеризуется стабильным стоянием уровня, близким к НПУ и чуть выше, нарушаемым прохождением пика весеннего половодья и дождевых паводков. Сработки призмы водохранилища в навигационный и зимний периоды практически не происходит, так как Чебоксарская ГЭС эксплуатируется на пониженном подпоре.

Характерные уровни воды р. Ветлуги для естественных условий, вне влияния Чебоксарского водохранилища, представлены в таблице 2 по водомерным постам Росгидромета пгт. Воскресенское за 1903-80 гг., расположенного в 113 км выше перехода МТ, д. Мелковка за 1931-80 гг. – в 11 км ниже перехода, расстояние между водпостами составляет 124 км.

Сравнение соответственных уровней для открытого периода года показало незначительное колебание уклона водной поверхности для различных фаз водного режима.

С началом заполнения Чебоксарского водохранилища водомерный пост д. Мелковка был закрыт в 1981 г.

Таблица 2 - Характерные уровни воды до создания водохранилища, м БС [10]

Характеристика	Высший уровень				Низший уровень		Колесание за год, см
	За год	Зимнего периода	Периода весеннего ледохода	Летне-осеннего периода	Зимнего периода	Периода открытого русла	
Река Ветлуга – пгт. Воскресенское. 1903-80 г.г.							
Средний	73,78	70,56	72,27	70,65	69,22	68,89	495
<u>Высший</u>	<u>75,53</u>	<u>73,16</u>	<u>74,48</u>	<u>73,56</u>	<u>69,73</u>	<u>70,24</u>	<u>675</u>
Дата	24,25.05.74	30.10.53	27.04.55	15.10.05	18.02.79	17.06.78	1966
<u>Низший</u>	<u>71,66</u>	<u>69,24</u>	<u>69,90</u>	<u>69,04</u>	<u>68,64</u>	<u>68,40</u>	<u>301</u>
Дата	05.04.37	03,04.04.76	16.04.10	26.10.72	04,05.11.51	16,17.09.38	1937
Река Ветлуга – д. Мелковка. 1931-80 г.г.							
Средний	63,53	60,62	62,31	60,67	59,32	59,09	451
<u>Высший</u>	<u>64,96</u>	<u>62,56</u>	<u>64,10</u>	<u>62,96</u>	<u>60,17</u>	<u>60,54</u>	<u>607</u>
Дата	06.05.32	01.11.54	15.04.47	30.10.52	4-6.02.79	18,19.06.78	1932
<u>Низший</u>	<u>61,93</u>	<u>59,94</u>	<u>60,59</u>	<u>59,06</u>	<u>58,74</u>	<u>58,71</u>	<u>336</u>
Дата	01.06.45	09.02.34	08.04.73	7,8.09.72	12.11.64	15.09.38	1937
Падение соответственных уровней воды, м/уклон в.п., ‰							
Средний	-	-	-	-	-	-	-
<u>Высший</u>	-	-	-	-	-	<u>9,70</u>	-
Дата	-	-	-	-	-	0,078	-
<u>Низший</u>	-	-	-	<u>9,98</u>	-	<u>9,69</u>	-
Дата	-	-	-	0,080	-	0,078	-

Примечание: расстояние между водопостами (до создания Чебоксарского водохранилища) 124 км.

Гидрологический режим Чебоксарского водохранилища (р. Ветлуга) характеризуется стабильным стоянием уровня, близким к НПУ, нарушаемым прохождением пика весеннего половодья и дождевых паводков. Сработки призмы водохранилища в навигационный и зимний периоды практически не происходит.

Характерные уровни Чебоксарского водохранилища, м БС:

- нормальный подпорный уровень (НПУ) - 63,0 (проектная отметка – 68,0 м БС);
- форсированный подпорный уровень (ФПУ) – 69,5 м БС;
- уровень мертвого объема (УМО) – 62,5 м БС.

Ежегодно в начальный период весеннего половодья Росводресурсами (ФАВР) на период половодья устанавливаются режимы работы гидроузлов Волжского каскада (которые затем пролонгируются на весь год); для Чебоксарского водохранилища устанавливается работа «в режиме поддержания уровня воды в верхнем бьефе у плотины гидроузла в пределах отметок 63,0 – 63,3 м БС без учета сгонно-нагонных ветровых явлений».

Магистральный трубопровод «Сургут-Полоцк» (основная и резервная нитки) пересекают бассейн р. Ветлуга (ниже устья р. Усты) в ее нижнем течении, которая занимает плоскую, заболоченную, песчаную Марийскую низменность. В створе ППМТ площадь водосбора составляет 38800 км², длина реки от устья до створа ППМТ - 29 км.

В створе ППМТ р. Ветлуга во все фазы водного режима находится в зоне подпора Чебоксарского водохранилища. Уровенный режим р. Ветлуги в нижнем течении определяется уровнем Чебоксарского водохранилища, подпор от которого распространяется более чем на 100 км вверх по течению р. Ветлуга. В результате образования водохранилища уровни воды на участке ППМТ повысились более чем на 3 м. Максимальные уровни весеннего половодья редкой повторяемости на участке ППМТ колеблются в пределах 66,5-69,0 м БС.

Среднегодовой модуль стока реки Ветлуга изменяется с севера на юг в интервале от 7,0 до 5,0 л/с км².

Средние даты начала, окончания и продолжительность различных фаз водного режима, ледовых явления приводятся по водопосту Росгидромета р. Ветлуга – пгт. Ветлужский.

Средние даты:

- начала весеннего половодья – 10.04;
- пика – 11.05;
- окончания – 19.06;
- продолжительность, сут. – 72.

Средние даты ледовых явлений:

- начала – 05.11;
- начала осеннего ледохода (шугохода) – 07.11;
- начала ледостава – 23.11;
- начала весеннего ледохода (шугохода) – 18.04;
- окончания ледовых явлений – 21.04.

Продолжительность ледовых явлений, сут:

- осеннего ледохода (шугохода) – 14;
- весеннего ледохода (шугохода) – 4;
- ледостава – 146;
- всех ледовых явлений – 168.

Толщина льда, см:

- наибольшая из средних – 45;
- наибольшая – 70 (10-20.03.69 г.).

Среднегодовая мутность воды не превышает 35 г/м³, средняя из максимальных – 260 г/м³, максимальная – 720 г/м³.

1.2 Особенности руслового процесса

1.2.1 Тип руслового процесса

Согласно стандарту СТО ГУ ГГИ 08.29-2009 «Учет руслового процесса на участках подводных переходов трубопроводов через реки» [15] основной тип руслового процесса, характерный для реки – свободное меандрирование. Река Ветлуга в нижнем течении дренирует рыхлые легкоразмываемые четвертичные отложения ледникового и водноледникового генезиса и палеогеновые пески. Это обуславливает свободное развитие русловых деформаций и формирование меандрирующего широкопойменного русла, разделенного относительно прямолинейными слабоизогнутыми отрезками.

В створах ППМТ пойма широкая (до 4,5 км), частично заболоченная, поросшая смешанным лесом, сложена супесчано-суглинистыми грунтами. Рельеф поймы – сегментно-грядистый, типичный для свободномеандрирующего русла. Сегменты, состоящие из систем гряд и понижений, оконтурены изогнутыми ложбинами, часто занятые озерами («старицы») и протоками, функционирующими в период прохождения высоких уровней воды. Изогнутые ложбины представляют собой предельные положения русла на конечных стадиях развития излучин. Последующий прорыв перешейка излучины приводил к смещению основного русла в новое положение.

1.2.2 Факторы, определяющие ход русловых деформаций

Подпор реки после организации Чебоксарского водохранилища привел к увеличению уровней воды в меженный период. В результате глубокие межгрядовые понижения на всей пойме оказываются заполненные водой или заболочены в течение всего года.

Современные русловые деформации р. Ветлуга в нижнем течении протекают под влиянием природных (естественных) и антропогенных факторов.

К основным руслоформирующим природным факторам относятся: особенности геологического строения дна долины и водность реки (сток). Естественные русловые деформации направлены на свободное смещение

русла по широкому дну долины. Естественный ход русловых деформаций на участке ППМТ существенно изменен в результате антропогенного вмешательства:

- организация Чебоксарского водохранилища на р. Волга. Развитие реки в условиях подпора уровней воды;
- строительство многониточного подводного перехода;
- эксплуатация и обслуживание трубопроводов (ремонт НГЗ трубопроводов, устранение дефектов, реконструкции/демонтаж и др.);
- потребности судоходства.

Подводные переходы МТ Сургут-Полоцк, 1930 км, через р. Ветлуга, были введены в эксплуатацию: резервная нитка - в 1981 г., основная нитка – 2001 г. (переукладка). На основной нитке ремонтные работы по устранению недостаточного залегания трубопровода (далее – НГЗ) в русле проводились в 2002 г., 2004 г., 2005 г., 2009 г. В 2015 г. помимо работ по устранению недостаточного заглубления трубопровода, также проводились работы по устранению оголения. На резервной нитке работы по устранению НГЗ проводились в 2008 г., 2010 г., в 2015 г., 2019 г. проводились работы по устранению НГЗ и оголения в русле.

1.2.3 Ретроспективный анализ вековых деформаций русла

Ретроспективный анализ русловых деформаций р. Ветлуга (вековые деформации) выполнялся по разновременным картографическим материалам и спутниковым снимкам (приложение А): карта Стрельбицкого (1871 г.), карта Вятской губернии (1910 г.), карта Люфтваффе (1:1М, 1942 г.), карта СССР (1:2,5М, 1946 г.), Европейская часть СССР (1:250К, 1954 г.), Европейская часть СССР (1:500К, 1988 г.), Карта СССР (1:100К, 1990 г.), спутниковый снимок (2021 г.).

Детальность и масштаб разновременного картографического материала не позволяют подробно оценить скорость русловых деформаций, но

позволяют выявить общие тенденции в развитии русловых деформаций за 150 лет (с 1871 по 2021 гг.):

1. Пояс меандрирования¹ смещается в сторону левого склона долины.

Данная тенденция является унаследованной и прослеживается в течении всего периода формирования поймы и надпойменной террасы, характеризует вековые деформации.

Современный пояс меандрирования русла с конца 19 века по настоящее время занимает практически все широкое дно (пойму) долины (рисунок 9, приложение А). Излучины развиваются преимущественно поперек основной оси пояса меандрирования вытягиваясь от центра к бортам долины, последующий прорыв перешейка излучины приводит к смещению русла в центральное положение на дне долины. Далее цикл повторяется.

Слабоизогнутый относительно прямолинейный участок русла (протяженностью 5 км), пересекаемый створами ППМТ за последние 150 лет сохраняет свое положение на дне долины. Еще на картах Стрельбицкого (1871 г.) ниже по течению от д. Юркино отчетливо виден протяженный прямолинейный участок между двумя излучинами. Данное морфологическое строение русло сохранило и в настоящее время. Однако современная детальность спутниковых снимков позволяет выделить минимум четыре положения русла в прошлые эпохи – вековые деформации (рисунок 4). Несколько веков назад русло было прижато к правому коренному склону долины (положение русла №1), спрямление излучины привело к смещению русла ближе к центральной части поймы. Последующее формирование излучины и ее прорыв еще больше сместили основное русло к центру долины (положение русла №2). Таким образом, цикличность процесса развития излучины с последующим прорывом и спрямлением русла прослеживаются от положения русла №1 до №4 (современное положение русла). При этом излучины в своем развитии проходят весь цикл развития и их спрямление

¹ участок дна долины, в пределах которого происходят активные плановые деформации русла, равен расстоянию между вершинами излучин поперек дна долины

происходит на поздних стадиях развития при достижении критических значений степени развитости.

Данные вековые плановые деформации русла определяют сложный рисунок современной гидрографической сети дна долины р. Ветлуга в районе ППМТ. В настоящее время ППМТ пересекает три водных объекта: русло р. Ветлуга, р. Теплая и старичное озеро. Ранее р. Теплая (правый приток) впадала в р. Ветлуга в месте ее второго положения (№2). После прорыва излучины и смещения русла р. Ветлуга в положение №3 часть старого русла р. Ветлуга стало частью р. Теплая и фактически, последняя увеличилась в длину на 2,3 км. Дальнейшее смещение Ветлуги в современное положение №4 (после прорыва крутой излучины) и последующее отмирание «старого» русла (положение русла №3) определило наличие старичного озера, пересекаемого трассой действующего ППМТ.



Рисунок 4 – Спутниковый снимок участка долины р. Ветлуга в техническом коридоре ППМТ.

№1-6 – положение излучин в прошлые эпохи

-  -- резервная нитка;
 - основная нитка

3. Излучины, расположенные выше и ниже по течению (2-3 км) от участка створа ППМТ, испытывают активные плановые деформации. Значительные размеры излучин (длина по руслу – от 3,7 до 6 км), при свободных условиях русловых деформаций, обуславливают необходимость учета вероятности их смещения в створ перехода на пойменном участке.

В 3 км ниже по течению от технического коридора ППМТ развивается вытянутая пальцеобразная излучина. Привершинная часть излучины вытягивается в сторону левого склона долины и несколько смещается вверх по течению в направлении створов ППМТ в пойменной части (№ 5, рисунок 1). В прошлые эпохи на данном участке русло располагалось в 250 м от действующих створов ППМТ (№ 6), в непосредственной близости от проектируемого трубопровода.

Данные деформации могут оказывать:

- прямое влияние. Образование спрямляющих протоков на пойме, изменение положения основного русла.
- косвенное влияние. Выражается в изменении объема наносов (например, в результате активного размыва берегов), скоростного поля потока и других характеристик потока, приводящих к активизации эрозионных или аккумулятивных процессов на участке ППМТ;

Деформации русла р. Ветлуга в нижнем течении во второй половине 20 века можно разделить на два этапа:

1. до создания Чебоксарского водохранилища (до 1982 гг.);
2. после создания Чебоксарского водохранилища (в условиях подпора).

По лоцманским картам 1974 и 1987 гг., до установления современного устойчивого профиля равновесия Чебоксарского водохранилища, в районе перехода интенсивность размыва берегов на участке ППМТ, а также выше и ниже перехода составляла порядка 2 м/год. По данным промерных работ при периодических обследованиях ППМТ, интенсивность размыва берегов снизилась до 1,0-1,5 м/год, что является результатом подпорного влияния Чебоксарского водохранилища.

2. Методика описания морфометрических характеристик речных излучин

В соответствии с законом ограниченности морфологических комплексов взаимодействие потока и русла приводит к определенным, наиболее возможным комбинациям между характеристиками русла и потока, что делает возможным классификацию речных русел. При этом, не считая ориентации на внешний вид форм русла, классификации должны учесть вероятные перемены в процессе эволюции. Отсюда морфологическая (по наружным признакам) классификация русел является в то же время и динамической, а каждая ячейка в классификационной схеме, которая имеет морфологическое название, соответствует определенной схеме русловых деформаций (например, извилистое русло и меандрирование, разветвленное русло и разветвление русла на рукава и т.д.). Классификации такого рода являются морфодинамическими, а составляющие их элементы – морфодинамическими типами русел. Существование различных типов речных русел позволяет перейти к определению критериев существования рек с определенным типом развития русловых процессов и к установлению определенных критериев гидравлических и морфометрических характеристик.

Авторами первых классификаций типов речных русел являются К.И. Российский и И.А. Кузьмин. Они выделили прямолинейные (соответствующий тип деформаций – периодическое расширение), извилистые (развитие излучин, меандрирование) и разбросанные (блуждание) русла, существующие вне зависимости друг от друга и характеризующиеся определенными чертами динамики и структуры потока, спецификой руслового рельефа и характером деформаций.

Позже было предложено еще несколько классификационных схем. Среди предложенных типизаций речных русел в настоящее время в России наиболее распространены схемы, разработанные Государственным гидрологическим институтом (ГГИ) и Московским государственным

университетом имени М.В. Ломоносова (МГУ). Большинство классификаций, в том числе в классификации МГУ, основаны на принципе независимости русел трех главных морфодинамических типов, как это было в классификации К.И. Российского и И.А. Кузьмина. Другой подход использован в типизации русловых процессов ГГИ, которая вошла в нормативную литературу. В данной классификации типы русла расположены в определенной последовательности, которая соответствует, как считают авторы, увеличению транспортирующей способности потока.

2.1.Методика ГГИ

В основу типизации русловых процессов ГГИ (Н. Е. Кондратьева и И. В. Попова), заложено семь типов русловых процессов (типов макроформ) в зависимости от специфики деформаций русла и поймы: русловая многорукавность (осередковый тип), ленточно-грядовый, побочневый, ограниченное меандрирование, свободное, незавершенное меандрирование и пойменная многорукавность (рисунок 5). Данная типизация основывается на положении, что при каждом типе руслового процесса появление и наличие соответствующих для него деформаций и русловых образований связано с изменением транспортирующей способности потока и влияния донных и взвешенных наносов в руслообразовании.

С переходом от ленточногрядового и побочневого типа и далее, к свободному меандрированию, возрастает извилистость русла, в реке происходит уменьшение степени характерного ей уклона дна долины и транспортирующей способности потока. Разветвление на рукава при незавершенном меандрировании, и далее, при пойменной многорукавности, выражает дальнейшее уменьшение транспортирующей способности потока, которая в конечном итоге оказывается исчерпанной при свободном меандрировании.

