



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

(бакалаврская работа)

На тему: **Построение кривых зависимости расходов от
уровней воды при отсутствии режимных наблюдений**

Исполнитель

Пермяков Константин Валерьевич

(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)

«13» 06 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Природный условия района исследования.....	4
1.1 Физико-географическая характеристика района исследования.....	4
1.2 Гидрометеорологическая изученность района исследования.....	6
1.3 Климатическая характеристика района исследования.....	8
1.4 Характеристика гидрологического режима водных объектов суши ...	21
1.5 Общая характеристика водного объекта	26
Глава 2 Расчет максимальных расходов и высших уровней воды при наличии данных гидрометрических наблюдений	27
2.1 Предварительный анализ исходных данных.....	29
2.2 Проверка однородности	32
2.3 Оценка значимости линейного тренда.....	33
2.4 Расчет числовых характеристик и их погрешностей	35
2.5 Расчет максимальных расходов воды при наличии данных наблюдений.....	38
2.6 Расчет высшего уровня воды при наличии данных наблюдений	40
Глава 3 Построение кривых зависимости расходов от уровней воды при отсутствии режимных наблюдений	43
3.1 Построение кривых зависимости расходов от уровней воды с использованием данных СП 33-101-2003.....	44
3.2 Построение кривых зависимости расходов от уровней воды с использованием данных гидрологических работ на расчетном створе реки.....	52
Заключение	60
Использованные документы и материалы.....	64
Приложение А Космоснимок исследуемого участка долины реки Черная ...	65

Введение

При проектировании капитальных объектов строительства вблизи или пересекающих постоянные водотоки необходим ряд гидрометеорологической информации, включающий в себя климатические характеристики района проектирования, гидрологический режим, максимальные расходы и уровни воды, морфометрические показатели, а также деформационные процессы.

Расчетные высшие уровни воды водотоков при отсутствии режимных наблюдений определяются по кривым зависимости расходов от уровней воды $Q = f(H)$ в соответствии с требованиями СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик» по формуле:

$$Q = (\omega/n) h^{0,66} I^{0,5}, \quad (1)$$

где ω – площадь поперечного сечения русла или поймы при заданной отметке уровня H , м²; принимается по занивелированному поперечному профилю участка долины;

n – коэффициент шероховатости, с/м^{0,33};

h – средняя глубина в русле или на пойме, м, принимается по занивелированному поперечному профилю участка долины;

I – уклон водной поверхности, принимается по продольному профилю реки.

Для поведения анализа и проверки результатов определения расчетных высших уровней воды при отсутствии режимных наблюдений, определенных по кривым зависимости расходов от уровней воды в соответствии с требованиями СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», произведен расчет аналогичных характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений в одном и том же створе.

ГЛАВА 1 ПРИРОДНЫЙ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Физико-географическая характеристика района исследования

В административном отношении исследуемый створ расположен на реке Черная в поселке Сагра городского округа Верхняя Пышма Свердловской области в соответствии с рисунком 1.

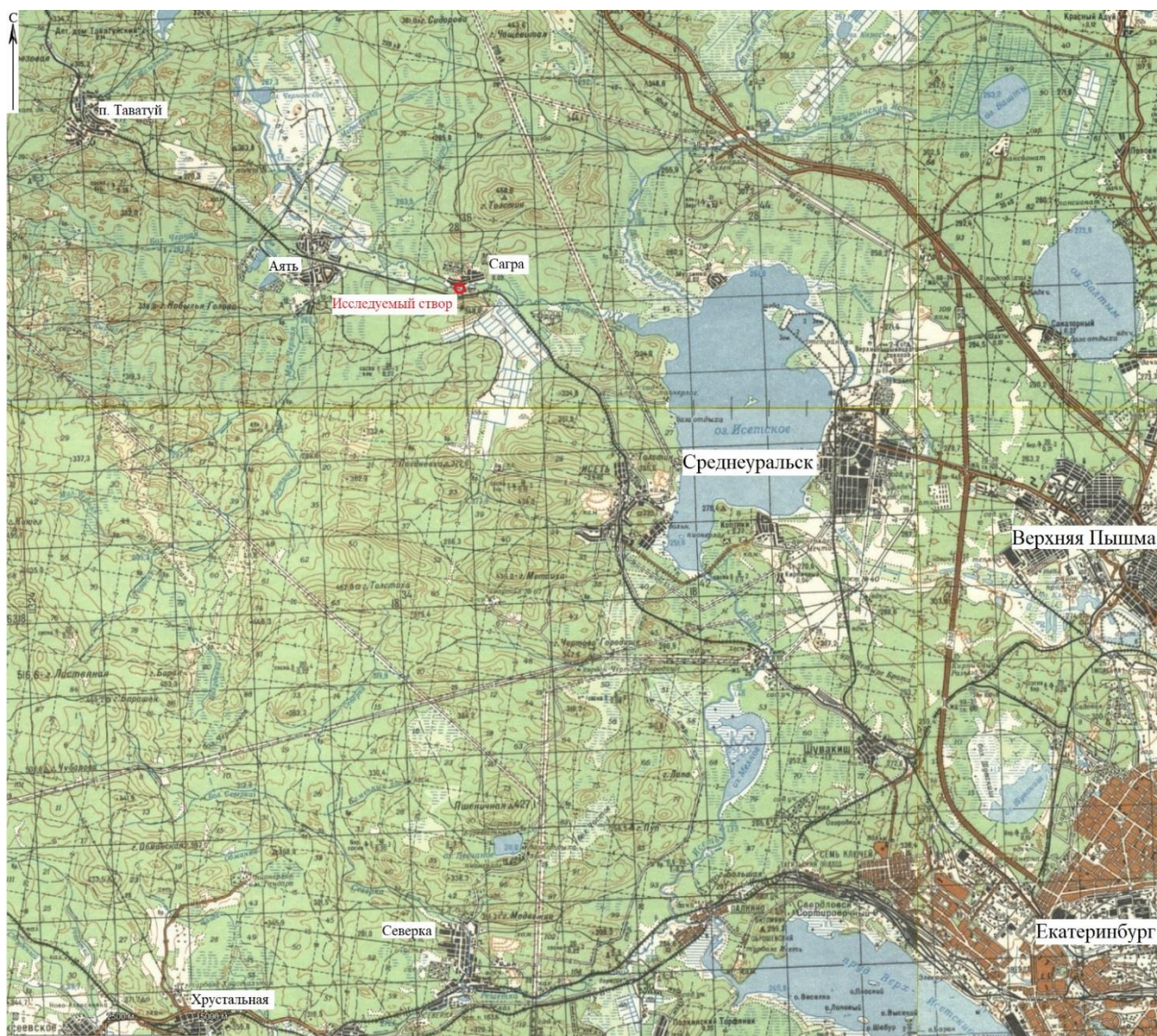


Рисунок 1 – Обзорная схема

Географически эта территория относится к восточной предгорной части Среднего Урала, по природным условиям – к лесной зоне, в гидрографическом отношении – к речной системе Оби (бассейн Карского моря).

Почвы в основном дерново-подзолистые на суглинках и глинах с дресвой. В долинах рек встречаются торфа с толщиной залежи до 1 м.

Большая часть рассматриваемой территории покрыта лесом. Преобладают средне- и южнотаежные сосновые, лиственнично-сосновые и травяные сосновые леса.

Болота на рассматриваемой территории занимают порядка от 5 % до 10 % площади. По своему типу это в основном низинные болота ключевого питания, котловинные.

Естественные ландшафты территории заметно изменены хозяйственной деятельностью человека (осушение болот, сооружение многочисленных автомобильных и железных дорог, промышленная и жилищная застройка и пр.).

Реки территории принадлежат к речной системе Оби (бассейн Карского моря).