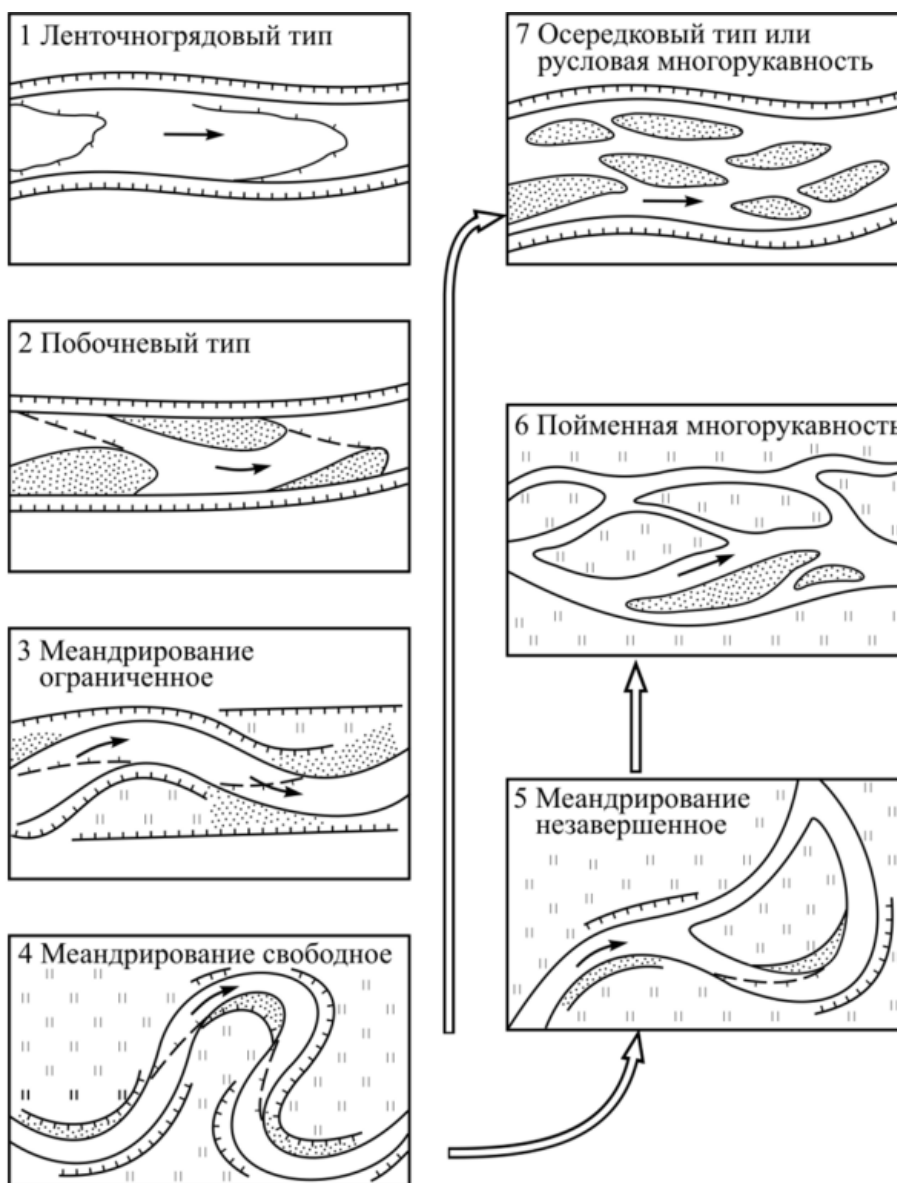


Рисунок 5 – Типизация русел рек ГГИ. Направление стрелок соответствует изменению транспортирующей способности потока

Ленточно-грядовый тип руслового процесса характеризуется грядами, состоящими из крупных наносов, сопоставимыми с поперечными размерами русла. На рисунке 6 изображен участок реки, на котором обозначены основные элементы руслового процесса данного типа:

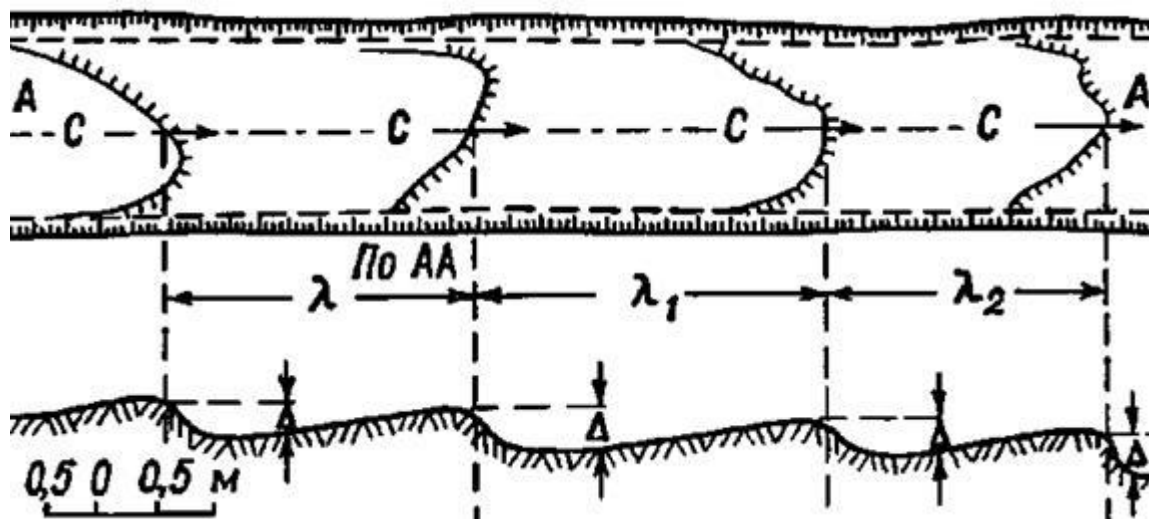


Рисунок 6 – Ленточногрядовый тип руслового процесса

λ — шаг гряды (м), т.е. расстояние между гребнями смежных гряд по средней линии русла;

Δ — высота гряды (м), т.е. возвышение гряды над подошвой подваля;

C — скорость перемещения (сползания) гряды (м/год).

Вышеуказанный тип руслового процесса появляется при наличии условий, которые ограничивают плановые деформации речного русла: берега не размываются, поймы отсутствуют.

Ленточная гряда имеет плановую дугообразную выпуклую форму, которая направлена ниже по течению, а поперечном сечении отметки последовательно увеличиваются в сторону изгиба. Длина ленточных гряд в несколько раз превосходит ее высоту.

Высота ленточных гряд уменьшается в меженный период, в половодье возрастает. Сползание гряд варьируется от 1 до 100 м/год (на очень больших реках). Ленточные гряды могут образовывать одиночные *осередки* при значительном понижении уровня воды.

Побочный тип руслового процесса проявляется как дальнейшее развитие ленточногрядового при замедлении транспорта наносов из-за

уменьшения уклонов, скоростей и т.д. и в следствие чего поток утрачивает способность перемещать донные наносы в форме ленточных гряд.

Побочень представляет собой часть перекосившейся в плане ленточной гряды, которая обсыхает в межень. На рисунке 7 изображен участок реки с побочным типом руслового процесса и его характеристики:

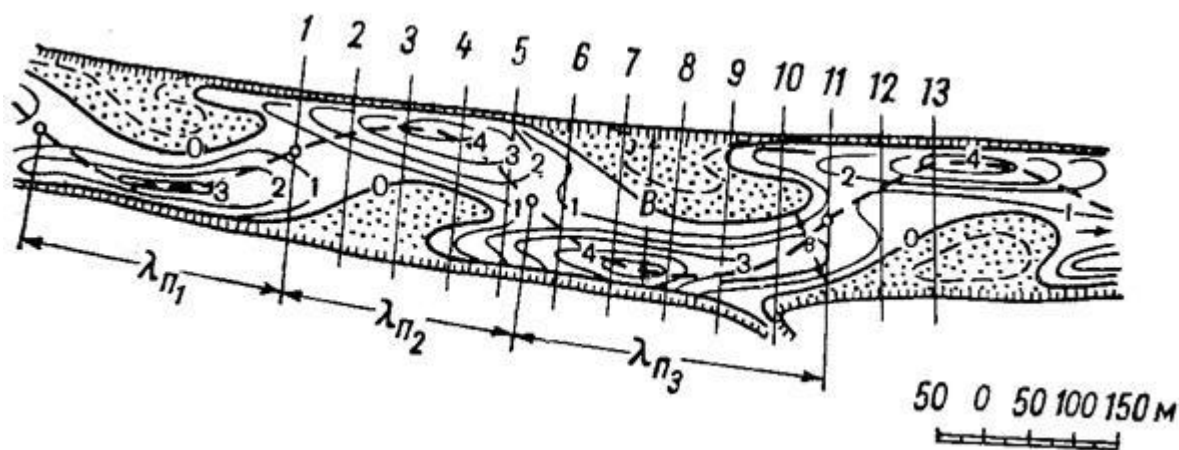


Рисунок 7 – Побочный тип руслового процесса

λ — шаг побочня (м), т.е. расстояние по прямой между двумя точками перегиба осевой линии русла;

b — ширина русла в межень, м;

B — ширина русла в половодье (между бровками противоположных берегов), м.

Данный тип руслового процесса проявляется на участках рек при стеснении склонами долин, и зачастую может проявляться в сочетании с другими типами руслового процесса.

Гряды формируются в период половодья. При понижении уровня часть близи береговой линии обсыхает, образуя побочни, а направление течения становится извилистым. Побочни относительно друг друга располагаются в шахматном порядке и сохраняют главные особенности строения гряды: возвышенную центральную и нижнюю часть; более крутой внешний склон, который обращен к реке.

Сползание гряд является проявлением всех русловых деформаций (при отсутствии значительных смещений берегов русла в плане), также сезонное изменение отметок русла (во время половодья плесы подвержены размыв, а перекааты наращиванию, в меженный период случается обратный процесс).

Ограниченное меандрирование происходит при дальнейшем развитии побочного процесса из-за уменьшения транспортирующей способности потока. Оно развивается на реках при наличии узкой поймы (односторонней либо чередующейся) и характеризуется систематическим сползанием вниз по течению слабовыраженных извилин при сохранении ими очертаний в плане. На рисунке 8 изображен участок реки с характеристиками ограниченного меандрирования:

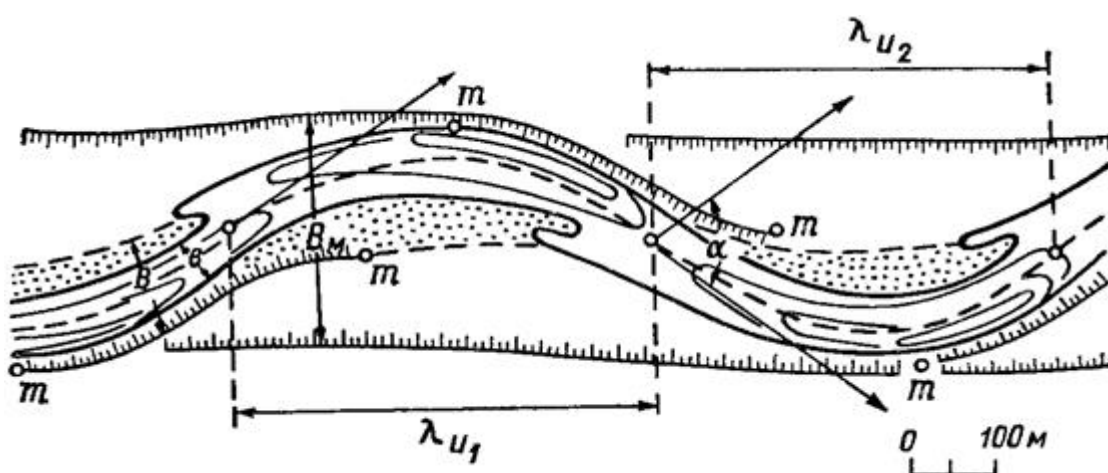


Рисунок 8 – Ограниченное меандрирование

λ_n — шаг излучины (м), т.е. расстояние по прямой между двумя точками перегиба осевой линии русла;

α — угол разворота излучины, образованный касательными, проведенными через точки перегиба;

b — ширина русла в межень, м;

B_m — ширина пояса меандрирования (м), т.е. расстояние между линиями, огибающих вершины излучин;

mm — участок подмываемого берега.

Скорость сползания излучины (м/год) представляет собой отношение длины пути, пройденного точкой перегиба русла, к периоду времени, за которое этот путь пройден; определяется при помощи сравнения топографических и аэросъемок участка реки за различные временные периоды.

В отличие от ленточногрядового и побочного типов руслового процесса, деформации распространяются не только в русле реки, но в итоге смещения русла в плане, также распространяются и на пойму. Ограниченное меандрирование характерно для рек, русла которых стеснены склонами долин, уступами террас и устойчивыми береговыми валами. В меженный период перекаты размываются и намываются в половодье, на плесах же наблюдается обратный процесс. Скорость сползания излучин на больших реках составляет 3–5 м/год.

Свободное меандрирование происходит при отсутствии причин, которые препятствуют перемещению русла реки в плане. Данный тип руслового процесса развивается на реках с широкой долиной и поймой. Свободное меандрирование характеризуется следующими параметрами (рисунок 9):

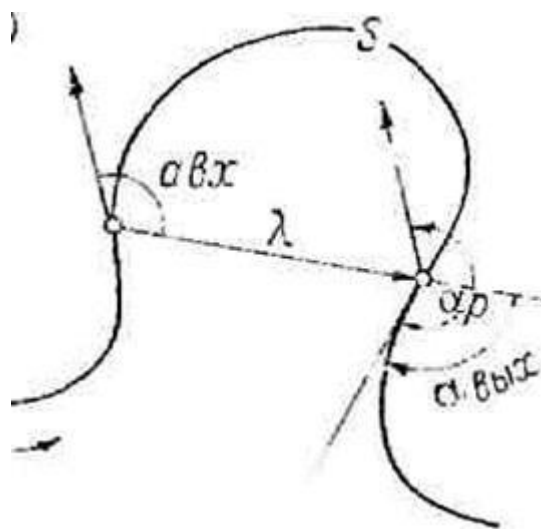


Рисунок 9 – Свободное меандрирование

λ — шаг излучины (м), т.е. расстояние по прямой между двумя точками перегиба осевой линии русла;

$\alpha_{\text{вх}}$ — угол входа в излучину, т.е. угол между касательной в верховой точке перегиба и линией шага излучины;

$\alpha_{\text{вых}}$ — угол выхода из излучины, т.е. угол между касательной в низовой точке перегиба и линией шага излучины;

S — длина излучины (м), т.е. расстояние между точками входа и выхода по осевой линии русла;

α_p — угол разворота, равный сумме углов: $\alpha_p = \alpha_{\text{вх}} + \alpha_{\text{вых}}$.

В ходе развития свободного меандрирования излучины развиваются циклично: русла проходят поочередные стадии развития от слабоизогнутых до петлеобразных. При завершении цикла развития происходит прорыв перешейка излучины, изгиб русла отделяется и образуется старица. После этого цикл развития повторяется.

Незавершенное меандрирование происходит на реках, на которых присутствуют низкие хорошо затопляемые поймы, когда цикл развития излучины нарушается образованием спрямляющего потока. На рисунке 10 изображен пример незавершенного меандрирования и его характеристики:

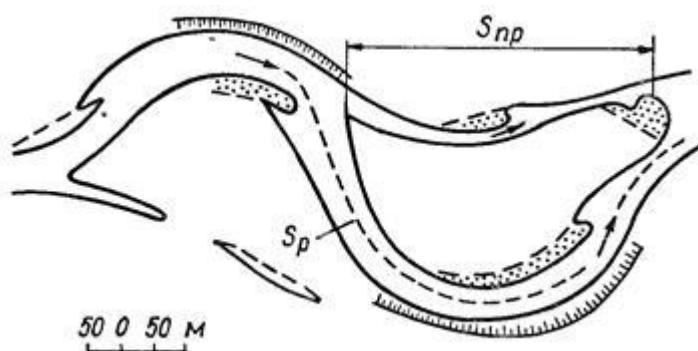


Рисунок 10 – Незавершенное меандрирование

S_p — длина излучины основного русла (м), т.е. расстояние между точками входа и выхода по осевой линии русла;

$S_{\text{пр}}$ — длина спрямляющего протока (м), т.е. расстояние между точками входа и выхода по прямой линии.

При незавершенном меандрировании перешеек излучины прорывается до момента достижения петлеобразного очертания (поэтому оно и называется незавершенным) путем образования спрямляющего протока (рукава, воложка), в который затем переходит главный поток, а прежнее русло отмирает. Новое русло повторяет описанный цикл. Такой процесс длится несколько лет, иногда и десятилетий.

При интенсивном развитии данного типа руслового процесса создаются благоприятные условия для расчленения поймы многочисленными протоками. В итоге появляется довольно самостоятельный вид процесса незавершенного меандрирования – *пойменная многорукавность* (рисунок 11).

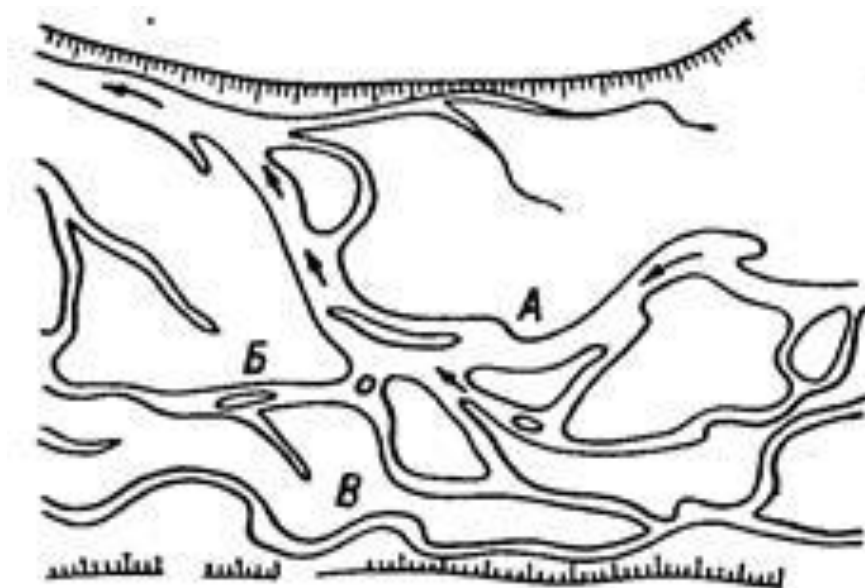


Рисунок 11 – Пойменная многорукавность

При развитии данного типа руслового процесса на участке поймы река протекает несколькими рукавами большой протяженности. При этом отдельные рукава могут рассматриваться как отдельные реки *А, В и В*.

Осередковый тип руслового процесса или русловая многорукавность по сути является стадией развития ленточногрядового типа (рисунок) из-за большой нагруженности потока донными наносами (превышающей его транспортирующую способность), вследствие чего начинается активный процесс аккумуляции.

Водный поток образует широкое распластанное русло, по которому движутся или расчлененная гряда, или ряды этих гряд. Возвышенные части гряд, обсыхая в межень, образуют осередки, которые в условиях длительной межени могут превращаться в острова (рисунок 12).

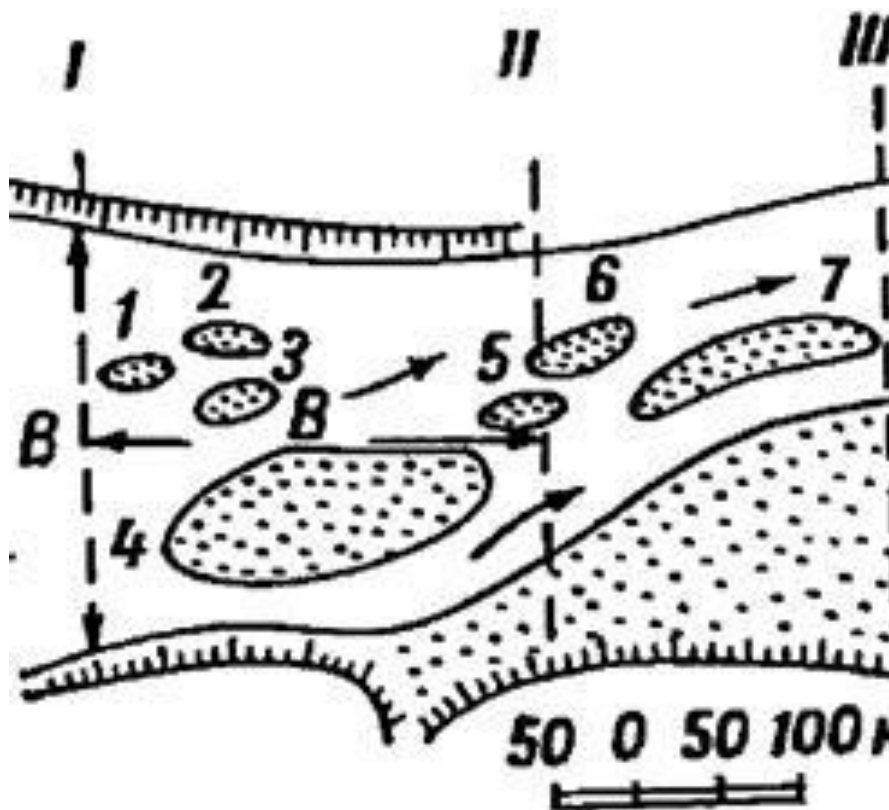


Рисунок 12 – Осередковый тип (русовая многоруканность)

Одний из характеристик процесса данного типа является плотность осередков: $k = f / F$, где f — площадь осередков на участке; F — площадь всего участка, ограниченная створами I и III (рисунок 12).

Строение излучины можно представить отдельными морфологическими элементами, и благодаря комбинациям их количественных черт, существует возможность схематизировать размеры и форму излучин в течение процесса развития. Излучины являются совокупностью двух крыльев — верхнего и нижнего. При условии последовательного расположения излучин нижнее крыло первой излучины становится верхним крылом излучины, расположенной ниже по течению. Верхнее крыло переходит к нижнему в точке, которое является вершиной излучины.

Прямая, проходящая по ширине дна долины между вершинами смежных излучин – это ширина пояса меандрирования (B_m). Данная характеристика изменяется при поперечном смещении излучин и их спрямлении, другими словами, она не оказывает влияние на ширину части дна долины, в границах которой русло может блуждать (форма русла меняется).