Речная сеть в пределах рассматриваемой территории развита удовлетворительно: коэффициенты густоты речной сети составляют от 0,31 до 0,40 км/км².

Растительность представлена смешанным лесом из сосны и березы.

1.2 Гидрометеорологическая изученность района исследования

По степени однородности типов водного режима, климатических условий, источников питания, рельефа, условий формирования речного стока и его внутригодового распределения в пределах Урала и Приуралья выделено 17 гидрологических районов, которые в основном укладываются в пределы природных географических зон.

Водные объекты района исследования относятся к 13 району горнотаежной зоны горной области восточных склонов Урала и прилегающей равнины.

Степень гидрологической территории представлена на схеме, приведенной на рисунке 2, где показаны пункты наблюдений на реках и в таблице 1, где приведены основные гидрографические характеристики и периоды работы постов.

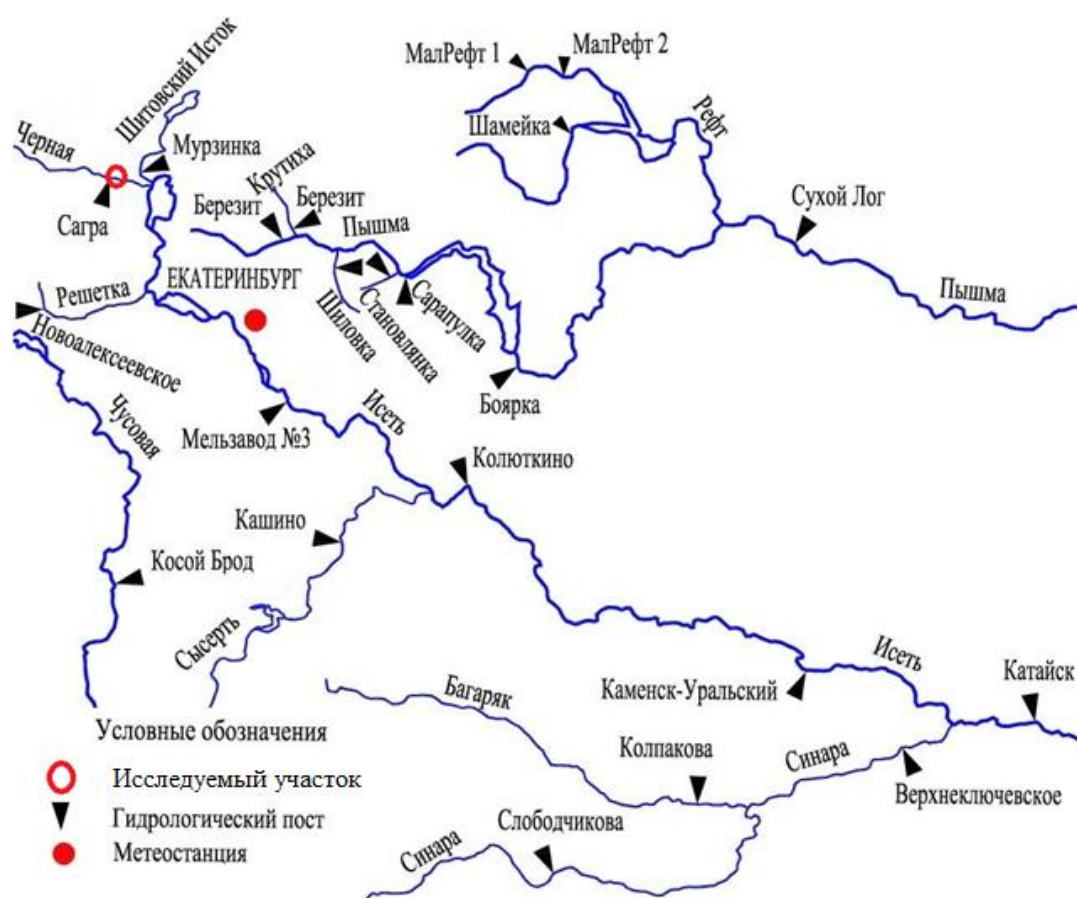


Рисунок 2 – Обзорная схема района исследования

Таблица 1 – Гидрологическая изученность района изысканий

Река - пункт	Период действия		Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Высота водосбора, м	Уклон реки, %		Площадь озер, %	Площадь болот, %	Площадь лесов, %
	открыт	закрыт				средний	взвеш			
Исеть – пос. Мельзавод № 3	1966	1990	559	1470	290	0,7	0,6	3	33	53
Исеть – с. Колпокино	1958	действ.	516	3500	(289)	0,7	0,7	(2)	(15)	(33)
Исеть – Каменск-Уральский	1935	1957	431	(5420)	253		1,0	2	13	46
Исеть – г. Катайск	1957	действ.	386	12800	(229)	0,8	0,8	(3)	(8)	(40)
Черная – ж.-л. ст. Сапра	1956	1991	7,6	220	325	8,3	6,9	0	26	67
Шитовский Исток – к. п. «Мурзинка»	1957	1964	6,7	204	276	0,4	0,4	5	45	47
Решетка – Новоалексеевское	1946	действ.	20	32,0	356	9,4	9,2	0	0	82
Сысерть – с. Кашино	1939	1949	26	1060	307	2,1	2,0	1	19	73
Синара – с. Слободчикова	1932	1980	91	930	280	2,6	1,9	9	6	54
Синара – Верхнеключевское	1932	действ.	10	5000	218	1,9	1,3	4	4	45
Багаряк – д. Колпакова	1932	1986	8,9	1730	227	1,6	1,6	4	4	36
Пышма – ж.-л. ст. Березит	1932	1981	591	197	273	1,5	1,5	5	7	52
Пышма – пос. Сарапглка	1954	1979	564	663	266	1,1	1,0	2	9	62
Пышма – л. Боярка	1954	1960	529	1040	254	0,8	0,7	1	9	46
Пышма – г. Сухой Лог	1929	1956	451	3190	226	0,9	0,9	1	14	72
Крутиха – пос. Березит	1976	1996	2,4	43,0	-	-	-	0	7	54
Шиловка – пос. Шилковский	1971	1996	3,6	45,8	-	-	-	0	2	39
Становлянка – л. Становая	1971	1996	1,3	19,3	-	-	-	0	<1	63
Чусовая – с. Косой Брод	1972	действ.	533	731	410	1,8	1,2	0	<5	90
Рефт – пос. Шамейка	1963	1987	59	511	236	1,3	1,2			
Шамейка – пос. Шамейка	1963	1987	1,0	72,0	214	6,3	5,1	0	5	90
Малый Рефт – в 1,8 км выше крд Малорефтинского (пост № 1)	1963	1988	21	146	228	2,0	1,9	0	30	70
Малый Рефт – в 4,2 км выше крд Малорефтинского (пост № 2)	1963	1988	15	175	217	1,8	1,6	<5	30	65

Гидрологический режим реки Черная изучался на одном посту, который располагался в п. Сагра в 120 м выше автодорожного моста. Пост работал с 1956 г. до 1991 г.

Ближайшими к району изысканий метеорологическими станциями (МС) является станция, расположенная в г. Екатеринбурге, проводящая наблюдения с 1836 г. соответственно. Данные наблюдений, указанной МС могут быть использованы для подготовки климатической характеристики района исследования.

1.3 Климатическая характеристика района исследования

Положение рассматриваемой территории в центре материка Евразии определяет резко континентальный характер ее климата, выражающийся в больших колебаниях температуры воздуха как внутри года, так и в течение суток. Наряду с этим велико влияние на климат Среднего Урала морских воздушных масс, несущих влагу с Атлантического океана.

Зимой территория находится под преимущественным влиянием сибирского антициклона, обуславливающего устойчивую морозную погоду. Наблюдаются частые вторжения холодных воздушных масс с севера, а также прорывы южных циклонов, с которыми связаны резкие изменения погоды.

Летом территория находится в основном в области низкого давления. Нередко происходит вторжение воздушных масс с Баренцева и Карского морей, а также с Азорских островов. В последнем случае наблюдается жаркая, даже засушливая погода.

Климатическая характеристика составлена с использованием данных наблюдений ближайшей к району изысканий метеорологической станции, расположенной в г. Екатеринбург.

Средняя годовая температура воздуха по МС Екатеринбург составляет плюс 2,8 °С.

Самый холодный месяц года январь. Средняя месячная температура воздуха составляет минус 13,8 °С. В отдельные годы в январе наблюдаются оттепели с максимальной температурой воздуха порядка 2 °С - 4 °С. Но все-таки оттепели зимой явление редкое и весьма кратковременное.

Самый теплый месяц года июль. Средняя месячная температура воздуха составляет 18,6 °С. В то же время, при вторжении холодных арктических масс воздуха возможны очень резкие понижения температуры, в отдельных случаях даже до отрицательных значений.

Средняя дата перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной приходится на 6 апреля, осенью – на 20 октября.

Устойчивый переход температуры воздуха через 5 °С происходит весной 23 апреля, осенью – 3 октября. Последний заморозок весной в среднем бывает 26 мая, первый заморозок осенью – 19 сентября.

Сведения о среднемесячной и годовой температуре воздуха (°С) по метеостанции

Екатеринбург в соответствии с СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сведения о среднемесячной и годовой температуре воздуха по метеостанции Екатеринбург

В градусах Цельсия (°С)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
-13,8	-11,7	-4,1	4,5	1,4	16,6	18,6	15,8	10,0	2,5	-5,5	-11,2	2,8

Средняя продолжительность безморозного периода составляет 115 дней, продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха ниже 0 °С составляет 159 дней. Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 составляет минус 32 °С.

Средняя дата первого и последнего заморозка и средняя продолжительность безморозного периода по метеостанции Екатеринбург приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Средняя дата первого и последнего заморозка и средняя продолжительность безморозного периода по метеостанции Екатеринбург

Дата последнего заморозка			Дата первого заморозка			Продолжительность безморозного периода, дни		
средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя
25 V	27 V 1979	12 VI 1898,1919	19 IX	18 VIII 1901	15 X 1923	116	75 1901	156 1923

Нормативная глубина промерзания грунтов составляет:

- для глин и суглинков 1,57 м;
- для супесей и песков мелких и пылеватых 1,91 м;
- для песков гравелистых и крупных и средней крупности 2,04 м;
- для крупнообломочных грунтов 2,31 м.

Средняя дата первого заморозка на почве – 13 IX.

Средняя дата последнего заморозка на почве – 27 V.

Средняя продолжительность безморозного периода – 108.

Средняя месячная температура почвы (°C) по метеостанции Екатеринбург на различных глубинах по коленчатым термометрам приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Средняя месячная температура почвы по метеостанции Екатеринбург на различных глубинах по коленчатым термометрам

В градусах Цельсия (°C)

Глубина, см	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
5	10,6	16,7	19,4	16,1	9,6
10	9,5	15,8	19,2	16,1	9,9
15	8,7	15,0	18,6	16,0	10,1
20	8,0	14,4	18,1	15,9	10,4

Характеристика температурного режима подстилающей поверхности по метеостанции Екатеринбург приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристика температурного режима подстилающей поверхности по метеостанции Екатеринбург

В градусах Цельсия (°С)

t°С почвы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
средняя	-16	-15	-7	4	14	19	21	17	10	1	-7	-13	2
ср. макс.	-2	1	9	32	44	49	50	45	34	18	4	0	52
ср. мин.	-34	-33	-28	-13	-5	1	6	2	-3	-13	-24	-30	-37

Абсолютный минимум температуры подстилающей поверхности составляет минус 44 °С. Абсолютный максимум температуры подстилающей поверхности составляет 57 °С.

Годовая норма осадков на рассматриваемой территории составляет 497 мм. Из этого количества осадков на холодный период (ноябрь – март) приходится лишь 23 %. Годовой минимум осадков наблюдается в феврале, когда месячное количество осадков не превышает 23 мм.

Основное количество осадков выпадает с апреля по октябрь, и годовая сумма осадков более чем на 77 % складывается из осадков теплого периода. Годовой максимум осадков наблюдается в июле и составляет 84 мм за месяц. Наибольшее месячное количество осадков составило 221 мм (июль 1950 г.), наибольшее суточное количество осадков 94 мм (14 июля 1950 г.).

Суточный максимум осадков обеспеченностью 1% составляет 94 мм.

Следует отметить значительную изменчивость годового количества осадков. Так, в дождливые годы иногда может выпасть на 200 – 250 мм больше, а в сухие - настолько же меньше нормы. Изменчивость месячных сумм осадков из года в год также довольно велика, особенно в теплый период. В это время месячное количество осадков может составлять от 30 % до 300 % нормы.

Ливневые осадки, охватывающие небольшие территории, чаще всего наблюдаются в июне - августе, продолжаются от нескольких минут до 3 - 9 часов.

За один дождь может выпасть до 90 мм. Однако такие максимумы осадков крайне редки. В большинстве случаев слой осадков за ливень не превышает 10 мм.

Интенсивность дождя может достигать от 5 до 7 мм/мин и более, но повторяемость таких ливней не превышает 3 %. От 40 % до 60 % случаев интенсивность дождей меньше 0,4 мм/мин.

Сведения о среднемесячных, сезонных и годовых суммах осадков в мм слоя по метеостанции Екатеринбург приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Сведения о среднемесячных, сезонных и годовых суммах осадков в мм слоя по метеостанции Екатеринбург

В миллиметрах

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Холодный сезон – III - XI	Теплый сезон – IV - X	Год
22	19	19	24	44	65	83	63	43	39	32	29	121	361	482

Суточный максимум осадков различной обеспеченности, мм слоя по метеостанции Екатеринбург приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Суточный максимум осадков различной обеспеченности, мм слоя по метеостанции Екатеринбург

В миллиметрах

Обеспеченность, %					
63	20	10	5	2	1
27	50	63	74	86	94

Число дней с жидкими, твёрдыми и смешанными осадками по метеостанции Екатеринбург приведено в таблице 8.

Таблица 8 – Число дней с жидкими, твердыми и смешанными осадками

В миллиметрах

Вид осадков	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Жидкие	-	-	-	6	35	68	84	74	39	8	1	-	127
Твердые	19	16	17	6	2	-	-	-	1	16	24	26	315
Смешанные	1	1	3	14	12	1	-	-	5	12	5	1	55

Относительная влажность воздуха на рассматриваемой территории характеризуется

довольно высокими значениями. Средняя годовая величина относительной влажности воздуха составляет 71 %. В течение года изменения относительной влажности сравнительно невелики и составляют от месяца к месяцу от 1 % до 8 %.

Наибольшую влажность воздух обычно имеет в конце осени – первой половине зимы, когда средняя месячная величина ее достигает от 77 % до 80 %. Начиная с января, происходит понижение влажности, наиболее интенсивное от марта к апрелю и от апреля к маю. Самая низкая относительная влажность отмечается в весенне-летние месяцы, в мае - июне ее значения уменьшаются до 62 %.

Годовой дефицит влажности составляет 3,5 мб. Минимум дефицита приходится на декабрь – февраль (от 0,5 до 0,6 мб); максимум дефицита (8,9 мб) наблюдается в июне.