Для оценки размеров и формы излучин используются следующие характеристики («измерители» по терминологии ГГИ) (Рисунок 13):

- шаг излучины L – это расстояние между вершинами соседних излучин;
- стрела прогиба h – перпендикуляр, проведенный от оси пояса меандрирования по направлению к вершине излучины. Две смежных стрелы прогиба в сумме равны ширине пояса меандрирования ($B_m=2h$);
- длина излучины по руслу l – это сумма длин левого и правого крыла одной излучины;
- радиус кривизны r – это радиус, который описывает кривую геометрической оси русла на превалирующей части излучины (допустим, если излучина имеет сегментную или петлеобразную форму) либо в ее привершинном сегменте (в случае, если форма излучины – синусоидальная);
- ширина русла при вершине излучины – может измеряться и в меженный период, и в период подъема воды. При наличии побочня у выпуклого берега ширина может значительно различаться в периоды разных фаз водности, поэтому ее стоит измерять в таких случаях также в местах крыльев, в привершинном створе, в средней части и в створах на границах прямолинейных вставок;

Безразмерные показатели:

- степень развитости l/L ;
- показатель формы r/h .

пойменным сегментом. Когда излучина имеет петлеобразную форму, узкая часть называется шейкой излучины.

Как было упомянуто ранее при поочередном месторасположении серии излучин границы каждой определяются по точкам перегиба русла в плане. Если излучина одна, ее границы определяются с учетом месторасположения участков с наибольшей глубин, расположения размываемых зон берегов и отношения между собой различных параметров излучин. Границы излучин определяются по вышеперечисленным признакам в случае наличия прямолинейных вставок между ними. В этом случае ось пояса меандрирования расположена на оси русла.

2.2.Методика МГУ

В основе классификации МГУ находится многоуровневый принцип, позволяющий учесть различия в механизме русловых процессов на горных, полуторных и равнинных реках и особенности развития русел в свободных (широкопойменные русла) и ограниченных (врезанные русла) условиях развития русловых деформаций. В силу этого каждый из основных морфодинамических типов русла (меандрирующее, извилистое; разветвленное на рукава; относительно прямолинейное, неразветвленное) может быть равнинным, полуторным и горным, широкопойменным, врезанным или адаптированным. Каждый из морфодинамических типов русла подразделяется на виды, которые различаются формой русла и характером русловых деформаций.

В результате морфодинамическая классификация речных русел представляет собой систему блоков (рисунок 14), каждый из которых соответствует уровню развития русловых процессов и проявления форм; русловые процессы в предыдущем блоке формируют условия, при которых происходят процессы руслоформирования, которые соответствуют каждому следующему блоку. Состав руслоформирующих наносов и устойчивость русла в данной классификации учитываются отдельными блоками.

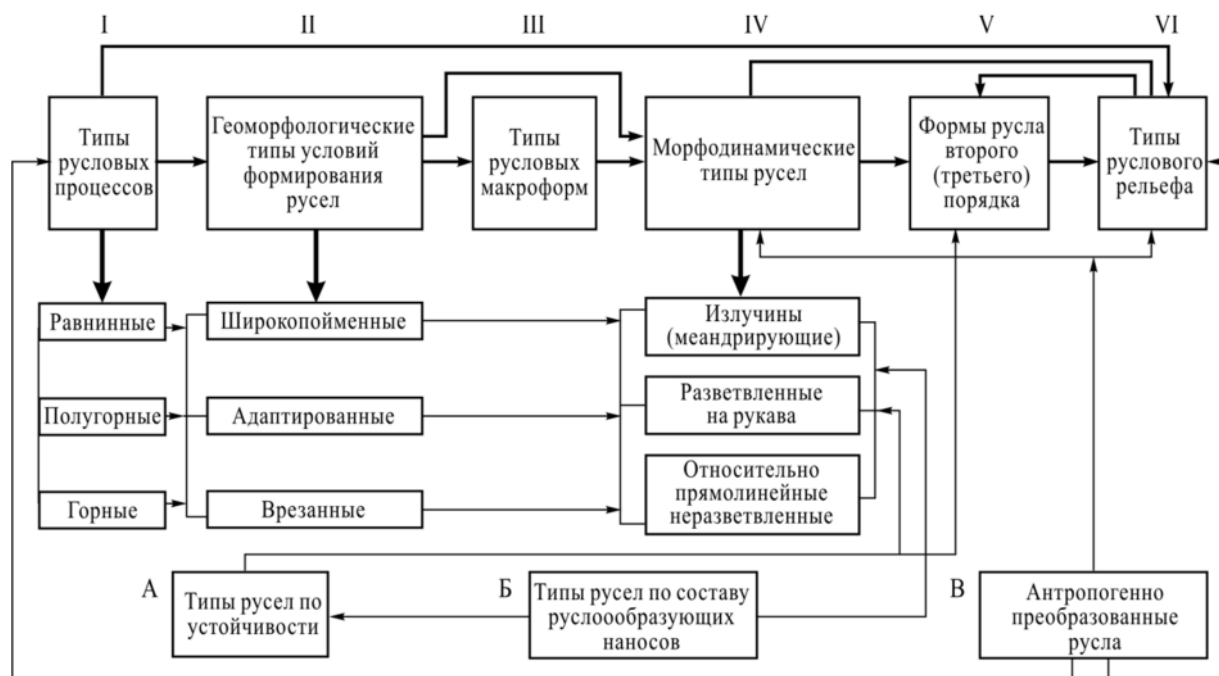


Рисунок 14 – Структура морфодинамической классификации речных русел МГУ (Р.С. Чалов)

Блок I представляют *типы русловых процессов*, соответствующие горным, полугорным и равнинным рекам. На горных реках подразделяются русла с развитыми аллювиальными (грядовые), с неразвитыми аллювиальными (безгрядовые) формами, аллювиальные порожиствоводопадные, кроме того, скальные (порожистые, порожиство-водопадные, лотковые) и селевые. У равнинных рек по русловым процессам выделяются русла первого порядка – ручьи, малые и средние реки, а также большие и крупнейшие. В устьевых участках рек особенности русловых процессов определяются распределением водного потока и прямым воздействием на него морских факторов.

Блок II включает в себя широкопойменные, адаптированные и врезанные типы русел. Выделение данных типов основано на *геолого-геоморфологических факторах русловых процессов*. Каждому типу характерно соответствующее соотношение между шириной русла B_p и шириной поймы B_{Π} (1,5; 1,6; 1,7). Врезанные русла формируются, в основном, при дефиците наносов и из-за этого энергия потока затрачивается на размыв дна. При дефиците наносов грядовые формы рельефа не развиваются, соответственно,

вероятность проявлениями горизонтальных деформация (расширение дна долины) уменьшается.

При избытке наносов в русле образуются грядовые формы рельефа (побочни, осередки), способствующие его блужданию и формированию русла с широкой поймой.

Блок III включает в себя *макроформы русла*, превышающей предельные размеры русловых форм при современной водности реки, величине стока, крупности наносов, ширине русла, но одновременно оказывают воздействие на их развитие (на рисунке 14 – не расшифровывается).

А.В. Панин предложил подход, который аналогичен выделению геоморфологических типов, деление макроизлучин на свободные, адаптированные (с одним коренным берегом) и врезанные.

Врезанные излучины могут быть: унаследованными от свободно меандрирующего русла, которое было сформировано в различные фазы водного режима реки. В своем развитии данный тип излучин испытывает воздействие геолого-геоморфологических факторов, предопределенных геологическими и структурно-тектоническими условиями.

Врезанные макроизлучины развиваются благодаря появлению в их привершинных частях гидравлических явлений, свойственных изгибу потока, смещению русла в сторону вогнутого берега и накоплению морфологических изменений, которые происходят под воздействием экстремальных фаз водности реки.

Макроизлучины широкопойменных русел являются реликтовыми образованиями либо изгибами пояса меандрирования реки, развитие которых случается на протяжении исторических и геологических временных промежутков.

Врезанные макроразветвления, которые образованы коренными высокими островами, имеют соизмеримые с врезанными макроизлучинами

размеры, (например, о-в Хортица на Днестре). Разделенные на очень длинные рукава русла являются аналогом излучин поясов меандрирования. протяженность которых в несколько раз превосходит ширину русла.

Блок IV включает в себя *морфодинамические типы русла*: излучины (меандрирование), разветвления (русовая многорукавность), относительно прямолинейное, неразветвленное русло и их виды. Русло каждого из типов может развиваться на фоне определенных макроформ, быть широкопойменным, адаптированным или врезанным. В то же время горные, полугорные и равнинные реки характеризуются своими особенностями развития русел любого морфодинамического типа.

Морфодинамические типы русла в свою очередь представлены различными подтипами. В классификационной схеме (рисунок 14) они сопоставляются со свободными, адаптированными или ограниченными критериями развития русловых деформаций. Наиболее полно они распространены на равнинных реках с широкими поймами. Некоторые их разновидности не характерны горным рекам. Адаптированные и врезанные русла имеют меньший набор вариантов каждого морфодинамического типа, так как многие из них в данных условиях не имеют предпосылок для своего развития. В числе русел с широкой поймой выделяются не только свободные, но и адаптированные и вынужденные излучины, которые в виде отдельных форм встречаются там, где русло подступает к коренному берегу реки (либо отклоняется от него). Адаптированным является также прямолинейное русло с широкой поймой, которое проходит вдоль коренного берега.

Среди разветвленных русел с широкой поймой в схеме подразделяются разбросанные русла, которые включают мало или практически не изученные в отношении их морфологии и динамики.

Блок V содержит в себе *формы русла второго и третьего порядков*, которые осложняют излучины, разветвления или относительно прямолинейное неразветвленное русло. Чем меньше устойчивость русла, больше сток наносов и образование вложенных друг в друга форм русла

становится более вероятным, в том числе развивающихся в различные фазы водного режима.

Блок VI включают *формы руслового рельефа и русловые деформации*, которые связаны с движением наносов в виде гряд, или скульптурные, определяемые неровностями коренного ложа реки. В первом случае русла могут быть перекатными (перекатные участки), если рельеф его определяется развитыми макроформами руслового рельефа (зависимо от формы гряд – побочными, осередковыми и ленточногрядовыми) или плесовыми, которые образуют глубоководные участки большой длины. Промежуточное положение занимают плесово-перекатные русла, в которых положение плесов и перекатов связано с определенными параметрами форм русла.

В дополнительных блоках русла делятся по показателям, определяющим особенности развития каждого морфодинамического типа русла (рисунок 15)

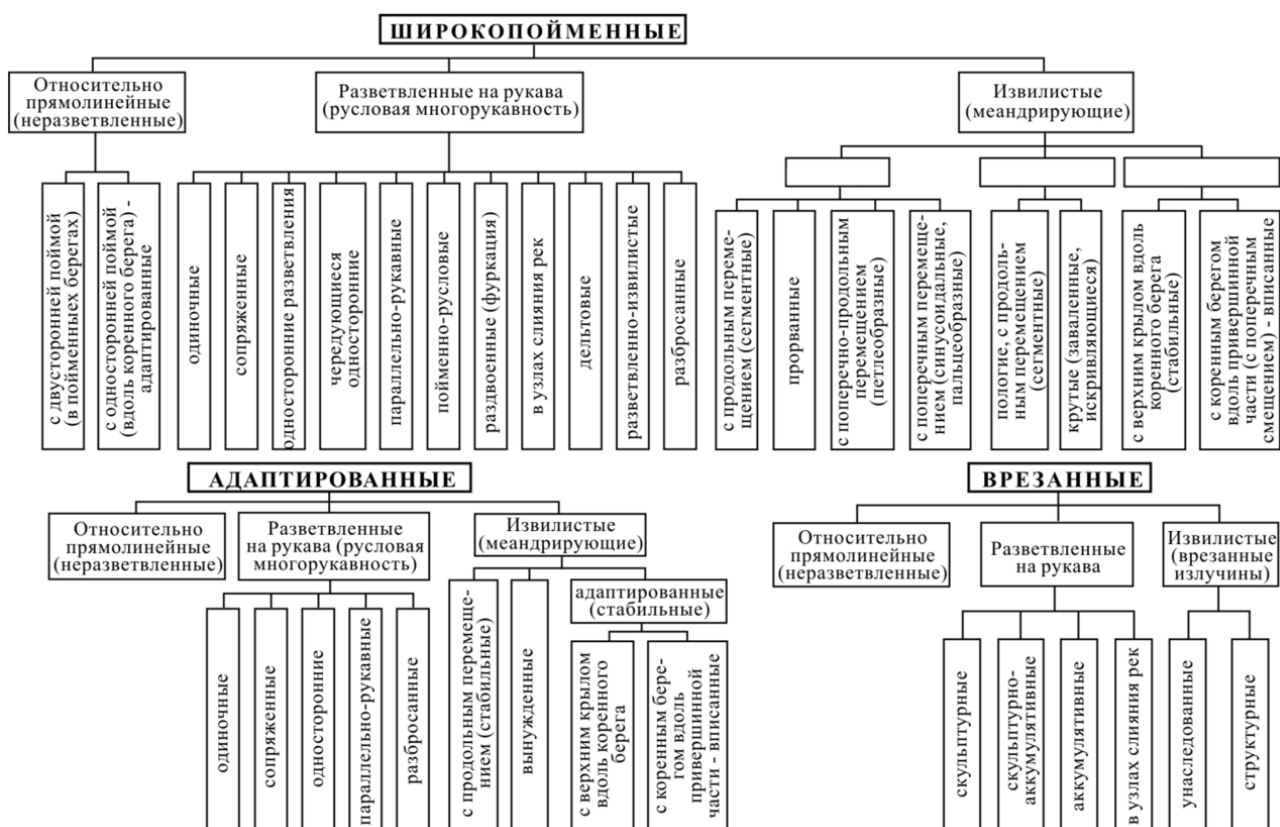


Рисунок 15 – Морфодинамические типы русел и их разновидности (блок IV в классификации на рисунке 14)

Блок А показывает интегральную оценку интенсивности переформирований в зависимости от степени устойчивости русла в соответствии с градациями принятых характеристик – числа Лохтина, коэффициента стабильности русла Н.И. Маккавеева или других.

Блок Б характеризует русло по составу наносов, формирующих русло.

Блок В связан с формированием русла и руслового рельефа в условиях их преобразования техногенными и другими видами антропогенных воздействий вплоть до превращения русел в каналы, бетонированные лотки, запаханые русла малых рек и т.д.

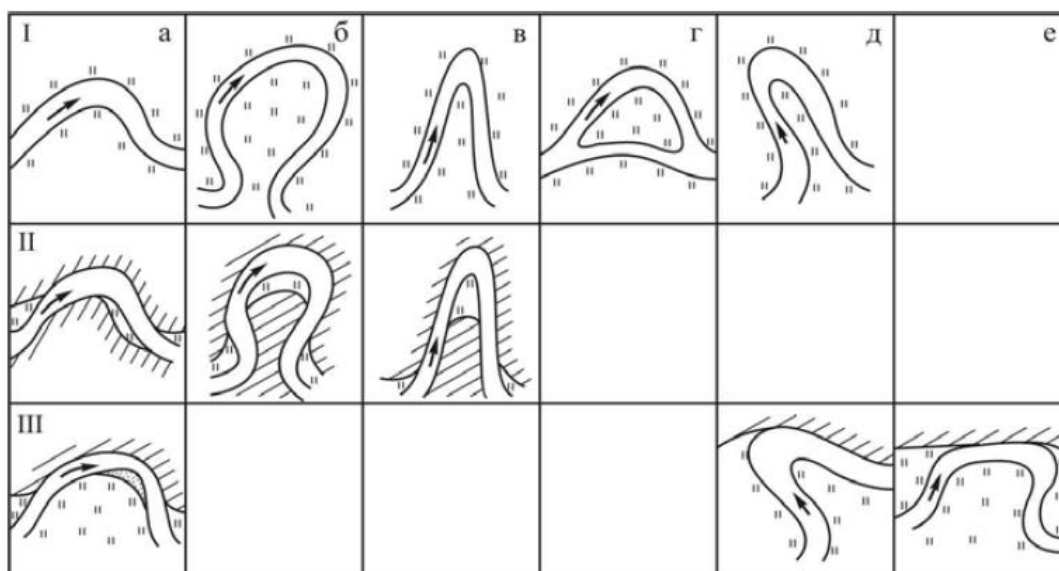


Рисунок 16 – Виды свободных (I), врезанных (II) и адаптированных (III) излучин: а – сегментные; б – петлеобразные; в – синусоидальные; г – прорванные; д – заваленные; е – сундучные.

Свободные излучины свойственны для случаев свободного развития русловых деформаций. Речные русла имеют широкую пойму, ширина пояса меандрирования практически всегда меньше ширины дна долины, и при этом виде излучины могут быть наиболее разнообразных форм.

Формирование врезанных излучин происходит в условиях ограниченного меандрирования. В границах излучин русло определяется

высокими берегами, неподверженных затоплениям и сложенными трудноразмываемыми либо скальными породами. Русло повторяет в плане изгибы долины, пойма обычно узкая и односторонняя, примыкающая к выпуклым берегам излучин в форме узких фрагментов, и зачастую может отсутствовать. Врезанные излучины делятся на излучины в скальных породах и излучины в пластичных породах в зависимости от литологии горных пород.

Адаптированные излучины формируются либо в русле с широкой поймой при приближении реки к коренному берегу и при отдалении от него, сравнительно узкой долине, где русло поочередно приближается к одному или другому берегу, и имеет левостороннюю или правостороннюю пойму.

Сегментные излучины являются самой характерной формой меандрирующего русла, обладающей дугообразной формой.

Сегментные излучины отличает преобладание продольного смещения. Подобные излучины могут иметь пологую и крутую форму и встречаются при всех типах излучин.

Петлеобразные (омеговидные) излучины характеризуются продольно-поперечным смещением. Шпоры таких излучин замыкаются по оси меандрирующего пояса между правым и левым крыльями. Петлеобразные излучины встречаются при свободном и врезанном типе.

У синусоидальных излучин доминирует поперечное смещение, форма вытянутая в поперечном направлении по отношению к оси пояса меандрирования. Данные излучины имеют длинные прямолинейные вставки на крыльях.

Прорванные излучины могут встречаться в широкопойменных руслах, характерной особенностью является наличие спрямляющего рукава, по-другому – протоки, проходящей между крыльями излучины и является результатом завершения эволюции излучин, имевших изначально в большинстве случаев крутую сегментную форму. В классификации ГГИ тип руслового процесса такой излучины соответствует незавершенному

меандрированию. Прорванные излучины характерны для свободного типа излучин.

Заваленные излучины могут формироваться при преобладающем смещении вершины излучины вниз или вверх по течению относительно стрелы прогиба и представляют собой гипертрофированную форму, становящейся такой из-за влияния дополнительных факторов. Заваленные излучины характерны для свободного и адаптированного типов излучин.

Сундучные излучины представляют собой совместное воплощение вынужденной и адаптированной излучин, разделенных коротким участком прямолинейного русла рядом с коренным берегом. Участок прямолинейного русла является некой «вставкой» между нижним крылом одной и верхним крылом другой излучины.

В работе Чалова Н.С., Завадского А.С., Панина А.В. [14] приводится сопоставление классификации излучин МГУ типизации русловых процессов ГГИ (таблица 3).

Таблица 3 – Типизации излучин (меандрирующих русел) и их сопоставление по морфологии, характеру деформаций и условиям формирования

№	Классификация МГУ	Классификация ГГИ
1	<i>Широкопойменные</i> Свободные: <i>С продольным перемещением (сегментные)</i> <i>С продольно-поперечным перемещением (петлеобразные)</i>	<i>Свободное меандрирование</i>
2	<i>С поперечным перемещением (синусоидальные, пальцеобразные)</i> <i>Прорванные</i>	<i>Незавершенное меандрирование</i>

№	Классификация МГУ	Классификация ГГИ
	<i>Разветвленно-извилистое русло</i>	
4	<i>Адаптированные</i> Сегментные: <i>(с продольным перемещением)</i>	<i>Ограниченное меандрирование</i>

3. Результаты расчетов характеристик излучин Ветлуги и их сравнение с морфометрическими характеристиками участка перехода

3.1. Методика выполнения измерений

Имеющиеся способы расчета деформаций русла применительно к достаточно протяженным участкам рек основаны на довольно грубых схематизациях и допущениях, недостаточно учитывающих морфологические особенности исследуемого объекта. Поэтому современные методы расчета русловых деформаций пока не совершенны и не могут удовлетворять требованиям практических задач. Успешное решение задачи расчета и прогноза русловых деформаций во многом зависит от наличия четких представлений о том, как трансформируются русла в природе, и не только на ограниченных участках, но и на весьма протяженных участках, которые охватывают различные взаимодействующие формы русловых образований и различные типы речных русел.