Сведения о величине среднемесячной и годовой относительной влажности воздуха (%) по метеостанции Екатеринбург приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Сведения о величине среднемесячной и годовой относительной влажности воздуха по метеостанции Екатеринбург

В процентах

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
79	74	70	62	56	62	68	72	74	77	79	80	71

Первое появление снежного покрова отмечается в среднем 13 октября. Первый снег обычно стаивает при оттепелях. Устойчивый снежный покров образуется 6 ноября. Максимальной высоты снежный покров достигает в период со второй декады февраля по вторую декаду марта.

На открытых участках высота снежного покрова составляет около 40 см, на защищенных лесом - на 10 - 15 см больше. Наибольшая декадная высота снежного покрова 5 % обеспеченности составляет 70 см.

Максимальные запасы воды в снеге формируются в конце марта. Средние максимальные снеготзапасы достигают 100 мм.

Разрушение снежного покрова начинается в конце первой декады апреля. Сход снежного покрова происходит обычно в середине третьей декады апреля, а в годы с затяжными веснами снег окончательно стаивает в середине первой декады июня.

Снежный покров держится около 167 дней.

Средние даты появления и схода снежного покрова, образования и разрушения устойчивого снежного покрова по метеостанции Екатеринбург приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Средние даты появления и схода снежного покрова, образования и разрушения устойчивого снежного покрова по метеостанции Екатеринбург

Число дней со снежным покровом	Дата появления снежного покрова			Дата образования устойчивого снежного покрова			Дата разрушения устойчивого снежного покрова			Дата схода снежного покрова		
	средняя	ранняя	поздняя	средняя	ранняя	поздняя	средняя	ранняя	поздняя	средняя	ранняя	поздняя
167	13X	17 IX	12 XI	6XI	3 X	3 XII	8 IV	24 III	29 IV	26 IV	28 III	6 VI

Средняя декадная высота снежного покрова по снегосъемкам, см (поляна в лесу) по метеостанции Екатеринбург приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Средняя декадная высота снежного покрова по снегосъемкам, см (поляна в лесу) по метеостанции Екатеринбург

В сантиметрах

IX			X			XI			XII			I		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
-	-	-	*	*	*	7	12	15	21	24	28	30	34	37
II			III			IV			V			Наибольшая		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	средняя	максимальная	минимальная
40	42	43	43	44	37	20	*	*	*	-	-	49	73	33

Примечание – Звездочка (*) обозначает, что снежный покров наблюдался менее чем в 50% зим

Роза ветров по метеостанции Екатеринбург представлена на рисунке 4.

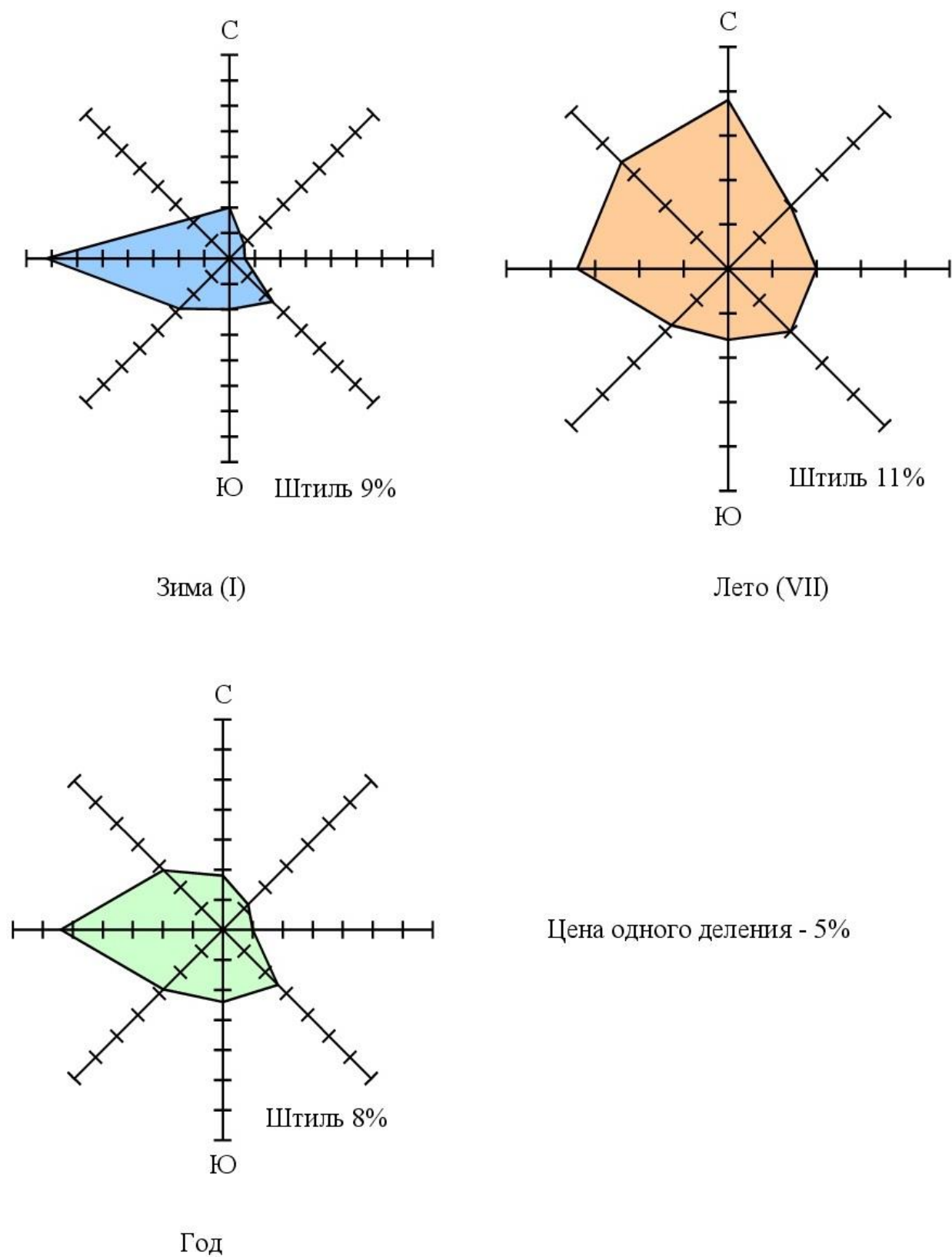


Рисунок 3 – Повторяемость ветра и штилей по метеостанции Екатеринбург

Ветровой режим территории зависит от основных циркуляционных факторов и орографических условий. На рассматриваемой территории преобладают ветры западного направления. В целом за год ветры западного направления отмечаются в 30 % случаев.

Наибольшее число западных ветров приходится на зимний период. Так, в ноябре – январе повторяемость их достигает от 30 % до 36 % случаев.

В это время часто наблюдаются также юго-западные и юго-восточные ветры, но процент их от числа ветров всех направлений меньший (от 14 % до 21 %). Еще реже бывают ветры восточного (от 3 % до 4 %) и северо-восточного направлений (от 4 % до 5 %). Летом преобладают ветры трех направлений: западные (от 18 % до 20 %), северо-западные (от 15 % до 17 %) и северные (от 12 % до 15 %).

Месячная повторяемость направлений ветра и штилей, по метеостанции Екатеринбург приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Месячная повторяемость направлений ветра и штилей, по метеостанции Екатеринбург

В процентах

<u>Румбы</u> Месяцы	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	ШТИЛЬ
I	7	5	4	18	11	19	30	6	11
II	7	7	6	19	9	19	27	6	9
III	8	5	5	18	9	21	26	8	6
IV	8	6	5	18	10	17	26	10	7
V	12	8	6	14	10	16	20	14	6
VI	12	10	5	12	10	15	21	15	8
VII	15	12	6	11	10	11	18	17	10
VIII	15	9	8	11	10	12	18	17	14
IX	9	4	4	11	12	22	23	15	9
X	6	4	3	12	11	22	29	13	6
XI	6	4	3	14	7	19	36	11	6
XII	8	5	4	14	9	21	31	8	9

Повторяемость направлений ветра и штилей за год приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Повторяемость направлений ветра и штилей за год

В процентах

Метеостанция	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Екатеринбург	9	6	5	13	12	14	27	14	8

Средняя годовая скорость ветра составляет 3,8 м/с. Наибольшие средние месячные скорости ветра наблюдаются в ноябре (4,4 м/с), октябре (4,3 м/с) и марте (4,2 м/с), наименьшие в июле (3,2 м/с) и августе (2,9 м/с).