Обычно форму излучины характеризуют следующими параметрами: шаг излучины, углы входа, выхода и разворота, степень выраженности и пр. Сочетание линейных, угловых и относительных параметров значительно усложняет массовую обработку характеристик излучин для всей реки и группы рек региона.

В данной работе для морфометрической оценки речной излучины используется методика, приведенная в выпускных квалификационных работах Ивановой О.И. [1] и Баскаковой А.И. [2]. Каждая излучина выделяется пятью характерными точками (рисунок 17), где точки 1 и 5 – точки начала и конца излучины, точки перегиба; точки 2 и 4 – точки, где наблюдается самая широкая часть излучины, точка 3 представляет вершину излучины – наиболее отдаленную точку от точек перегиба. При соединении данных точек образуется пятиугольный полигон.

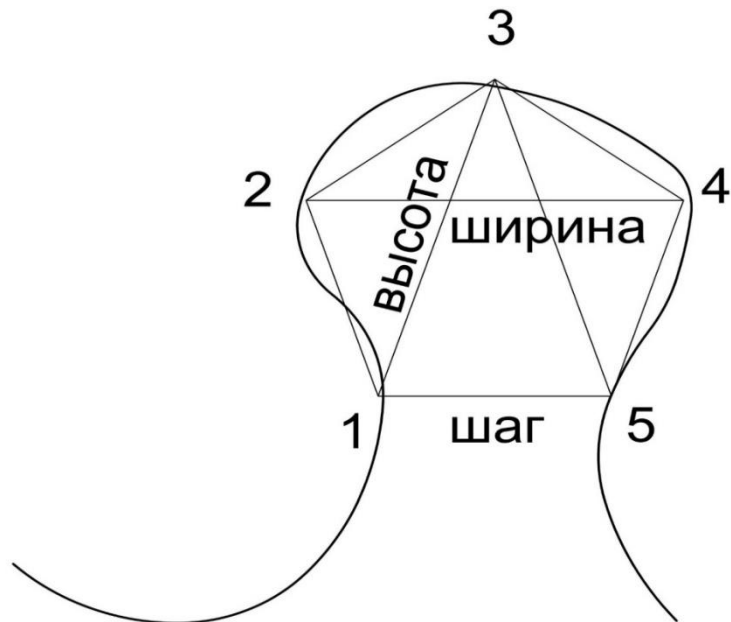


Рисунок 17 – Параметры излучины

Если одна излучина переходит в другую, то последняя точка первой излучины будет являться первой точкой следующей излучины.

Чтобы получить параметры, характеризующие излучины и тип руслового процесса в общем достаточно иметь плоские географические координаты точек 1-5.

В работе определялись следующие характеристики речных излучин:

При рассмотрении любой излучины в методике, которая основана на пятиугольном полигоне, выделяются следующие характеристики (по рисунку 17):

- 1) λ – L_{1-5} – шаг излучины (термин ГГИ);
- 2) B – L_{2-4} – ширина излучины;
- 3) L_{1-3} – высота входа излучины;
- 4) L_{3-5} – высота выхода излучины;
- 5) S – площадь излучины;
- 6) L – длина излучины (сумма длин 1-5);
- 7) L/λ – степень развитости излучины (термин ГГИ);

- 8) $R=S/L$ – часть площади, приходящейся на единицу длины излучины.
Данный параметр является аналогом гидравлического радиуса;
- 9) B/λ – полнота излучины;
- 10) L_{1-3}/λ – относительная высота (вытянутость) излучины;
- 11) L_{1-3}/L_{3-5} – скошенность излучины. Если данный параметр равен единице, излучина симметричная, если больше единицы – излучина скошена по течению, если меньше единицы – скошена против течения. Необходимо подчеркнуть, что это зависит от того, вверх или вниз по течению измерялись излучины.

По полученным данным кроме стандартных характеристик таких как, например, шаг и длина излучины, появляются новые, такие как полнота излучины (отношение ширины излучины к шагу), а также определение типа излучины как длинная узкая – вытянутость (отношение высоты излучины к ее шагу) или широкая растянутая – выполненность (отношение периметра к шагу).

В качестве основы был взят космический снимок участка обследования на дату 20.04.2021 в районе подводного перехода магистрального нефтепровода «Сургут-Полоцк» через р. Ветлуга в прямоугольной проекции UTM зона 38N.

Космический снимок скачивался с сайта <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Данный портал разработан геологической службой США и предназначен для поиска и заказа космических снимков, аэрофотоснимков и иной картографической продукции. Не регистрируясь есть возможность поиска данных и использования всех функций. Для заказа и скачивания данных необходимо пройти регистрацию.

С целью получения параметров речных излучин определялись плоские географические координаты точек 1-5. Для этого было использовано приложение ArcMap программного продукта ArcGIS.

На космическом снимке на излучинах составлялись пятиугольные полигоны, которые обрабатывались по схеме, приведенной на рисунке 14, на выбранном участке реки. По полученным рядам рассчитывались характеристики излучин.

3.2. Характеристика участка исследования

В качестве района исследования был выбран участок реки от устья до поселка Козиково (рисунок 18). Всего протяженность участка составила 43 км (по прямой линии).

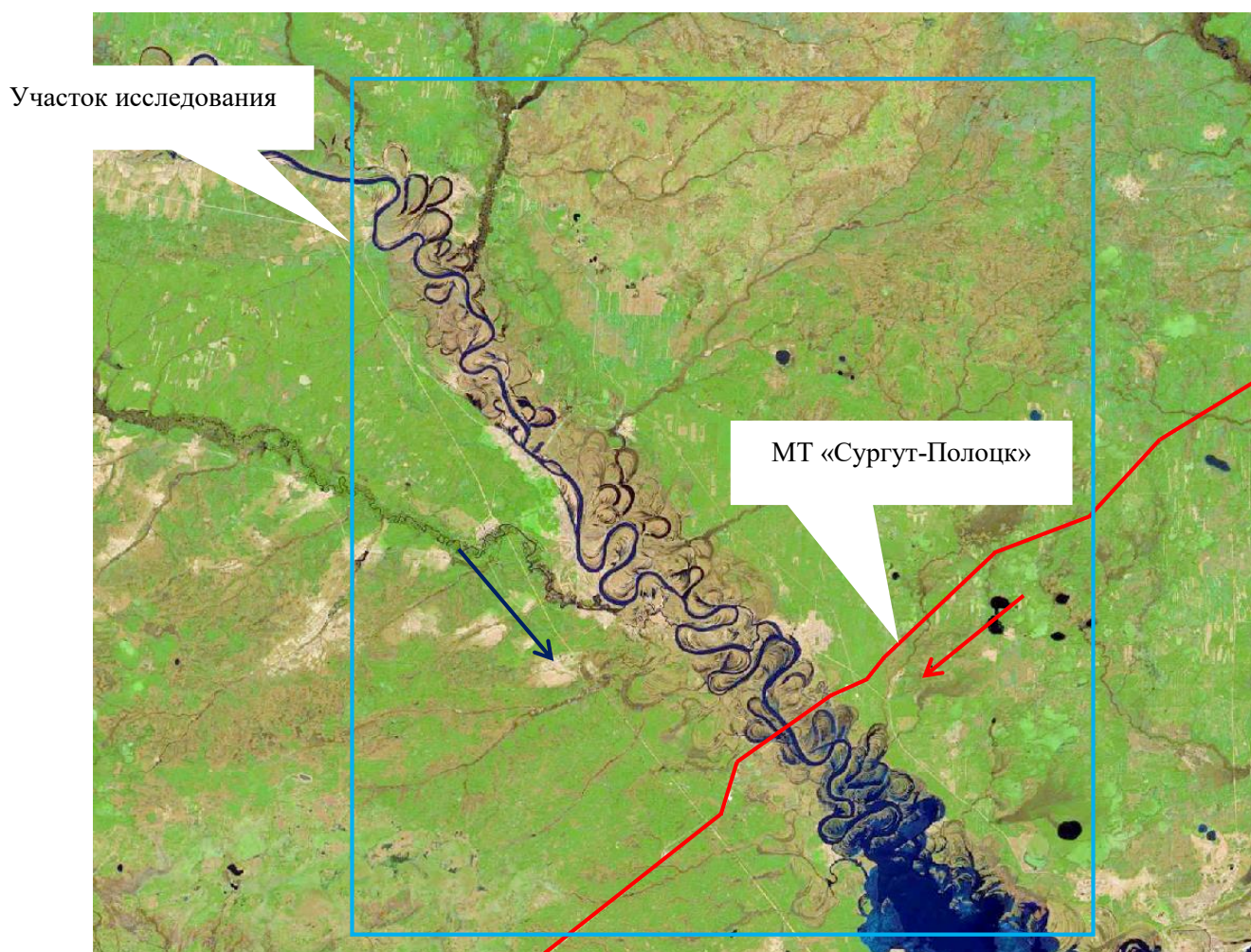


Рисунок 18 – Схема участка исследования

Пятиугольные полигоны были выделены на 33 излучинах, а также на 22 старицах (рисунок 19). Участок подводного перехода магистрального

нефтепровода «Сургут-Полоцк» находится в начале излучины № 8. Нумерация излучин и стариц начинается от устьевых участка.

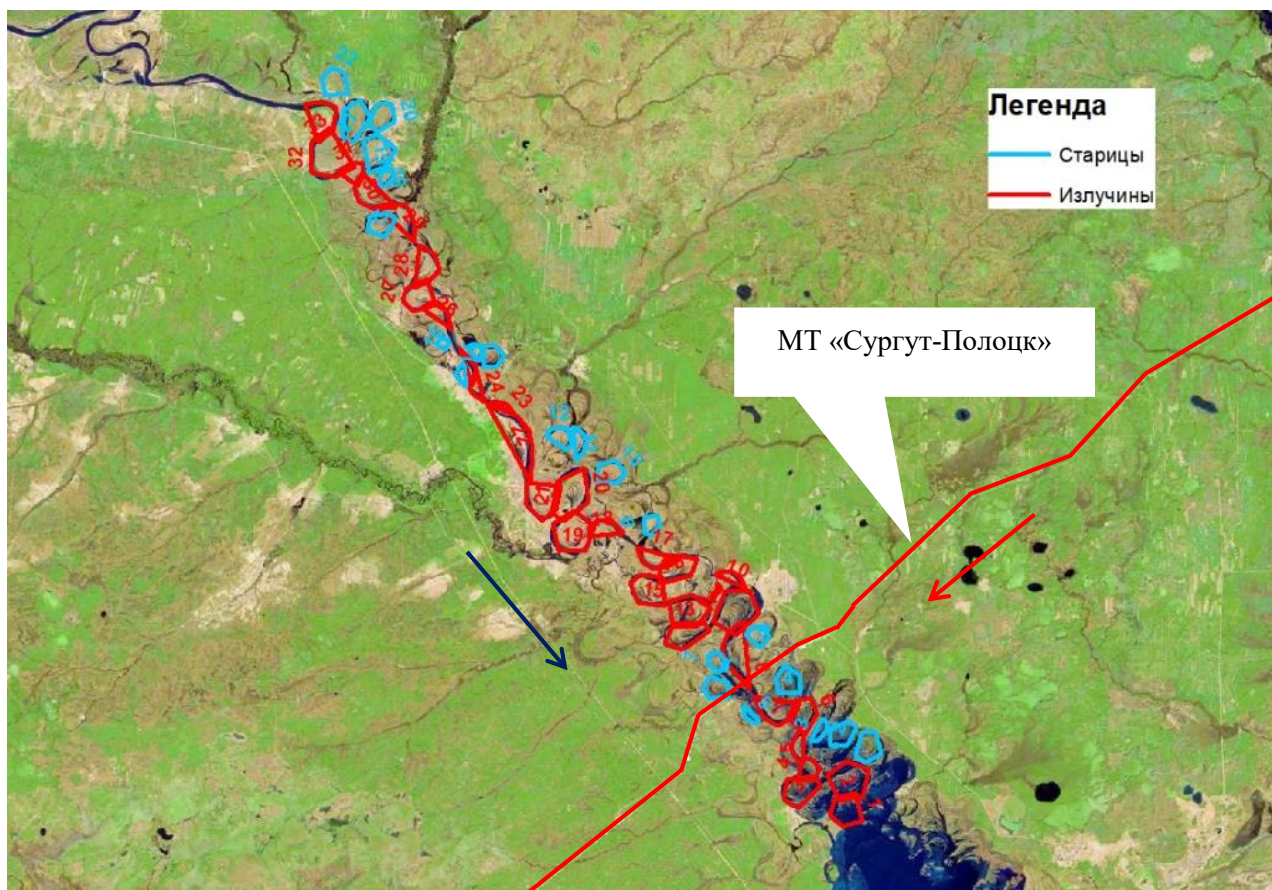


Рисунок 19 – Выделенные полигоны на старицах и излучинах

3.3. Анализ полученных результатов

По полученным координатам полигонов были рассчитаны параметры излучин и стариц. Значения параметров приведены в приложении Б. Основные статистические характеристики приведены ниже.

3.3.1. Оценка морфометрических параметров излучин

Ширина излучин

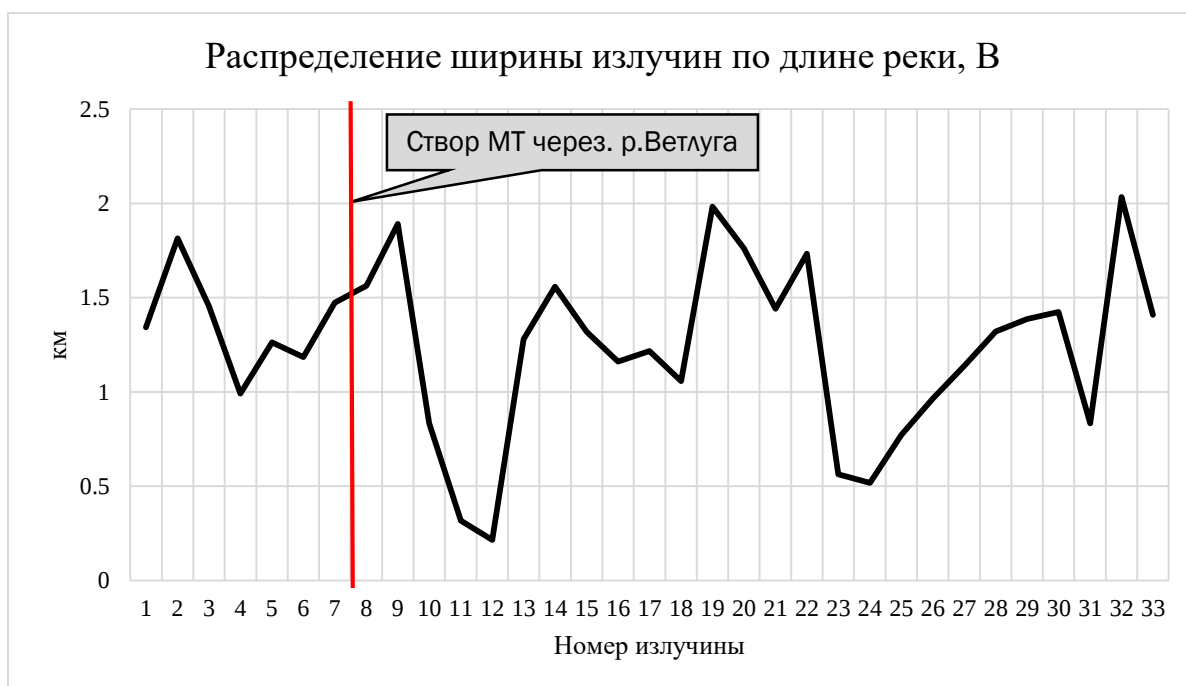


Рисунок 20 – Распределение ширины излучин по длине исследуемого участка реки

Значение ширины излучин на исследуемом участке варьируется от 0,21 км (излучина № 12) до 2,03 км (излучина № 32). Среднее значение ширины излучин составляет 1,25 км. В районе створа МТ излучины имеют значительную ширину от 1,47 км до 1,56 км.

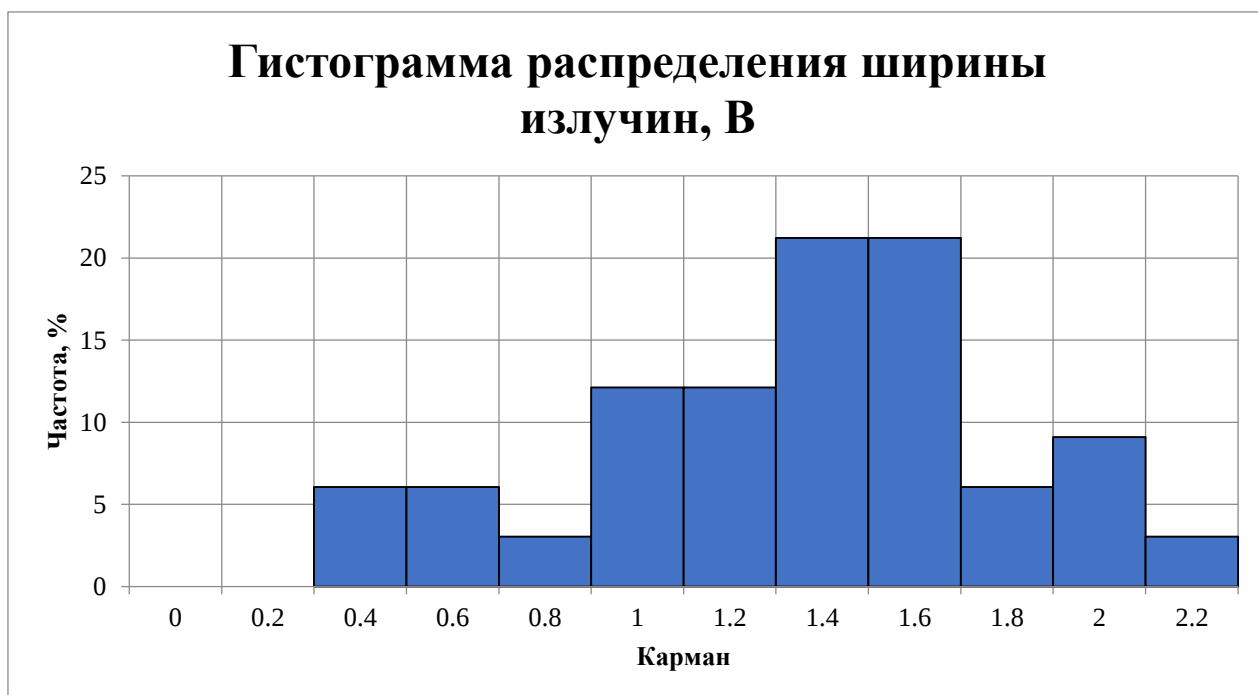


Рисунок 21 – Гистограмма распределения ширины излучин

У большинства излучин ширина приходится на диапазон 1,4-1,6 км.



Рисунок 22 – Распределение шага излучин по длине исследуемого участка реки

Значение шага излучин на исследуемом участке варьируется от 0,49 км (излучина № 12) до 4,26 км (излучина № 22). Среднее значение шага излучин составляет 1,56 км. В районе створа МТ значение шага начинает возрастать и находится в промежутке от 2,2 км до 3,3 км.



Рисунок 23 – Гистограмма распределения шага излучин

У большинства излучин шаг составляет порядка 1,4 км.

Степень развитости излучин

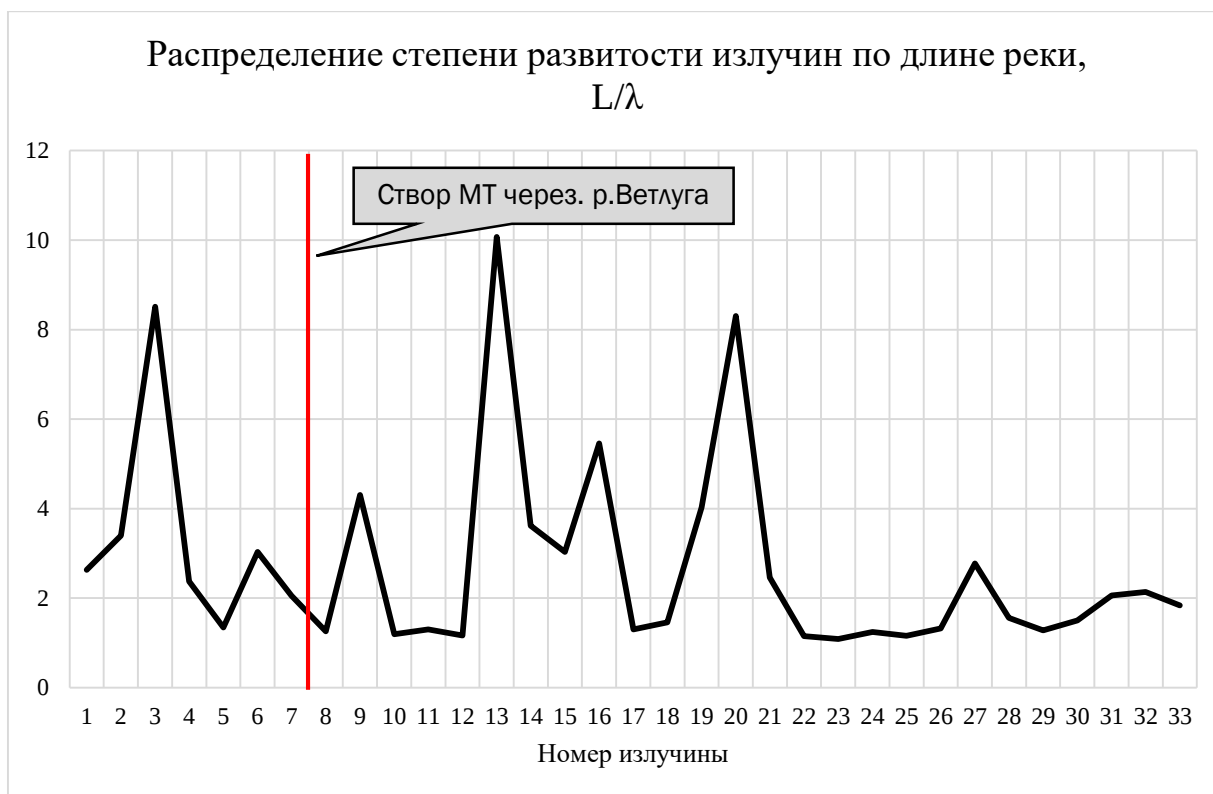


Рисунок 24 – Распределение степени развитости излучин по длине исследуемого участка реки

Степень развитости излучин на участке варьируется в пределах от 1,1 до 10,1, среднее значение составляет 2,7. Наибольшая степень развитости наблюдается у излучин номер 3 – 8,5, номер 13 – 10,1 и номер 20 – 8,3. В районе створа МТ степень развитости излучин близка к минимальным значениям.

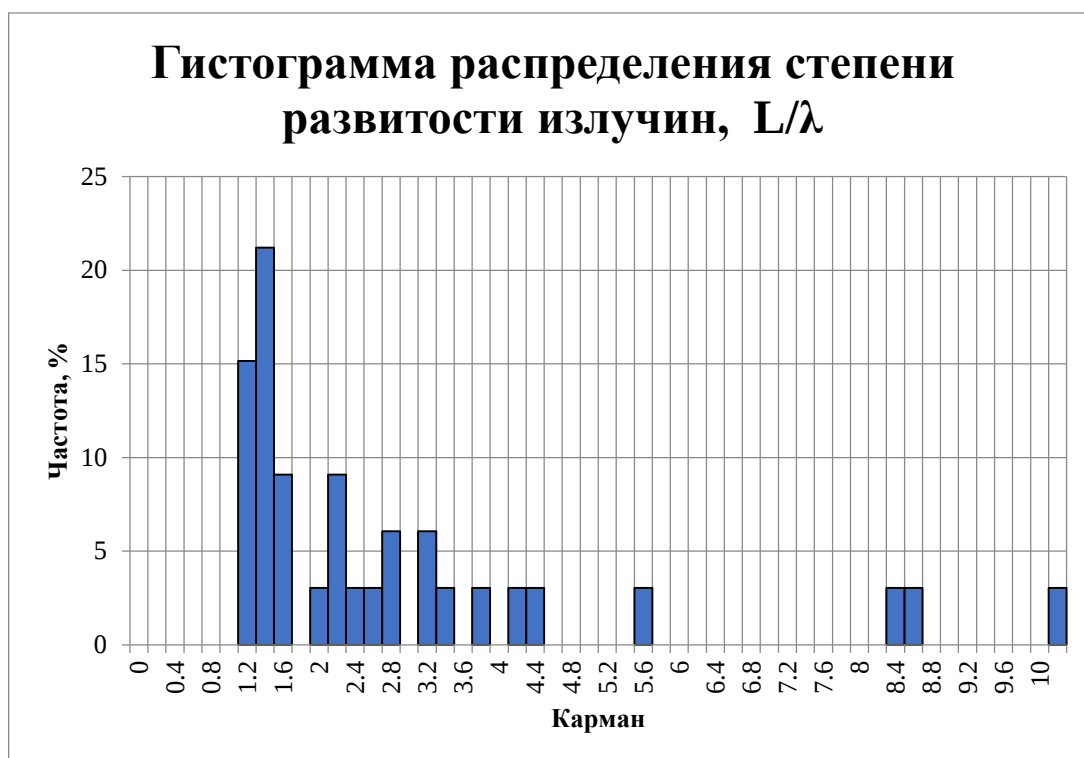


Рисунок 25– Гистограмма распределения степени развитости излучин

Как видно по рисунку 25 излучины со степенью развитости от 0 до 1,2 отсутствуют. Сегментные излучины имеют степень развитости до 2 и составляют 48 %. При значениях больше 2 излучина приобретает петлеобразную форму, возможны последующие преобразования.

Относительная полнота излучин

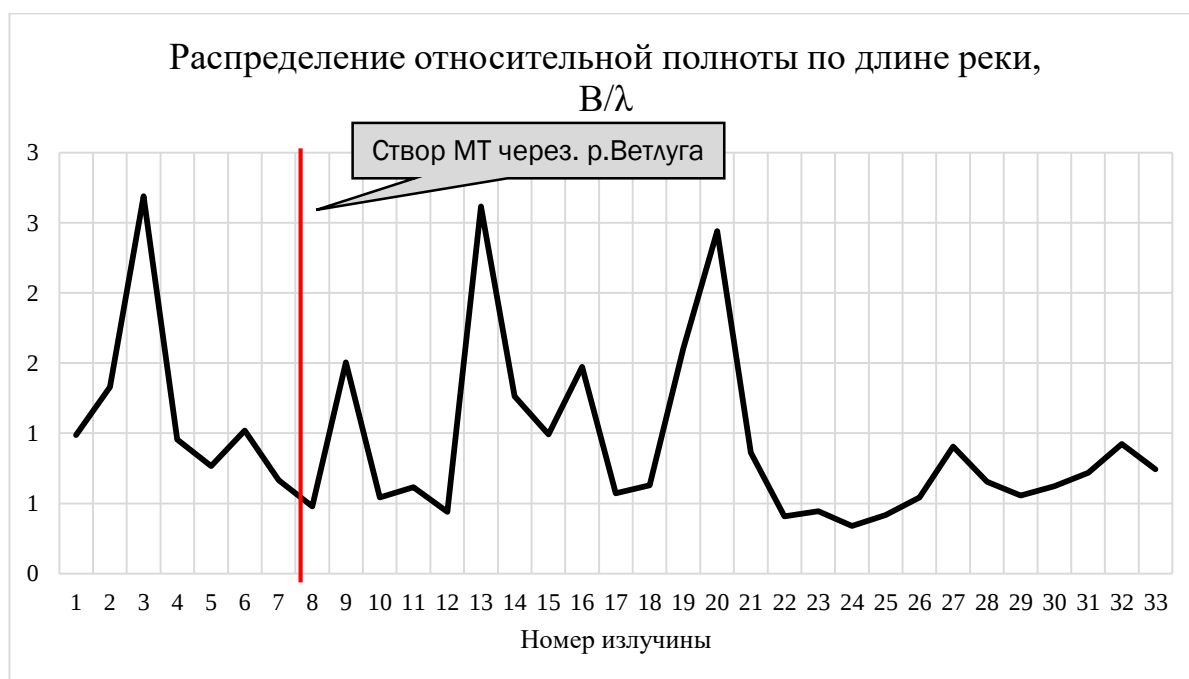


Рисунок 26 – Распределение относительной полноты излучин

В целом, график распределения относительной полноты излучин по длине реки повторяет собой график распределения степени развитости. Наибольшая степень развитости наблюдается у тех же излучин, номер 3 – 2,69, номер 13 – 2,62, номер 20 – 2,44. Относительная полнота излучин изменяется от 0,34 до 2,69.

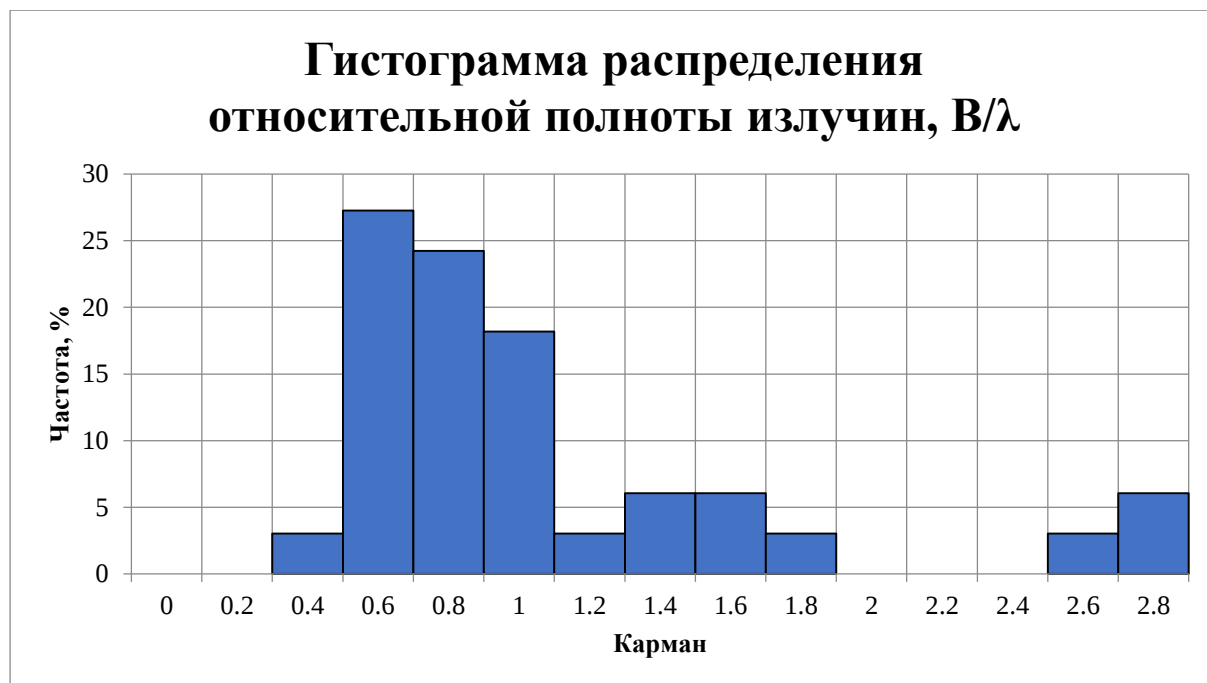


Рисунок 27 – Гистограмма распределения степени развитости излучин

Из рисунка 27 видно, что у большинства излучин относительная полнота лежит в пределах от 0,6 до 1. Доля излучин, ширина которых не превышает их шага ($V/\lambda < 1$) составляет 73%.

Степень вытянутости излучин



Рисунок 28 – Распределение степени вытянутости излучин

График распределения относительной полноты излучин по длине реки повторяет собой график распределения степени развитости и полноты излучин.



Рисунок 29 – Гистограмма распределения степени вытянутости излучин

Из гистограммы на рисунке 29 видно, что у преобладающего большинства рассматриваемых излучин отношение L_{1-3}/λ находится в пределах от 0,6 до 1. Из этого следует, что большинство излучин имеет сегментную форму. Доля таких излучин от общего числа составляет 58 %.

Скошенность излучин относительно середины шага



Рисунок 30 – Распределение скошенности излучин

Степень скошенности излучин на участке обследования изменяется от 0,53 до 1,53. Наибольшее значение данного параметра наблюдается на излучине № 8 вблизи створа МТ.

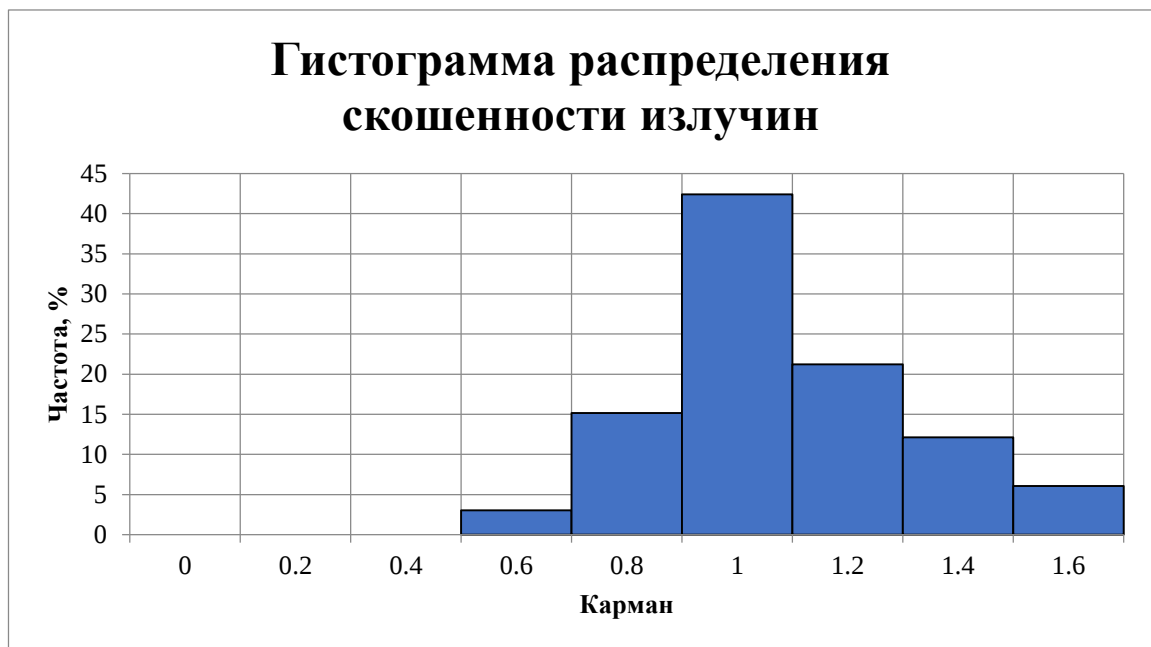


Рисунок 31 – Гистограмма распределения скошенности излучин

Из рисунка 31 видно, что основную часть составляют симметричные излучины, у которых значение степени скошенности близко к 1.

3.3.2. Оценка морфометрических параметров стариц

Ширина стариц

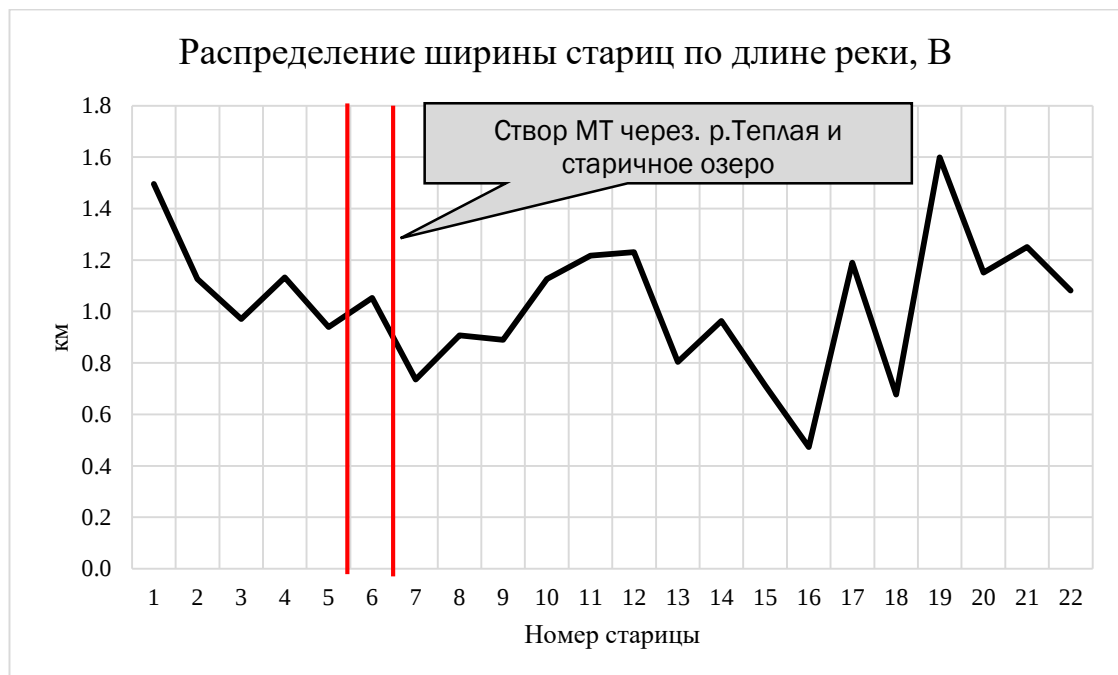


Рисунок 32 – Распределение ширины стариц по длине реки

Значение ширины стариц на исследуемом участке варьируется от 0,47 км (старица № 16) до 1,6 км (старица № 19). Среднее значение ширины стариц составляет 0,99 км. В районе створа МТ старицы имеют ширину от 0,74 км до 1,05 км.

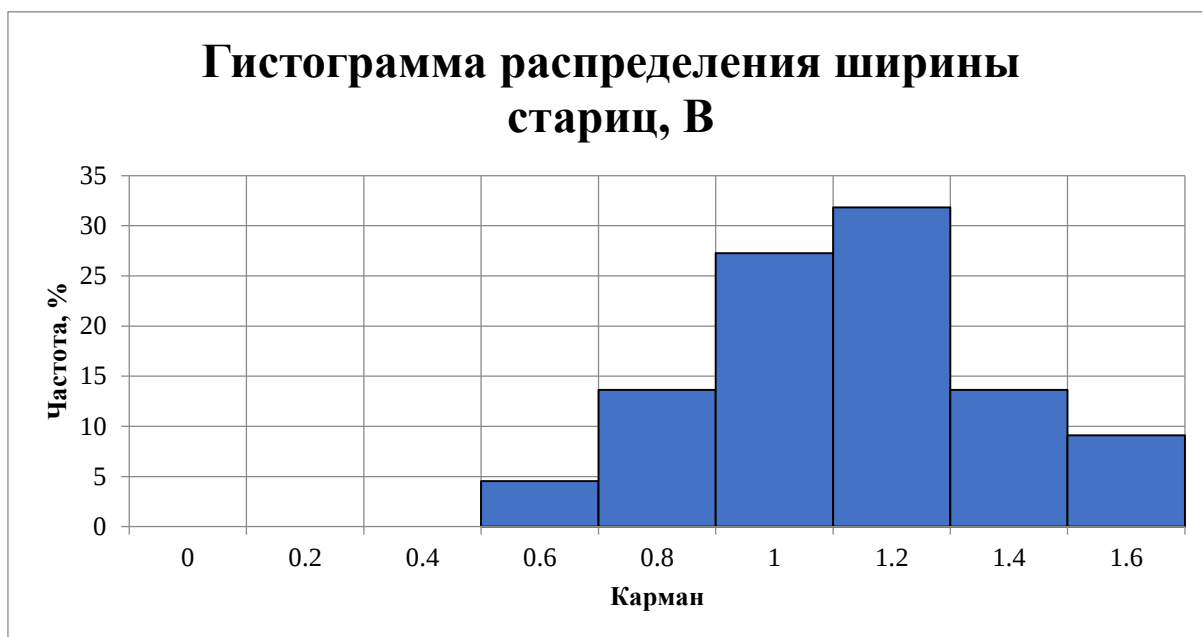


Рисунок 33 – Гистограмма распределения ширины стариц

Большинство стариц имеют ширину в районе 1,2 км.