Следует отметить, что при сравнительно небольших средних скоростях, в отдельные периоды возможны усиления ветра от 18 до 20 м/с. Число дней с сильным ветром (15 м/с и более) составляет в среднем за год до 16.

Расчетная максимальная скорость ветра 5% обеспеченности равна 24 м/с.

Данные о средней месячной и годовой скорости ветра (м/с) по метеостанции

Екатеринбург приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Данные о средней месячной и годовой скорости ветра по метеостанции Екатеринбург

В метрах в секунду

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
3,5	3,6	3,8	3,7	3,7	3,4	3,0	2,9	3,4	4,0	4,1	3,6	3,6

Среднее число дней с сильным ветром по метеостанции Екатеринбург приведено в таблице 15.

Таблица 15 – Среднее число дней с сильным ветром по метеостанции Екатеринбург

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
0,7	0,6	1,2	1,6	2,6	2,3	1,2	0,7	1,5	1,6	1,1	1,0	16,0

Порыв ветра по флюгеру (м/с) по метеостанции Екатеринбург приведено в таблице 16.

Таблица 16 – Максимальная скорость ветра по флюгеру по метеостанции Екатеринбург

В метрах в секунду												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
-	-	-	-	22	30	24	30	20	29	22	23	30

Климатические параметры теплого и холодного периода года по метеостанции Екатеринбург в соответствии с СП 131.13330.2020 приведены в таблице 17 и 18.

Таблица 17 – Климатические параметры холодного периода года по метеостанции Екатеринбург

Параметр		Величина	
Температура воздуха наиболее холодных суток, 0 °С, обеспеченностью	0,98	-41	
	0,92	-37	
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, 0 °С, обеспеченностью	0,98	-35	
	0,92	-32	
Температура воздуха, 0 °С, обеспеченностью 0,94		-18	
Абсолютная минимальная температура воздуха, 0 °С		-47	
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, 0 °С		7,0	
Продолжительность, сутки и средняя температура воздуха, 0 С, периоды со средней суточной температурой воздуха	≤ 0 °С	продолжительность	159
		средняя температура	-9,2
	≤ 8 °С	продолжительность	220
		средняя температура	-5,5
	≤ 10 °С	продолжительность	237
		средняя температура	-4,5
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца, %		76	
Количество осадков за ноябрь – март, мм		121	
Преобладающее направление ветра за декабрь - февраль		ЮЗ	
Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с		4,0	
Средняя скорость ветра, м/с, за период со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 °С		3,1	

Таблица 18 – Климатические параметры теплого периода года по метеостанции Екатеринбург

Параметры	Величина
Барометрическое давление, гПа	982
Температура воздуха, °С с обеспеченностью 0,95	23
Температура воздуха, °С с обеспеченностью 0,98	26
Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	24,7
Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	38
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С	10,5
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	65
Количество осадков за апрель – октябрь, мм	396
Суточный максимум осадков, мм	94
Преобладающее направление ветра за июнь - август	3

В холодный период года при наличии снежного покрова любое усиление ветра часто сопровождается метелью. В среднем за год наблюдается около 41 дней с метелями.

Среднее годовое количество дней с туманами, при которых в воздухе во взвешенном состоянии находятся мелкие неразличимые глазом капельки воды в таком количестве, что ощущается сырость, а горизонтальная видимость становится меньше 1 км, составляет 30.

Районы и их значения, к которым относится район изысканий, по различным видам нагрузок (СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*, приложение Е) приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Районы и их значения, к которым относится район изысканий, по различным видам нагрузок

Вид нагрузок	Район	Значение
Расчетное значение веса снегового покрова на 1 м ² горизонтальной поверхности земли, кПА	III	1,5
Нормативное значение ветрового давления, кПА	I	0,23
Толщина стенки гололеда, мм	II	5

Исследуемый район располагается в IV климатическом районе для строительства (СП 131.13330.2020 Строительная климатология).

Годовой ход метеорологических элементов по МС Екатеринбург приведен на рисунке 5.

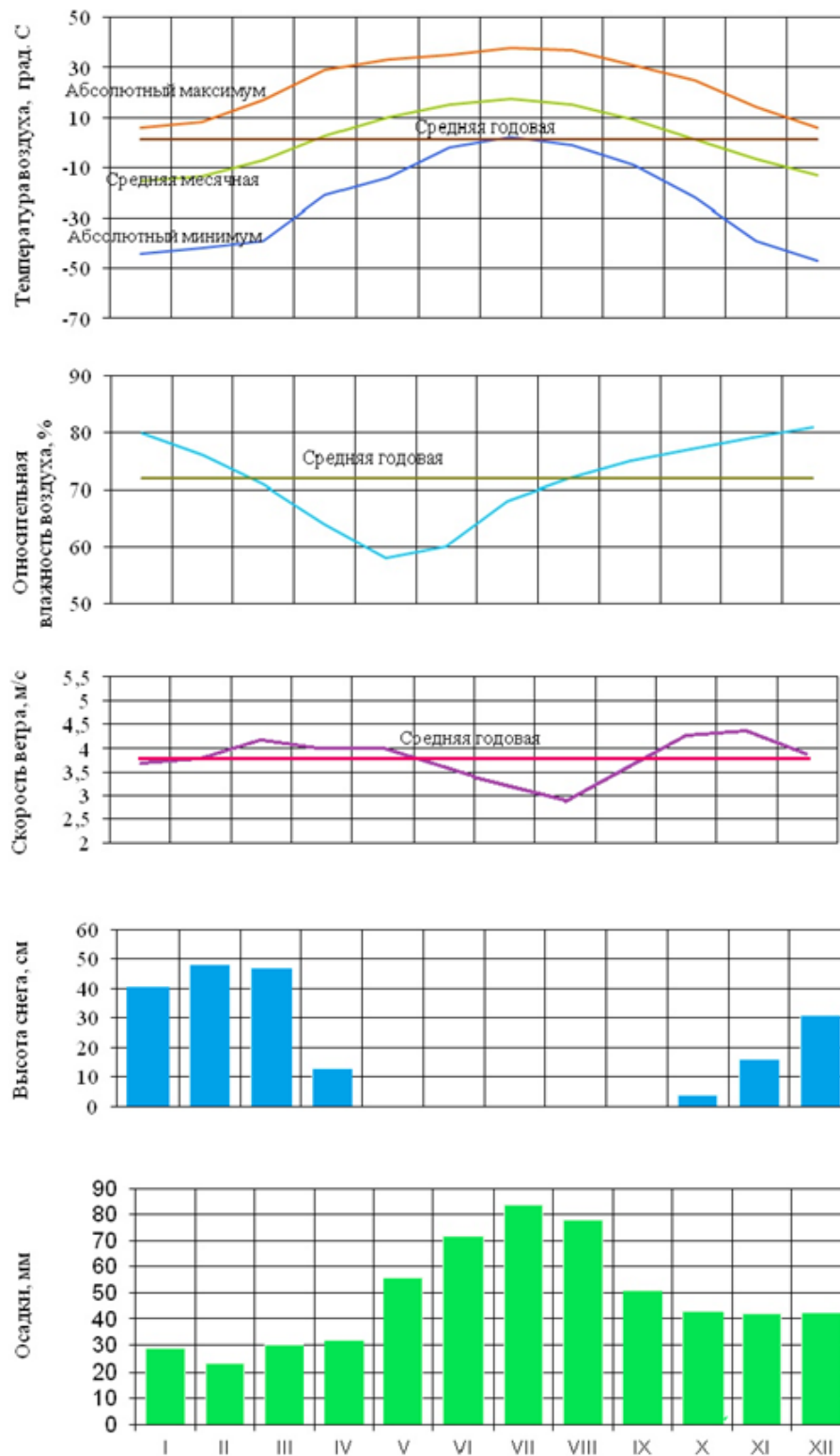


Рисунок 4 – Годовой ход метеорологических элементов по МС Екатеринбург

1.4 Характеристика гидрологического режима водных объектов суши

Для характеристики гидрологического режима реки Черная использовались материалы наблюдений по посту р. Черная – ж.-д. ст. Сагра.