Шаг стариц

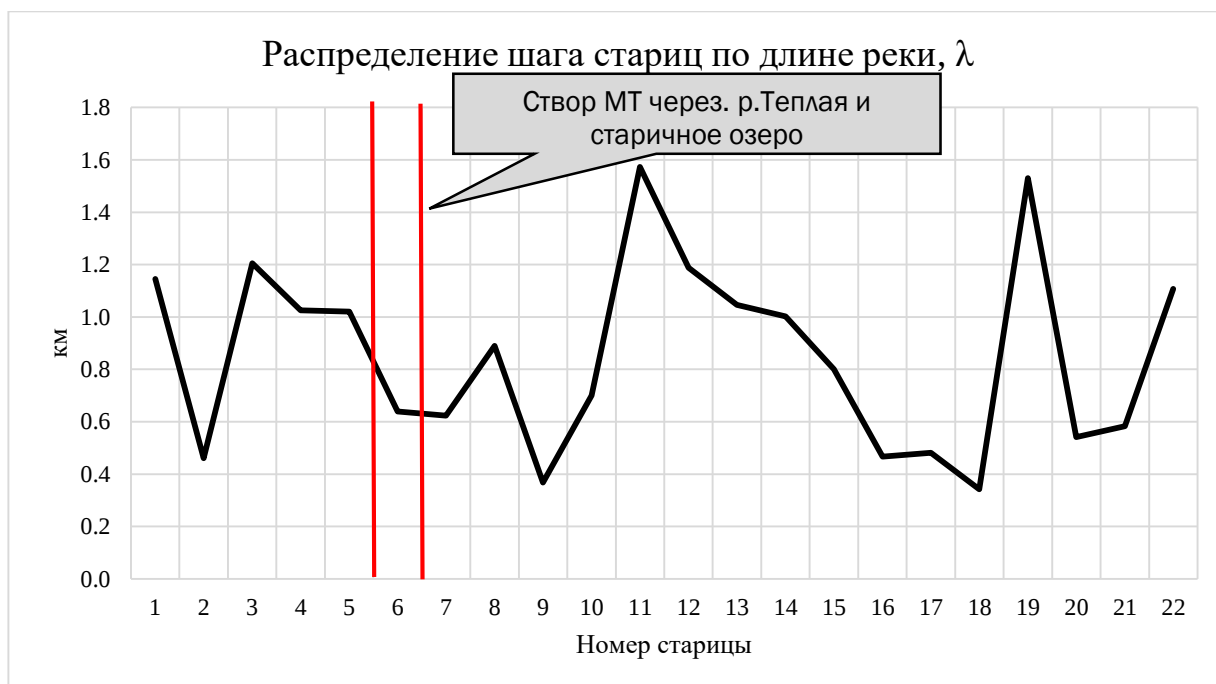


Рисунок 34 – Распределение шага стариц по длине исследуемого участка

Значение шага стариц на исследуемом участке варьируется от 0,34 км (старица № 18) до 1,57 км (старица № 11). Среднее значение шага стариц составляет 0,82 км. В районе створа МТ значение шага находится в промежутке от 0,62 км до 0,64 км.

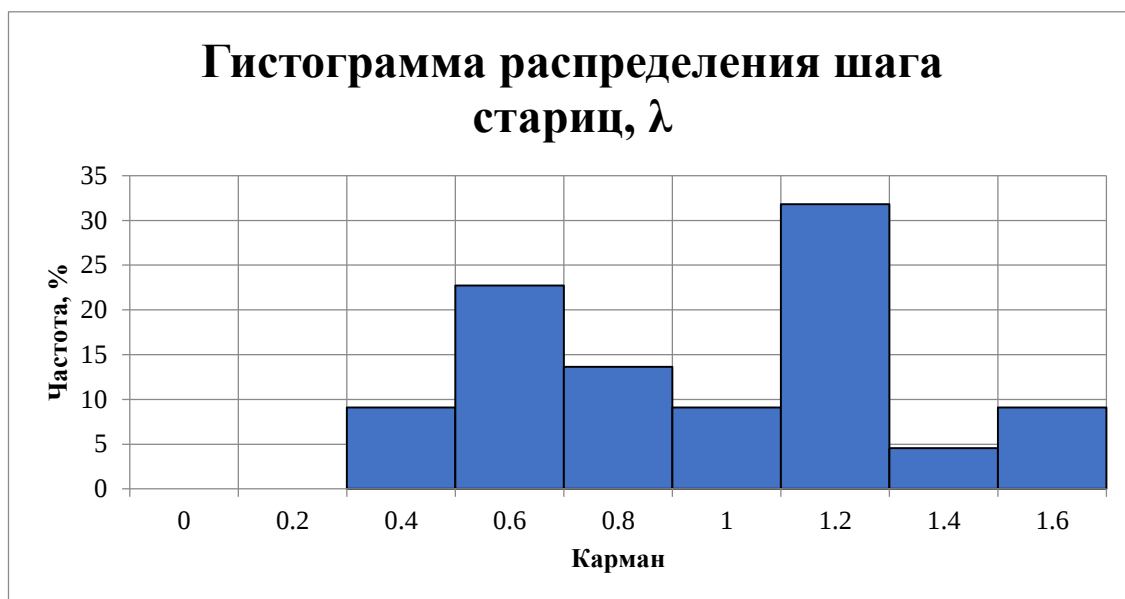


Рисунок 35 – Гистограмма распределения шага излучин

У большинства излучин шаг составляет порядка 1,4 км.

Степень развитости стариц

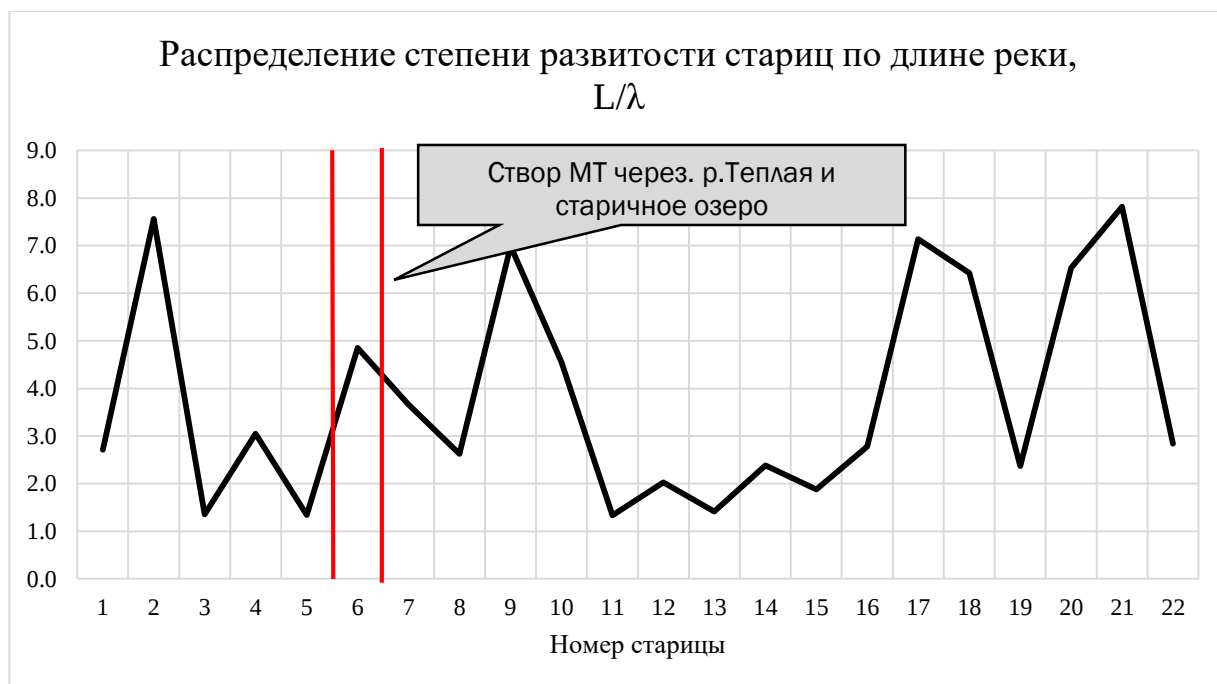


Рисунок 36 – Распределение степени развитости стариц по длине исследуемого участка

Степень развитости стариц на участке варьируется в пределах от 1,34 до 7,82, среднее значение составляет 3,74. Наибольшая степень развитости наблюдается у стариц номер 2 – 7,56, номер 9 – 6,99, номер 17 – 7,14 и номер 21 – 7,82. В районе створа МТ степень развитости стариц лежит в пределах от 3,66 до 4,85.

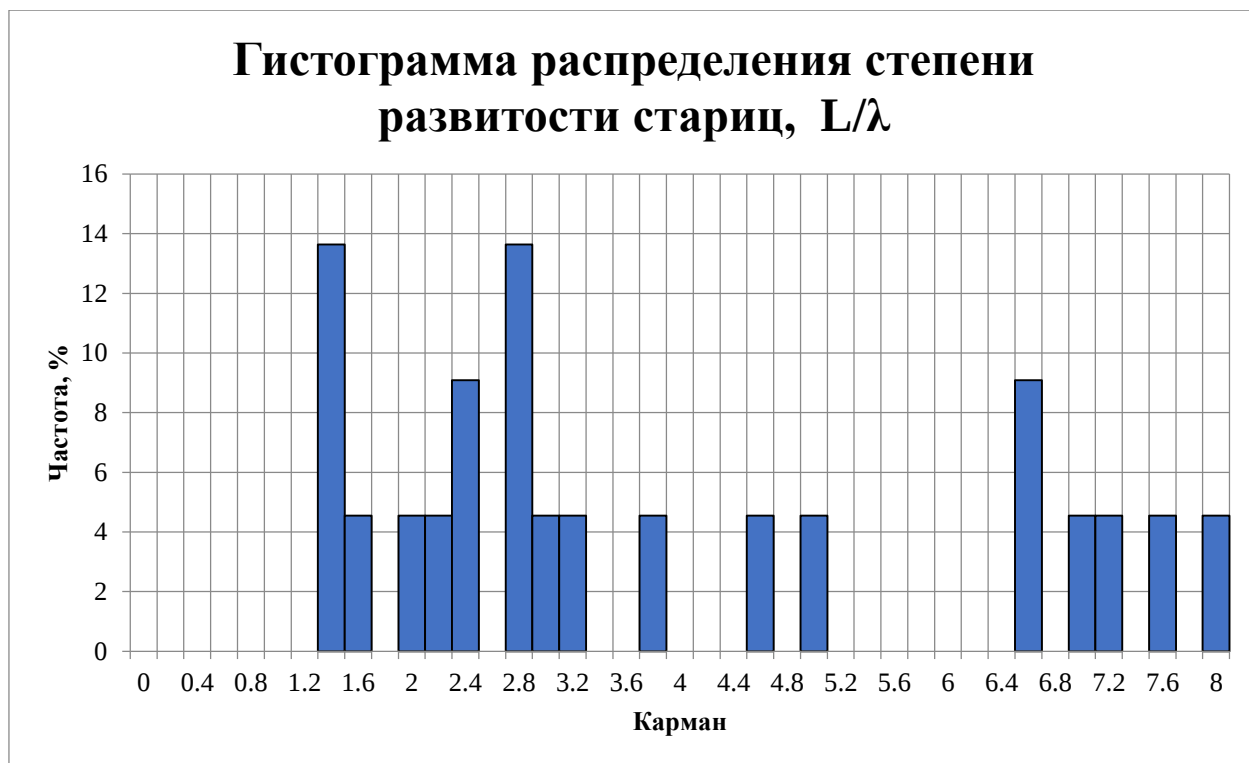


Рисунок 37 – Гистограмма распределения степени развитости стариц

Как видно по рисунку 37 излучины со степенью развитости от 0 до 1,2 отсутствуют. Петлеобразные формы преобладают и составляют 77 % от общего количества.

Относительная полнота стариц

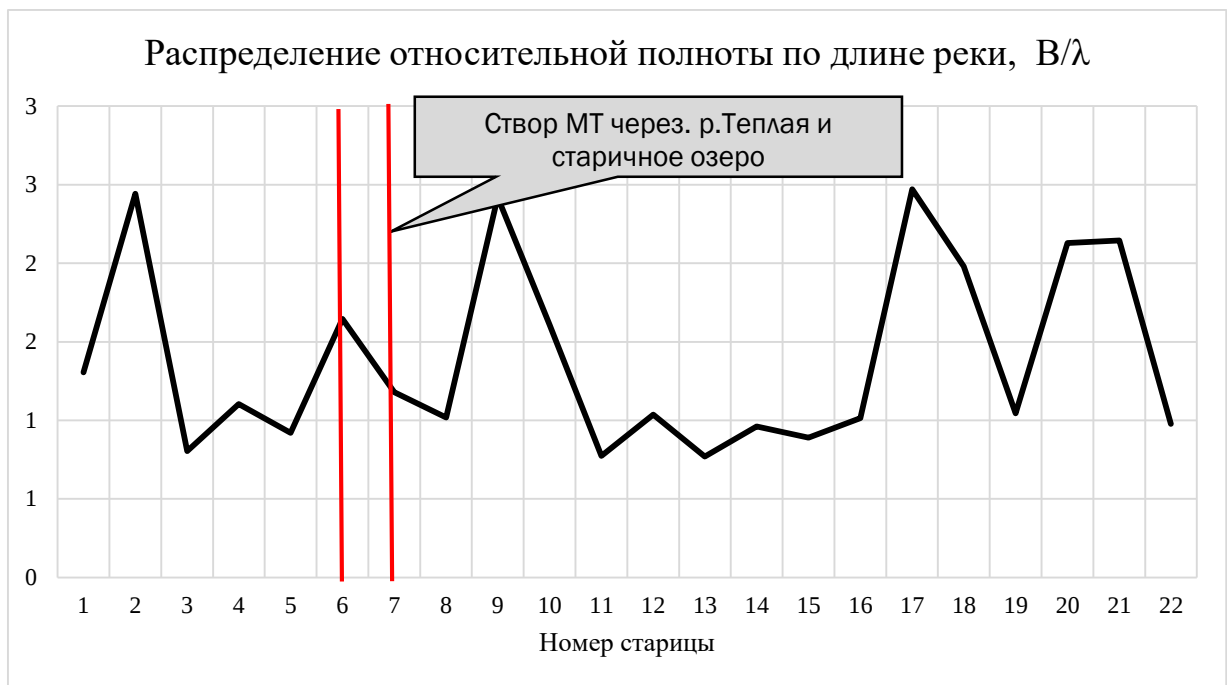


Рисунок 38 – Распределение относительной полноты стариц

В целом, график распределения относительной полноты стариц по длине реки повторяет собой график распределения степени развитости. Наибольшая степень развитости наблюдается у тех же стариц. Относительная полнота стариц изменяется в пределах от 0,77 до 2,47.



Рисунок 39 – Гистограмма распределения степени развитости стариц

У большинства стариц относительная полнота лежит в пределах от 0,8 до 1,2. Доля стариц ширина которых не превышает их шага ($B/\lambda < 1$) составляет всего лишь 32%.

Степень вытянутости стариц

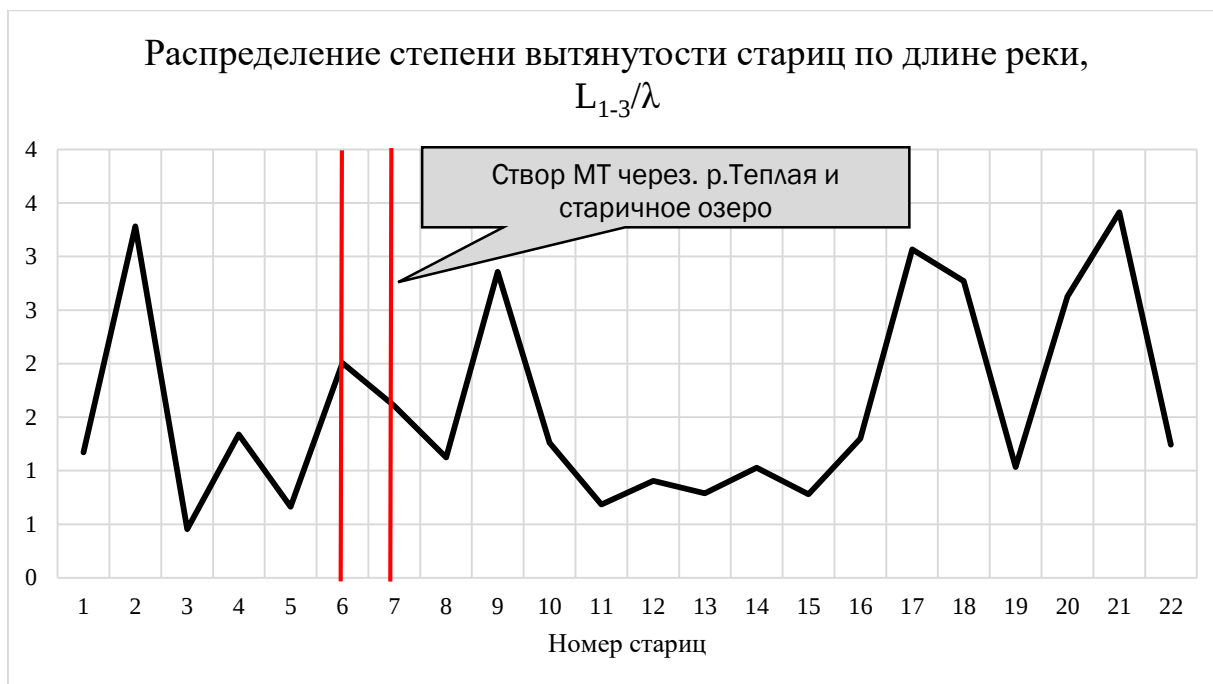


Рисунок 40 – Распределение степени вытянутости стариц

График распределения относительной полноты стариц по длине реки повторяет собой график распределения степени развитости и полноты стариц.