По условиям водного режима реки рассматриваемого района относятся к типу рек с хорошо выраженным весенним половодьем, летне-осенними дождевыми паводками и длительной устойчивой зимней меженью.

Основной фазой водного режима является половодье, в период которого в среднем проходит от 50 % до 70 %, а в отдельные годы от 80 % до 85 % годового стока, и наблюдаются максимальные расходы и высшие уровни воды.

На рассматриваемой территории на реках с площадями водосборов больше 200 км² весеннее половодье по объему и величине максимального расхода превышает дождевые паводки. В отдельные годы дождевые паводки могут превышать по величине максимальные расходы весеннего половодья, однако дождевые максимумы редкой повторяемости ниже соответствующих расходов половодья.

Весеннее снеготаяние и начало подъема уровней воды в реке Черная приходится на конец первой декады апреля, еще при ледоставе.

Форма гидрографа весеннего половодья одновершинная, большей частью сглаженная, растянутая, что объясняется замедленным таянием снегов, регулирующим влиянием лесов и болот, незначительными уклонами, а также выпадением жидких осадков на спаде половодья. Продолжительность подъема составляет в среднем около 16 дней. Средняя дата прохождения пика половодья приходится на середину третьей декады апреля. Продолжительность стояния максимального уровня воды составляет обычно от одного до двух дней. Заканчивается половодье в среднем в конце мая, в годы с поздними веснами или со значительными осадками в весенне-летний период – в конце второй декады июня. Средняя продолжительность половодья составляет около 47 дней, наибольшая достигает 72 дней, наименьшая 25 дней.

Средние и крайние даты начала и окончания половодья, прохождения пика и продолжительность половодья по посту р. Черная – ж.-д. ст. Сагра приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Средние и крайние даты начала и окончания половодья, прохождения пика и продолжительность половодья по посту р. Черная – ж.-д. ст. Сагра

Характеристика	Дата			Продолжит. половодья, сутки
	Начала половодья	Наибольшего срочного расхода	Окончания половодья	
Средняя	08.04	24.04	25.05	47
Наибольшая (ранняя)	25.03 1978	06.04 1978	27.04 1978	$\frac{72}{1977}$
Наименьшая (поздняя)	20.04 1979	08.05 1958	18.06 1960	$\frac{25}{1966}$

Летне-осенняя межень, начинающаяся вслед за окончанием половодья и продолжающаяся до появления устойчивых ледяных образований осенью, отличается неустойчивым характером, зачастую прерывается дождевыми паводками.

Дождевые паводки в летне-осенний период наблюдаются ежегодно. В среднем за летне-осенний период наблюдается от одного до трех паводка. Длительность межпаводочных периодов, когда режим реки может рассматриваться как меженный, достигает от 40 до 90 дней. В дождливые годы число паводков увеличивается от четырех до шести, а межпаводочные периоды сокращаются от 5 до 20 дней.

Средняя продолжительность паводка составляет 14 дней. В случаях, когда дожди выпадают с небольшими интервалами, формируются сложные многовершинные паводки с продолжительностью до месяца.

В зависимости от прохождения дождевых паводков низшие уровни летне-осенней межени наблюдаются в период с июля по сентябрь. Низший уровень летне-осенней межени чаще всего формируется в конце первой декады сентября.

Средние и крайние даты начала и окончания дождевых паводков, прохождения пика и продолжительность паводков по посту р. Черная – ж.д. ст. Сагра приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Средние и крайние даты начала и окончания дождевых паводков, прохождения пика и продолжительность паводков по посту р. Черная – ж.-д. ст. Сагра

Характеристика	Дата			Продолжительность		
	начала паводка	наибольшеего расхода воды	окончания паводка	подъём	спа	общая
Средняя	18.06 (91%)	22.06 (91%)	02.07 (91%)	5	9	14
Наибольшая (ранняя)	10.05 1966	14.05 1966	21.05 1966	<u>10</u> 1974	<u>18</u> 1964	<u>22</u> 1960
Наименьшая (поздняя)	02.09 1980	06.09 1980	17.09 1980	<u>2</u> 1971	<u>2</u> 1965	<u>4</u> 1965

Зимняя межень, наступающая сразу после появления устойчивых ледовых образований, отличается большой продолжительностью, устойчивостью и низким стоком. Период зимней межени достигает в среднем 190 дней и 218 дней в особо неблагоприятные зимы. Появление первых ледяных образований в виде заберег наблюдается в середине третьей декады октября. Забереги носят устойчивый характер и появляются ежегодно. Осенний ледоход не наблюдался. Продолжительность этих явлений обычно составляет 5 дней, наибольшая может достигать 11 дней. С начала ледообразования водность рек быстро снижается, минимум ее чаще всего наступает в марте. В целом, уровни зимней межени несколько ниже летних. Ледостав на реках устойчивый. Средняя дата начала ледостава приходится на 1 ноября. Наибольшей толщины лед достигает к концу февраля. В это время величина ее составляет в среднем 0,81 м, наибольшая - может достигать 1,08 м. В суровые малоснежные зимы на отдельных участках реки могут наблюдаться наледи, образующиеся в результате замерзания воды, входящей через трещины на поверхность ледяного покрова из-за стеснения живого сечения потока льдом на нижележащих участках. В результате толщина льда увеличивается от 1,1 до 1,3 м.

В теплые зимы на перекатах, где наблюдаются повышенные скорости течения, отмечаются промоины.

Вскрытие реки происходит в начале второй декады апреля. Начинается оно с появления талой воды на льду, а затем закраин и промоин. Толщина льда перед вскрытием уменьшается от 20 % до 30 % по сравнению с наибольшей.

На фазе подъема при высших уровнях, близких к расчетным, на реке проходит ледоход средней продолжительностью 3 дня. Началу ледохода предшествуют подвижки льда.

Полное очищение реки ото льда происходит в среднем 19 апреля.

Средние и крайние даты начала и окончания осенних ледовых явлений и весеннего ледохода и их продолжительность по посту р. Черная – ж.-д. ст. Сагра приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Средние и крайние даты начала и окончания осенних ледовых явлений и весеннего ледохода и их продолжительность по посту р. Черная – ж.-д. ст. Сагра

Характеристика	Осенние ледовые явления, даты				Весенний ледоход, даты		
	Появление ледяных образований	Начало осеннего ледохода	Начало ледостава	Продолжит. ледостава	Начало	Окончание (очищение ото льда)	Продолжит. ледохода
Средняя	24.10	нб (100%)	01.11	168	18.04 (79%)	19.04	3
Ранняя (наибольшая)	<u>08.10</u> 1976	-	<u>09.10</u> 1976	<u>194</u> 1976- 77	<u>05.04</u> 1961	<u>06.04</u> 1961	<u>13</u> 1978
Поздняя (наименьшая)	<u>11.11</u> 1957	-	<u>21.11</u> 1967	<u>144</u> 1967- 68	<u>29.04</u> 1979	<u>02.05</u> 1979	<u>0</u> 21%

Сведения о характерных уровнях воды и датах их прохождения по посту р. Черная – ж.-д. ст. Сагра приведены в таблицах 23 и 24.

Таблица 23 – Сведения о высших уровнях воды и датах их прохождения по посту р. Черная – ж.д. ст. Сагра

Характеристика	Высший уровень					
	За год		Периода весеннего ледохода		Летне-осеннего периода	
	см	дата	см	дата	см	дата
Уровень средний	196	-	153	-	139	-
Уровень высший	247	05.05 1979	211	02.05 1979	232	23.06 1971
Уровень низший	163	19.07 1967, 21.04 1972	73	15.04 1978	40	30.09 1958
Дата средняя	-	30.04 (79%)	-	18.04 (79%)	-	08.07
Дата ранняя	-	18.02.1976	-	05.04 1961	-	14.05 1961
Дата поздняя	-	19.07 1967	-	02.05 1979	-	30.09 1958

Таблица 24 – Сведения о низших уровнях воды и датах их прохождения по посту р. Черная – ж.д. ст. Сагра

Характеристика	Низший уровень				Колебания уровня за год	
	Зимнего периода		Периода открытого русла			
	см	дата	см	дата	см	год
Уровень средний	43	-	35	-	166	-
Уровень высший	90	22-23.12 1974	48	27.04 1978	212	1979
Уровень низший	прмз. (4%)	04-19.03 1967	13	08-12.07 1975	126	1967
Дата средняя	-	19.02 (67%)	-	17.08	-	-
Дата ранняя	-	24.10 1962	-	27.04 1978	-	-
Дата поздняя	-	28.03 1980	-	17.10 1974	-	-

В период весеннего половодья на фазе подъема при уровнях, близких к расчетным, на реке Черная может проходить средней интенсивности ледоход с максимальным размером льдин 6х5 м и толщиной 0,56 м. Продолжительность весеннего ледохода составляет в среднем 3 дня. Ледоход может проходить на пике половодья. При прохождении высших уровней весеннего половодья и дождевых паводков редкой повторяемости на реке Черная может наблюдаться редкий карчеход в виде отдельно плывущих деревьев и веток кустарника.

1.5 Общая характеристика водного объекта

Река Черная берет начало из ложбины у подножья небольшой возвышенности не далеко от гор Чернижной и Березовой в 5,60 км к ЮВ от д. Починок. Протекает река в целом в юго-восточном направлении и впадает в Исетское озеро. Длина реки 30 км. Площадь водосбора 266 км². Река имеет 24 притока длиной меньше 10 км, суммарная длина которых 50 км.

Расчетный створ расположен в 7,6 км от устья. В расчетном створе площадь водосбора реки составляет 220 км². Длина реки до створа 22,40 км. Залесенность водосбора 67 %, заболоченность – 26 %. Среднезвешенный уклон реки 6,9 ‰, уклон водосбора 31,2 ‰.

В районе створа гидрологического поста ж.д. станция Сагра долина реки Черная трапецеидальная, пойменная. Пойма двухсторонняя: левобережная шириной 140 м, на левом берегу частично заболочена, правобережная шириной – от 20 до 25 м. Ширина левобережной поймы около 140 м. Русло плавно изогнутое, песчаное, у правого берега каменистое, по берегам зарастает водной растительностью. Ширина русла от 9,0 до 15,0 м. Берега преимущественно обрывистые, высотой от 0,5 до 1,5 м, сложены суглинками. Выход воды на левобережную пойму происходит практически ежегодно в соответствии с рисунком 5.



Рисунок 5 – Весеннее половодье в мае 2019 г. на реке Черная в районе гидрологического поста - ж.д. станция Сагра

ГЛАВА 2 РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ И ВЫСШИХ УРОВНЕЙ ВОДЫ ПРИ НАЛИЧИИ ДАННЫХ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Расчетная река: река Черная – ж.д. станция Сагра (Площадь водосбора составляет 220 км²).

Максимальный расход воды и высший уровень воды на реке Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра» представлены в таблице 1.

Таблица 25 – Максимальный расход воды весеннего половодья и дождевых паводков и слой стока половодья на реке Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра»

№ п/п	Год	Высший уровень воды, см	Максимальный расход, м ³ /с
1	1957	223	23,2
2	1958	183	9,82
3	1959	173	7,71
4	1960	180	7,57
5	1961	200	9,40
6	1962	195	14,2
7	1963	218	19,8
8	1964	216	11,3
9	1965	211	22,4
10	1966	182	12,3
11	1967	163	6,60
12	1968	195	5,91
13	1969	195	7,37
14	1970	207	5,06
15	1971	232	13,2

№ п/п	Год	Высший уровень воды, см	Максимальный расход, м ³ /с
16	1972	163	6,70
17	1973	205	20,4
18	1974	181	9,59
19	1975	170	5,12
20	1976	192	6,40
21	1977	184	10,0
22	1978	222	23,0
23	1979	247	82,0
24	1980	175	8,30
25	1981	217	13,2
26	1982	199	8,74
27	1983	217	16,2
28	1984	225	23,8
29	1985	224	23,4
30	1986	221	20,9
31	1987	242	64,0

Гидрографические характеристики реки Черная на гидрологическом посту на ж.д. станции Сагра:

площадь водосбора	– 220 км ² ;
длина реки	– 22,4 км;
средняя высота водосбора	– 325 м;
средневзвешенный уклон реки	– 6,9 ‰;
относительная озерность	– 0 %;
относительная заболоченность	– 26 %;
относительная залесенность	– 67 %.

2.1 Предварительный анализ исходных данных

В работе исследуется максимальный сток весеннего половодья и дождевых паводков реки Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра». Максимальный сток реки Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра» представлен в таблице 4.

Таблица 26 – Максимальный сток реки Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра» ($F = 220 \text{ км}^2$)

№ п/п	Год	Высший уровень воды		Максимальный расход, м ³ /с	Максимальный модуль стока, л/с км ²
		см	м БС		
1	1957	223	254,97	23,2	0,11
2	1958	183	254,57	9,82	0,04
3	1959	173	254,47	7,71	0,04
4	1960	180	254,54	7,57	0,03
5	1961	200	254,74	9,40	0,04
6	1962	195	254,69	14,2	0,06
7	1963	218	254,92	19,8	0,09
8	1964	216	254,90	11,3	0,05
9	1965	211	254,85	22,4	0,10
10	1966	182	254,56	12,3	0,06
11	1967	163	254,37	6,60	0,03
12	1968	195	254,69	5,91	0,03
13	1969	195	254,69	7,37	0,03
14	1970	207	254,81	5,06	0,02
15	1971	232	255,06	13,2	0,06
16	1972	163	254,37	6,70	0,03
17	1973	205	254,79	20,4	0,09

№ п/п	Год	Высший уровень воды		Максимальный расход, м ³ /с	Максимальный модуль стока, л/с км ²
		см	м БС		
18	1974	181	254,55	9,59	0,04
19	1975	170	254,44	5,12	0,02
20	1976	192	254,66	6,40	0,03
21	1977	184	254,58	10,0	0,05
22	1978	222	254,96	23,0	0,10
23	1979	247	255,21	82,0	0,37
24	1980	175	254,49	8,30	0,04
25	1981	217	254,91	13,2	0,06
26	1982	199	254,73	8,74	0,04
27	1983	217	254,91	16,2	0,07
28	1984	225	254,99	23,8	0,11
29	1985	224	254,98	23,4	0,11
30	1986	221	254,95	20,9	0,10
31	1987	242	255,16	64,0	0,29

Хронологический график слоя весеннего половодья реки Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра» представлен на рисунке 6.