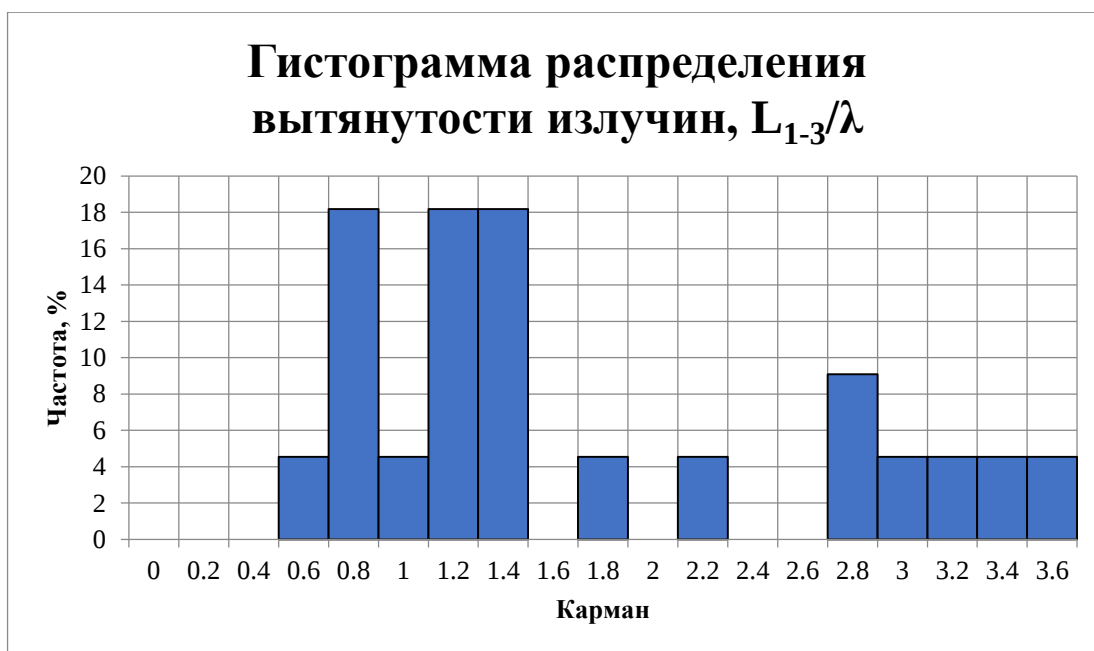


Рисунок 41 – Гистограмма распределения степени вытянутости стариц

Из гистограммы на рисунке 41 видно, что у преобладающего большинства рассматриваемых стариц отношение L_{1-3}/λ больше 1. Доля таких стариц от общего числа составляет 73 %, соответственно, большинство стариц имеют петлеобразную форму.

Скошенность стариц относительно середины шага

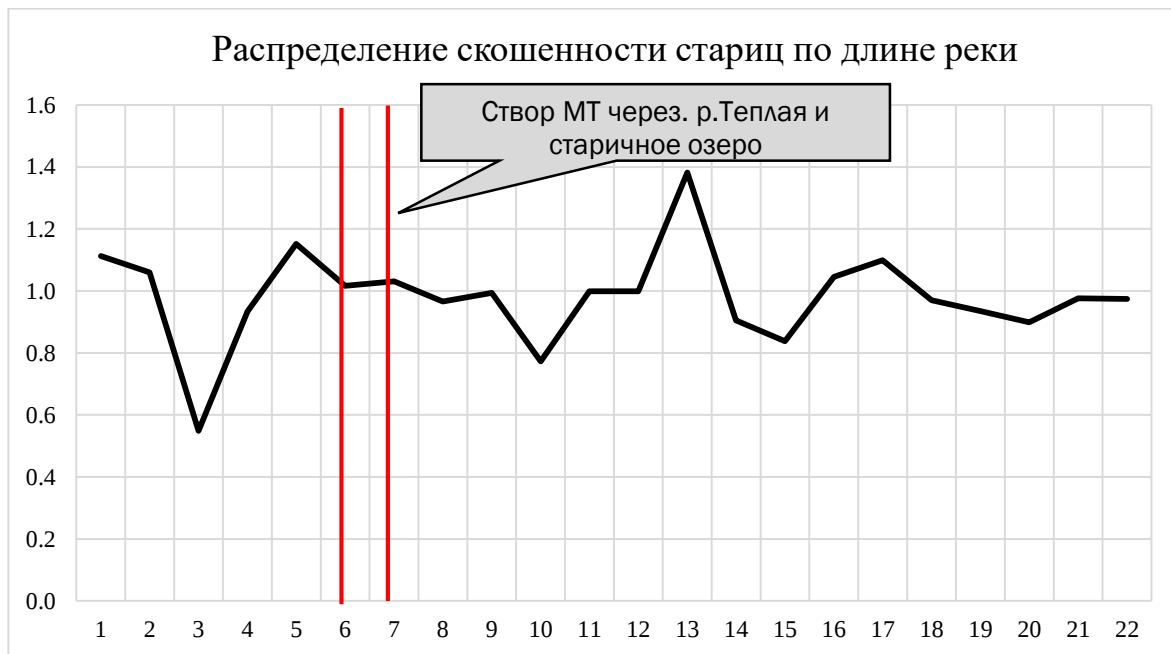


Рисунок 42 – Распределение скошенности стариц

Степень скошенности стариц на участке обследования изменяется от 0,55 до 1,38. В створе МТ степень скошенности близка к единице.

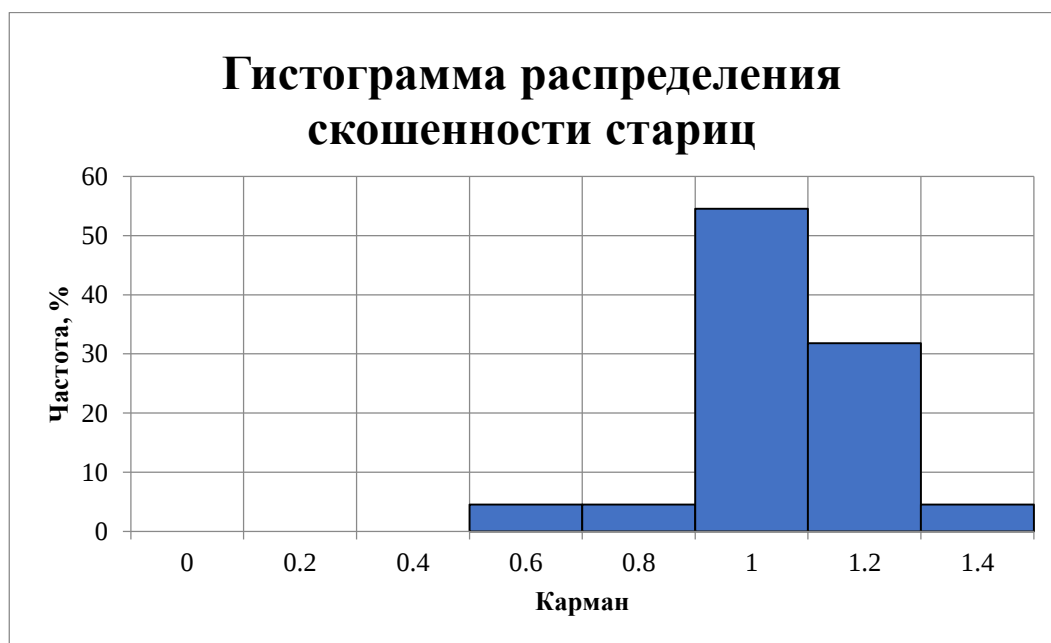


Рисунок 43– Гистограмма распределения скошенности стариц

Из рисунка 43 видно, что основную часть составляют симметричные старицы, у которых значение степени скошенности близко к 1.

Закключение

В работе был сделан обзор методик описания морфометрических характеристик речных излучин, разработанных Государственным гидрологическим институтом и Московским Государственным Университетом. Имеющиеся методы оценки морфометрических излучин являются достаточно сложными в исполнении, т.к., например, в методике оценки излучин ГГИ необходимо помимо линейных характеристик определять и угловые параметры излучин, что при обработке большого массива данных может вызвать трудности в виде временных затрат.

Излучины и старицы на участке исследования были оценены по методике, приведенной в работах выпускников РГГМУ, с помощью выделения пятиугольных полигонов на спутниковых снимках. По рядам полученных параметров при обработке предлагаемым методом, были рассчитаны такие характеристики, как степень развитости излучин, относительная полнота, высота, а также степень скошенности излучин относительно середины шага. Оценка данных характеристик показала, что рассматриваемого участка характерны сегментные и петлеобразные виды излучин.

Выше по течению от технического коридора ППМТ располагается серия из пяти крутых петлеобразных излучин с показателями степени развитости, при которых поток стремится спрямить русло. Излучины «сжимаются» - крылья смежных излучин приближаются друг к другу при этом привершинные части излучин принимают форму петель. Последняя, после прорыва перешейка излучины, станет серповидным старичным озером. Необходим дальнейший мониторинг за излучинами на данном участке.

Примененный в работе метод прост в исполнении и удобен при обработке спутниковых снимков (которые находятся в бесплатном доступе), а также позволяет представлять речные излучины как числовые ряды, которые можно подвергать статистической обработке. При накоплении большого

массива данных за продолжительные промежутки станет возможным выполнять дальнейшие более объемные исследования и давать более точную оценку закономерностям развития русловых процессов на той или иной реке.

Список использованных источников

- 1 Иванова О.И. Выпускная квалификационная работа «оценка параметров русла реки при свободном меандрировании», РГГМУ, Санкт-Петербург, 2020.
- 2 Баскакова А.И. Выпускная квалификационная работа «русловой процесс рек Ямала», РГГМУ, Санкт-Петербург, 2020.
- 3 Исаев Д.И., Иванова О.И., Баскакова А.И. Научная статья «методика описания речных излучин», РГГМУ, Санкт-Петербург, 2020.
- 4 Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. Л, Гидрометеиздат, 1979.
- 5 Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Гидрометеиздат, 1984.
- 6 Рекомендации по учету руслового процесса при проектировании ЛЭП. Л, 1973.
- 7 Чеботарев А.И. Общая гидрология (воды суши). Л, 1975.
- 8 Барышников Н.Б. Русловые процессы. Изд. РГГМУ, 2008.
- 9 Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 10. Верхнее-Волжский район. Книга 1, 2. Гидрометеиздат. М., 1973.
- 10 Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Часть 1. Реки и каналы. Том 1. РСФСР. Выпуск 23. Бассейн Волги (Верхнее течение). Л. Гидрометиздат, 1986.
- 11 Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 10. Верхне-Волжский район / под ред. В. П. Шабан. — Л.: Гидрометеиздат, 1966.
- 12 Архивы погоды, погода в России, СНГ, Балтии, Грузии, Дальнем зарубежье <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=27277>

- 13 Учет руслового процесса на участках подводных переходов трубопроводов через реки – СПб: Нестор-История, 2009
- 14 Чалов Н.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излуины. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва. 2004.
- 15 СТО ГУ ГГИ 08.29-2009 «Учет руслового процесса на участках подводных переходов трубопроводов через реки».

Приложение А. Топографические материалы



Рисунок 1 - Карта Стрельбицкого 1871 г.

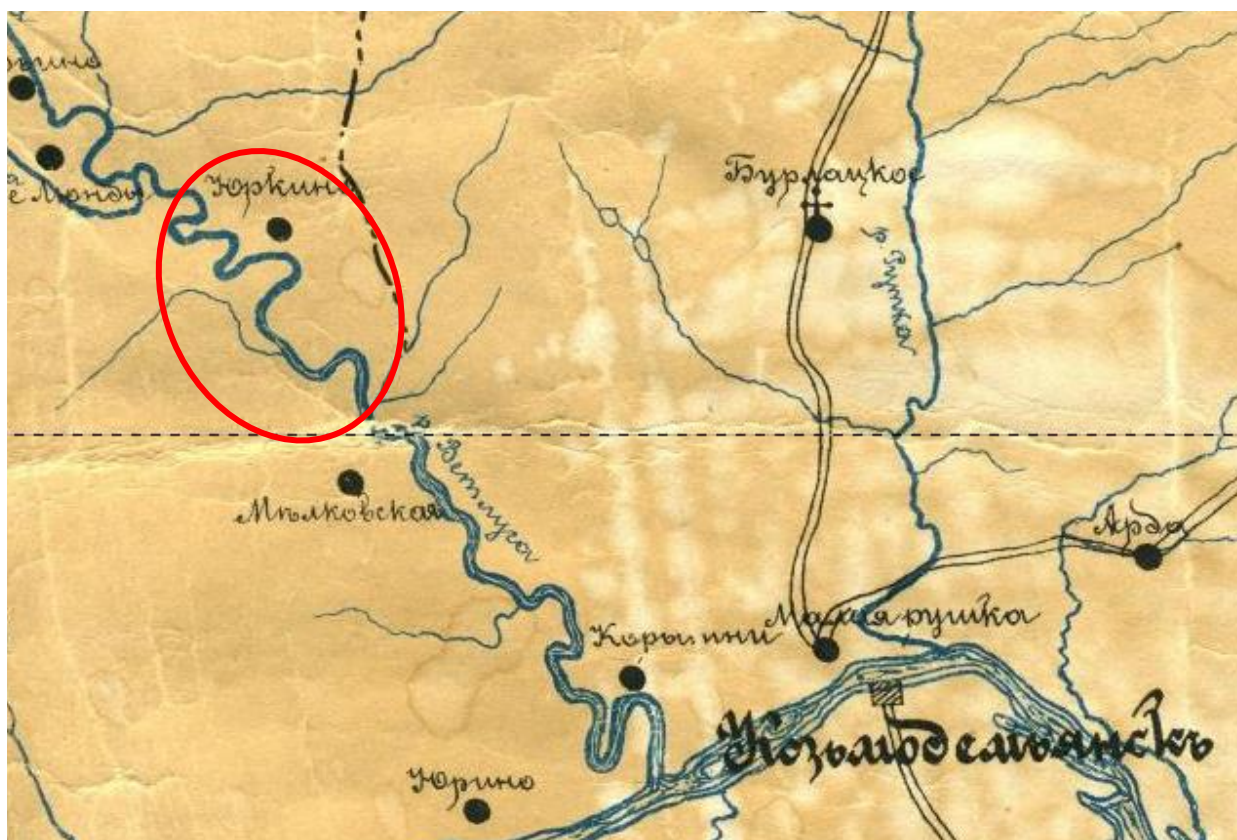


Рисунок 2 - Карта Вятской губернии 1910 г.



Рисунок 3 - Карта Люфтваффе 1:1М, 1942 г.

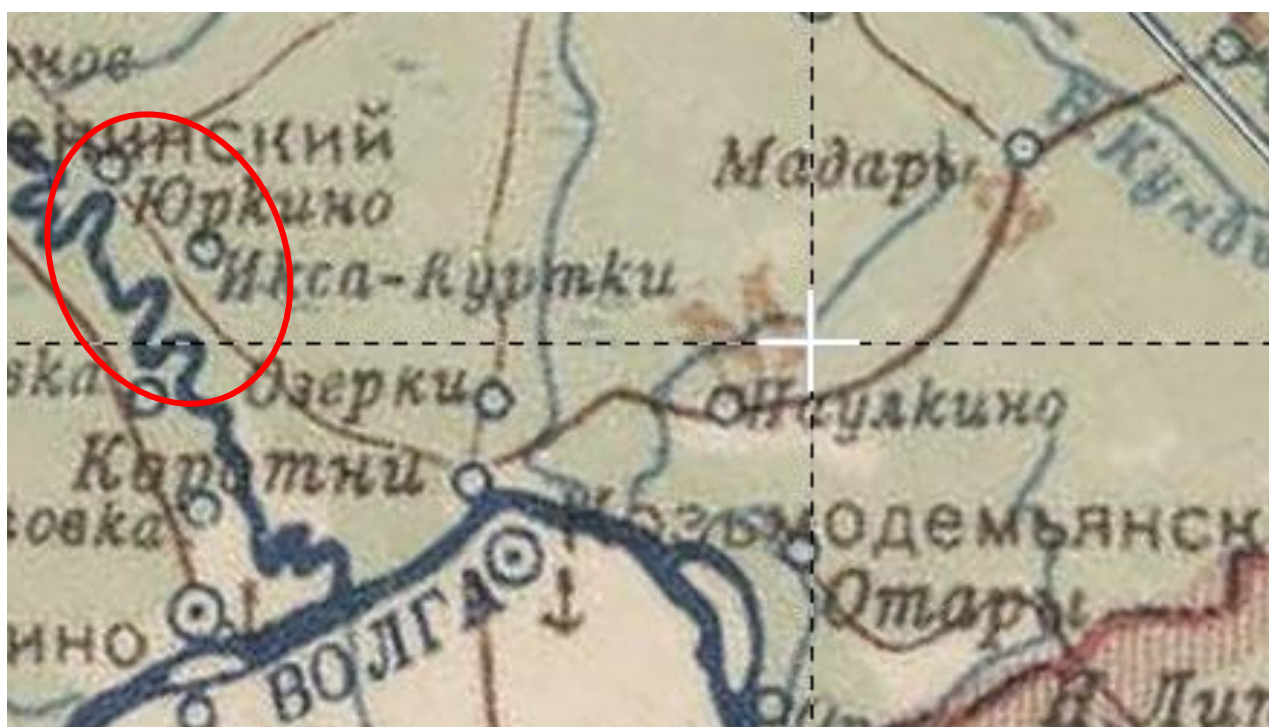


Рисунок 4 - Карта СССР 1:2,5М, 1946 г.

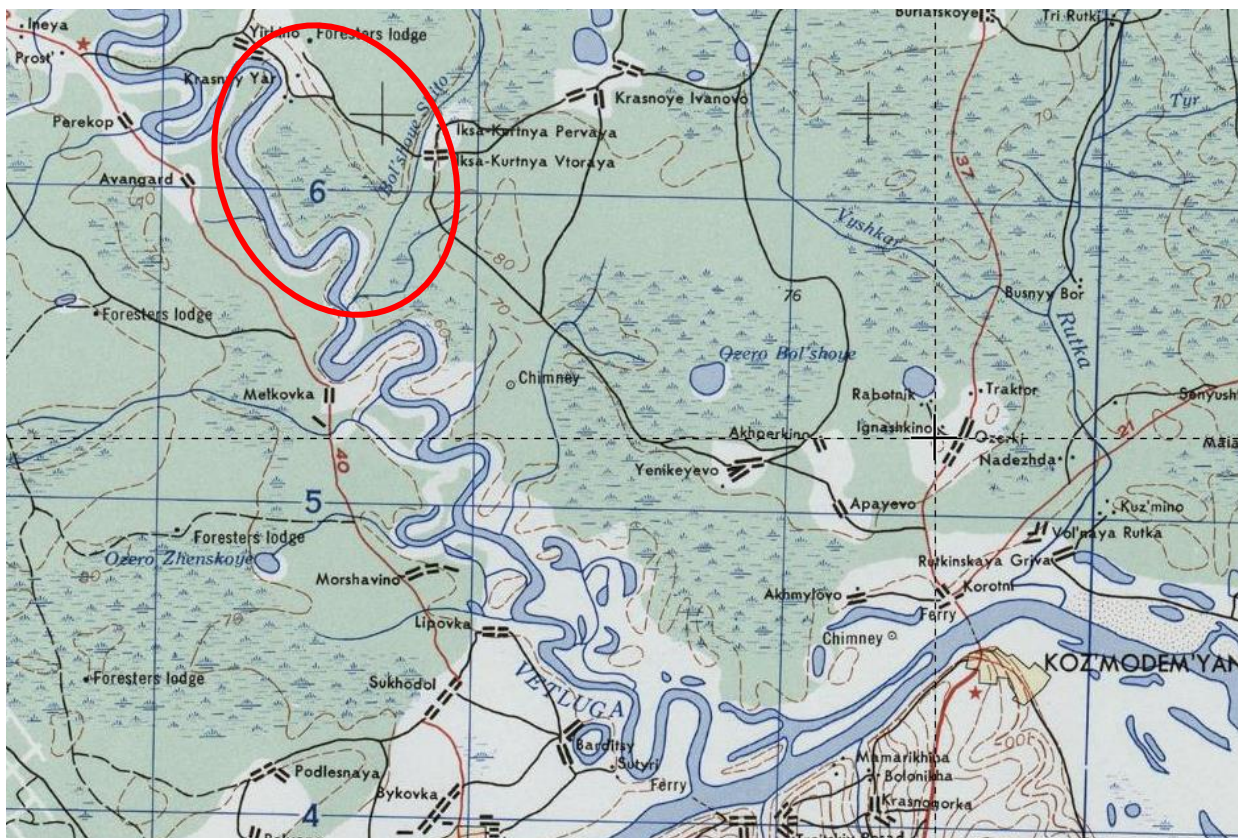


Рисунок 5 - Европейская часть СССР 1:250К, 1954 г.

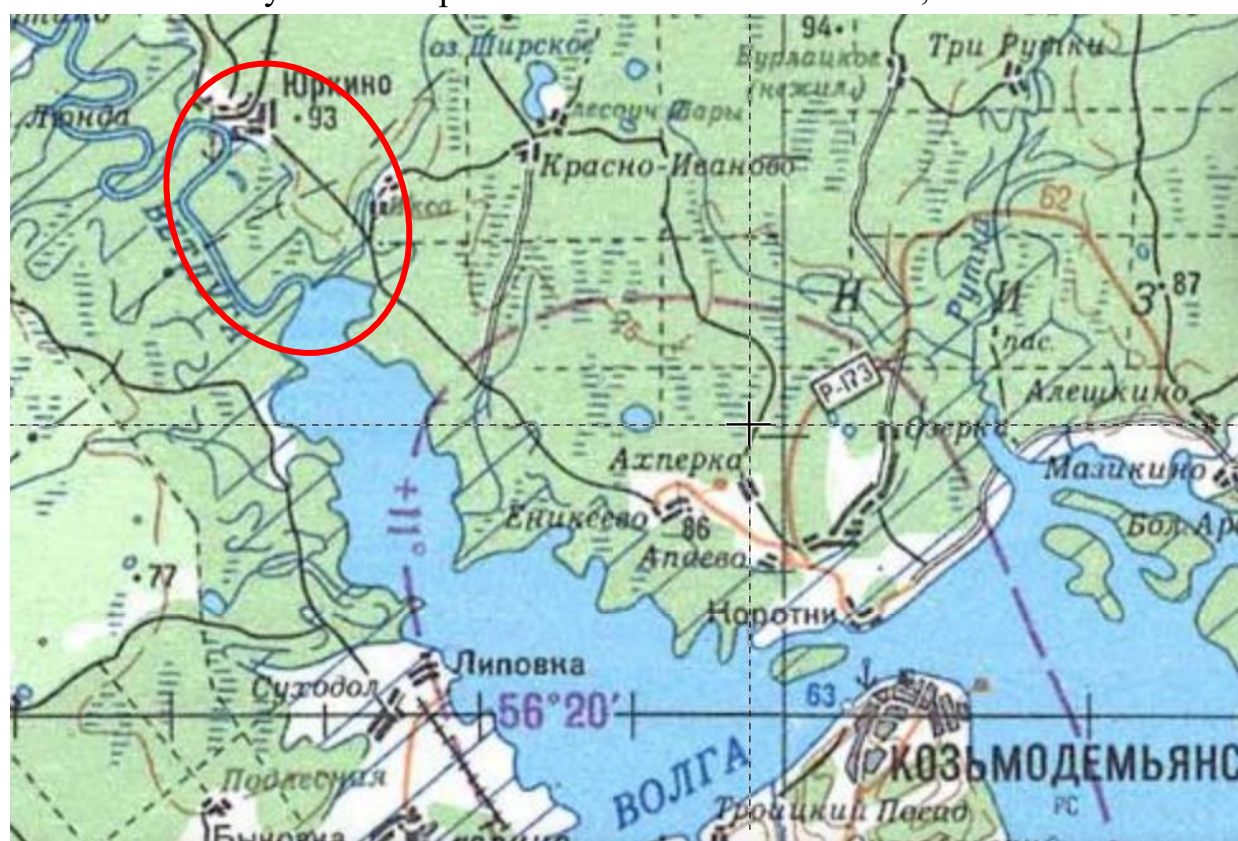


Рисунок 6 - Европейская часть СССР

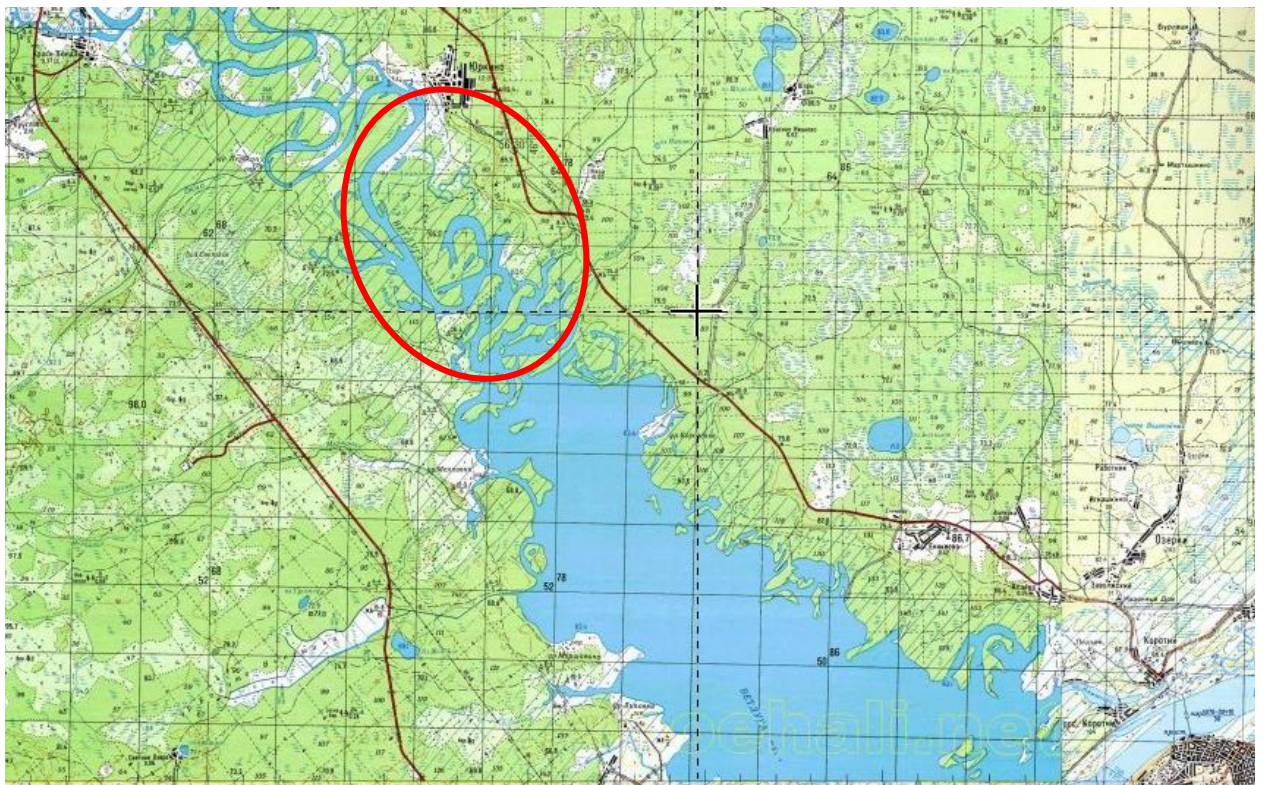


Рисунок 7 - Карта СССР 1:100К, 1990 г.

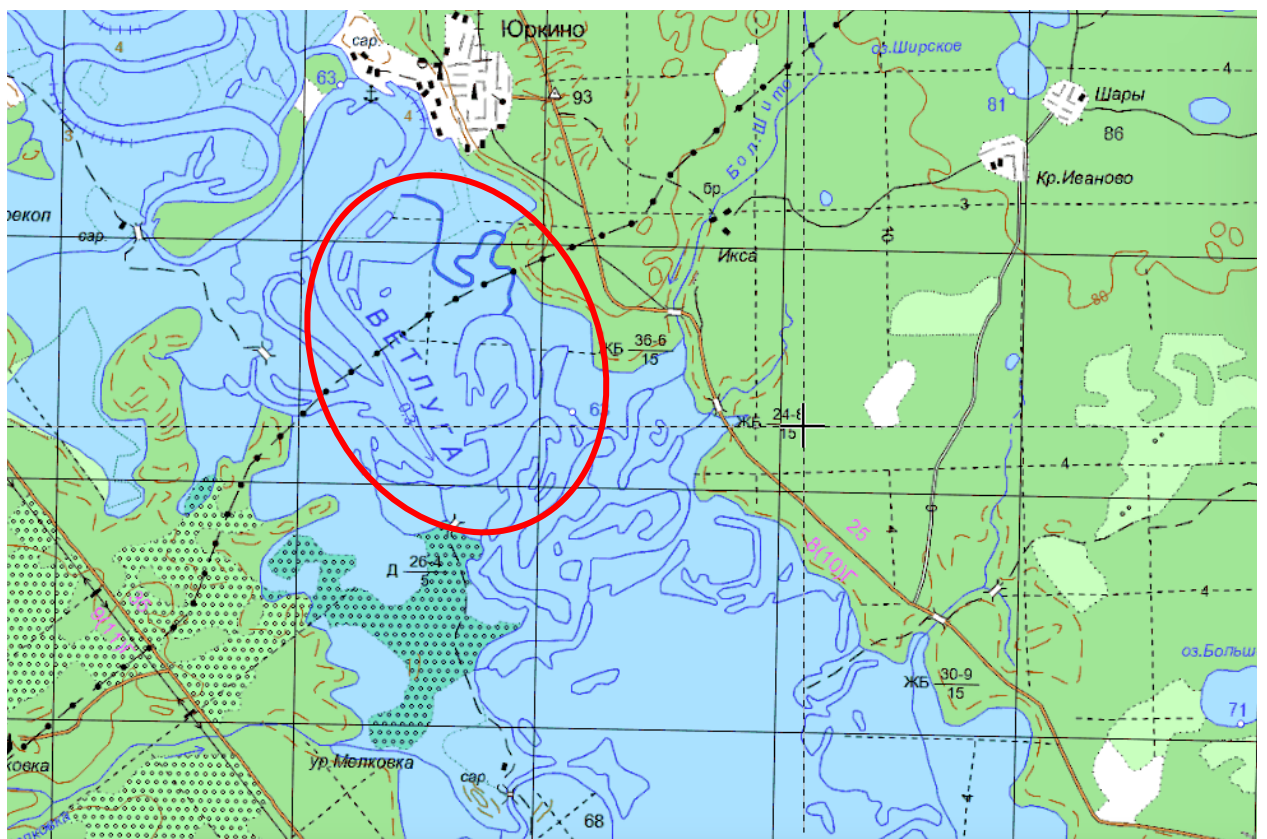


Рисунок 8 - Карта России от ГТЦ 1:200К, 2001 г.



Рисунок 9 - Спутниковый снимок 2021 г. Границы современного пояса меандрирования

Приложение Б. Значения расчетных характеристик излучин и стариц на участке обследования

Таблица 1. Характеристики излучин на участке обследования

№ излучины	Ширина излучины В (расстояние 2-4), км	Шаг излучины λ (расстояние 1-5), км	Длина 1-2, км	Длина 2-3, км	Длина 3-4, км	Длина 4-5, км	Длина излучины L (сумма длин 1-5), км	Площадь S, км²	Степень развитости и излучины L/λ	Относительная полнота В/λ	Относительная высота (вытянутость) L1-3/λ	Длина 1-3, км	Длина 3-5, км	Скошенность излучины относительно середины шага (Длина 1-3/Длина 3-5)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1.34	1.36	0.94	0.80	0.83	1.01	3.58	1.63	2.63	0.99	1.14	1.55	1.62	0.96
2	1.81	1.36	1.10	1.14	1.27	1.12	4.64	2.45	3.40	1.33	1.46	1.99	2.02	0.99
3	1.45	0.54	1.47	0.83	0.96	1.33	4.60	1.70	8.51	2.69	3.50	1.89	1.86	1.02
4	0.99	1.04	0.47	0.57	0.69	0.73	2.46	0.79	2.37	0.96	0.96	0.99	1.22	0.82
5	1.26	1.65	0.38	0.68	0.72	0.44	2.21	0.70	1.34	0.77	0.59	0.97	1.24	0.78
6	1.18	1.16	0.84	0.73	0.80	1.16	3.53	1.43	3.04	1.02	1.24	1.44	1.76	0.82
7	1.47	2.21	1.76	0.88	0.78	1.12	4.54	1.80	2.05	0.67	0.67	1.49	1.79	0.83
8	1.56	3.26	1.63	0.83	0.83	0.81	4.10	2.27	1.26	0.48	0.74	2.41	1.57	1.53
9	1.89	1.26	1.62	1.16	1.14	1.49	5.41	2.94	4.31	1.51	1.79	2.25	2.20	1.03
10	0.83	1.53	0.38	0.48	0.40	0.57	1.83	0.44	1.19	0.54	0.60	0.93	0.94	0.98
11	0.32	0.52	0.13	0.14	0.21	0.19	0.67	0.06	1.30	0.61	0.52	0.27	0.39	0.69
12	0.21	0.49	0.19	0.13	0.10	0.15	0.57	0.04	1.17	0.44	0.65	0.32	0.25	1.28
13	1.28	0.49	1.56	0.88	0.99	1.50	4.92	1.72	10.07	2.62	4.54	2.22	2.10	1.05
14	1.56	1.23	1.10	1.10	1.14	1.13	4.46	2.16	3.62	1.26	1.62	2.00	2.00	1.00
15	1.32	1.33	1.34	1.01	0.64	1.05	4.03	1.87	3.03	0.99	1.52	2.02	1.57	1.29
16	1.16	0.79	1.03	0.93	0.88	1.46	4.31	1.57	5.46	1.47	2.34	1.84	2.21	0.83
17	1.22	2.13	0.72	0.70	0.60	0.75	2.77	1.09	1.30	0.57	0.66	1.40	1.27	1.10
18	1.06	1.68	0.52	0.53	0.60	0.80	2.45	0.89	1.46	0.63	0.57	0.96	1.33	0.73
19	1.98	1.24	1.24	1.30	1.23	1.20	4.98	2.65	4.02	1.60	1.67	2.06	2.03	1.01
20	1.76	0.72	1.48	1.41	1.59	1.51	5.99	2.81	8.30	2.44	3.61	2.61	2.67	0.98
21	1.44	1.67	1.13	0.91	1.02	1.05	4.11	2.14	2.46	0.86	1.14	1.90	1.93	0.98
22	1.73	4.26	1.61	0.86	0.92	1.52	4.91	2.92	1.15	0.41	0.56	2.40	2.41	1.00
23	0.56	1.27	0.35	0.33	0.27	0.44	1.38	0.18	1.09	0.44	0.53	0.67	0.70	0.96
24	0.52	1.52	0.70	0.37	0.23	0.61	1.90	0.46	1.24	0.34	0.69	1.05	0.81	1.29

№ излучины	Ширина излучины В (расстояние 2-4), км	Шаг излучины λ (расстояние 1-5), км	Длина 1- 2, км	Длина 2- 3, км	Длина 3- 4, км	Длина 4- 5, км	Длина излучины L (сумма длин 1- 5), км	Площадь S, км ²	Степень развитост и излучины L/λ	Относите льная полнота В/λ	Относите льная высота (вытянутость) L1-3/λ	Длина 1- 3, км	Длина 3- 5, км	Скошенн ость излучины относите льно середины шага (Длина 1- 3/Длина 3-5)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
25	0.77	1.85	0.82	0.43	0.42	0.47	2.14	0.49	1.16	0.42	0.66	1.22	0.87	1.40
26	0.96	1.78	0.37	0.44	0.68	0.87	2.36	0.75	1.33	0.54	0.45	0.80	1.51	0.53
27	1.14	1.26	1.04	0.74	0.60	1.11	3.49	1.48	2.78	0.90	1.24	1.56	1.56	1.00
28	1.32	2.02	0.85	0.76	0.75	0.79	3.15	1.47	1.56	0.65	0.74	1.50	1.49	1.01
29	1.39	2.49	0.66	0.74	0.85	0.94	3.20	1.40	1.28	0.56	0.56	1.39	1.77	0.79
30	1.42	2.29	1.09	0.81	0.73	0.82	3.45	1.71	1.51	0.62	0.78	1.79	1.40	1.28
31	0.83	1.16	0.72	0.53	0.60	0.54	2.39	0.76	2.06	0.72	1.04	1.20	1.10	1.09
32	2.03	2.20	1.01	1.13	1.51	1.05	4.70	2.99	2.14	0.92	0.92	2.02	2.32	0.87
33	1.41	1.90	0.79	0.73	1.06	0.92	3.49	1.72	1.84	0.74	0.77	1.47	1.85	0.79

Таблица 2. Характеристики стариц на участке обследования

№ излучины	Ширина излучины В (расстояние 2-4), км	Шаг излучины λ (расстояние 1-5), км	Длина 1- 2, км	Длина 2- 3, км	Длина 3- 4, км	Длина 4- 5, км	Длина излучины L (сумма длин 1- 5), км	Площадь S, км ²	Степень развитост и излучины L/λ	Относите льная полнота В/λ	Относите льная высота (вытянутость) L1-3/λ	Длина 1- 3, км	Длина 3- 5, км	Скошенн ость излучины относите льно середины шага (Длина 1- 3/Длина 3-5)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1.50	1.14	0.65	1.02	0.83	0.61	3.11	1.20	2.71	1.31	1.17	1.34	1.20	1.11
2	1.13	0.46	0.98	0.77	0.77	0.97	3.49	1.01	7.56	2.44	3.28	1.51	1.43	1.06
3	0.97	1.21	0.19	0.41	0.67	0.36	1.63	0.36	1.35	0.81	0.45	0.55	1.00	0.55
4	1.13	1.03	0.70	0.80	0.81	0.82	3.13	1.14	3.05	1.10	1.34	1.37	1.47	0.93
5	0.94	1.02	0.20	0.54	0.49	0.13	1.37	0.26	1.34	0.92	0.66	0.68	0.59	1.15
6	1.05	0.64	0.92	0.59	0.65	0.94	3.10	0.94	4.85	1.65	2.01	1.28	1.26	1.02

№ излучины	Ширина излучины В (расстояние 2-4), км	Шаг излучины λ (расстояние 1-5), км	Длина 1- 2, км	Длина 2- 3, км	Длина 3- 4, км	Длина 4- 5, км	Длина излучины L (сумма длин 1- 5), км	Площадь S, км ²	Степень развитост и излучины L/ λ	Относите льная полнота В/ λ	Относите льная высота (вытянутость) L1-3/ λ	Длина 1- 3, км	Длина 3- 5, км	Скошенн ость излучины относите льно середины шага (Длина 1- 3/Длина 3-5)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7	0.74	0.62	0.73	0.39	0.49	0.68	2.28	0.56	3.66	1.18	1.61	1.00	0.97	1.03
8	0.91	0.89	0.60	0.50	0.58	0.66	2.33	0.69	2.62	1.02	1.12	1.00	1.04	0.97
9	0.89	0.37	0.70	0.63	0.60	0.64	2.57	0.58	6.99	2.42	2.86	1.05	1.06	0.99
10	1.13	0.70	0.80	0.75	0.72	0.92	3.19	1.02	4.55	1.61	1.26	0.88	1.14	0.77
11	1.22	1.57	0.26	0.65	0.74	0.45	2.10	0.63	1.34	0.77	0.68	1.08	1.08	1.00
12	1.23	1.19	0.41	0.77	0.78	0.44	2.40	0.80	2.02	1.04	0.91	1.08	1.08	1.00
13	0.80	1.05	0.35	0.49	0.46	0.18	1.48	0.31	1.42	0.77	0.79	0.83	0.60	1.38
14	0.96	1.00	0.50	0.63	0.61	0.65	2.38	0.75	2.38	0.96	1.03	1.03	1.14	0.91
15	0.71	0.80	0.31	0.37	0.48	0.35	1.51	0.33	1.88	0.89	0.78	0.63	0.75	0.84
16	0.47	0.47	0.34	0.27	0.29	0.39	1.30	0.21	2.78	1.01	1.30	0.61	0.58	1.05
17	1.19	0.48	0.98	0.85	0.73	0.87	3.44	1.01	7.14	2.47	3.07	1.48	1.34	1.10
18	0.68	0.34	0.52	0.52	0.51	0.64	2.20	0.41	6.43	1.98	2.77	0.95	0.98	0.97
19	1.60	1.53	0.70	1.11	0.96	0.85	3.62	1.73	2.37	1.04	1.03	1.58	1.69	0.94
20	1.15	0.54	0.99	0.70	0.81	1.03	3.53	1.09	6.53	2.13	2.63	1.42	1.58	0.90
21	1.25	0.58	1.31	0.90	0.96	1.39	4.56	1.63	7.82	2.14	3.41	1.99	2.04	0.98
22	1.08	1.11	0.86	0.73	0.56	0.98	3.14	1.20	2.84	0.98	1.24	1.37	1.41	0.97