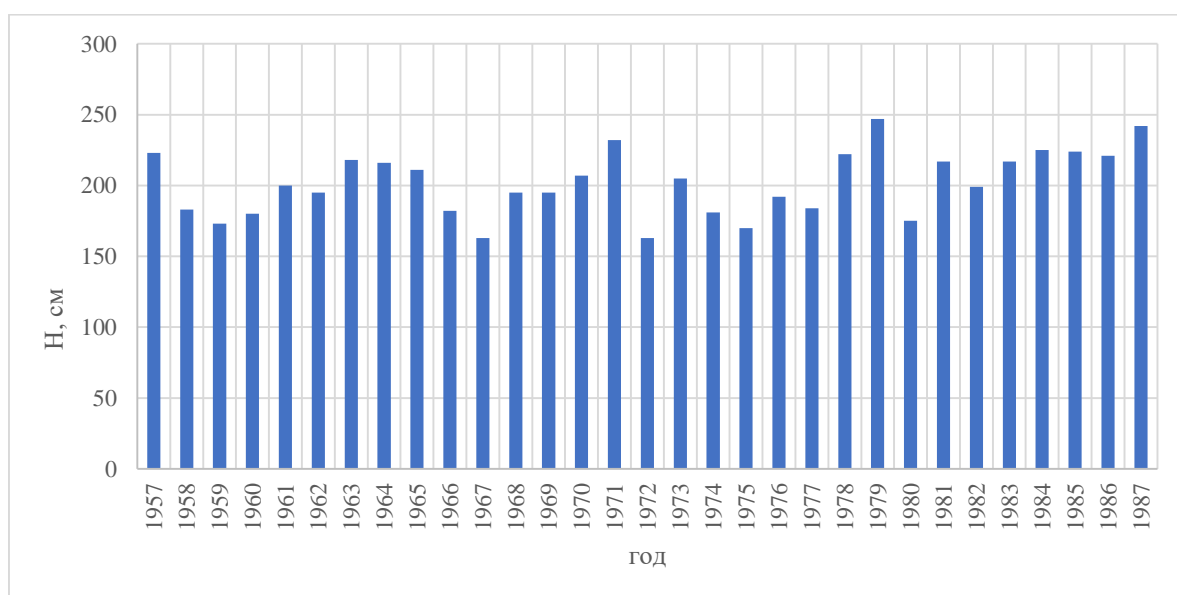


Рисунок 6 – Хронологический график высшего уровня воды реки Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра»

Хронологический график максимальных расходов весеннего половодья реки Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра» представлен на рисунке 7.

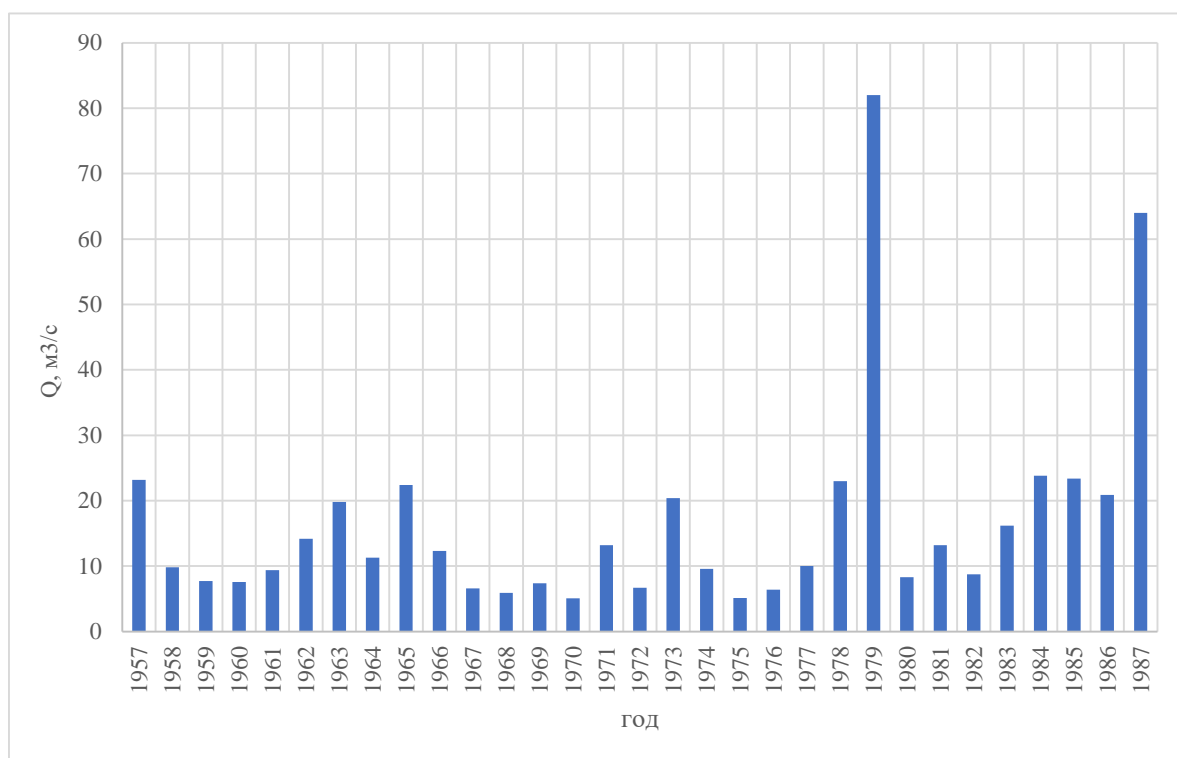


Рисунок 7 – Хронологический график максимальных расходов весеннего половодья реки Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра»

Как видно из таблицы 26 и рисунков 6, 7 наибольший максимальный расход воды наблюдался в 1979 г. Максимальный расход воды превышает средний расход в пять раз.

2.2 Проверка однородности

Проверка рядов на однородность выполнена с использованием критериев Фишера и Стьюдента. Теоретические значения статистик Фишера и Стьюдента определяются по таблицам. Проверка проводится при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Гипотеза об однородности рядов не опровергается, если выполняются следующие условия:

$$F^* < F_{2\alpha},$$

$$t^* < t_{2\alpha},$$

где: F^* , – эмпирические значения статистик, соответственно Фишера и Стьюдента;

$F_{2\alpha}$, $t_{2\alpha}$ – теоретические значения статистик, соответственно Фишера и Стьюдента, при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Эмпирические значения статистик Фишера и Стьюдента определяются по формулам

$$F^* = \frac{D_1}{D_2}, \quad (2)$$

$$t^* = \left[(\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2) / \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \right] \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (3)$$

где D_1 и D_2 – дисперсии по одной и другой частям ряда ($D_1 > D_2$);

σ_1 и σ_2 – среднеквадратические отклонения по первой и второй частям ряда;

\bar{Q}_1 и \bar{Q}_2 – средние значения по первой и второй частям ряда;

n_1 и n_2 – длина первой и второй частей ряда.

В работе проверка однородности рядов выполнена с помощью надстройки Microsoft Excel «Пакет анализа». По результатам проверки составлена таблица 27.

Таблица 27 – Результаты проверки рядов максимального стока на однородность при $2\alpha = 5\%$ и $r(1) = 0$

Вид стока	$ t^* $	$t_{2\alpha\%}$	$H_0: x_1 = x_2$	F^*	$F_{2\alpha\%}$	$H_0: D_1 = D_2$
Высший уровень воды	0,85	2,05	не опровергается	1,69	2,95	не опровергается
Максимальный расход воды	1,68	2,05	не опровергается	13,3	2,95	опровергается

Как видно из таблицы 27 для высших уровней воды гипотеза об однородности ряда не опровергается (ряды однородны), а для максимальных расходов воды гипотеза об однородности ряда не опровергается по критерию Стьюдента, но опровергается по критерию Фишера.

2.3 Оценка значимости линейного тренда

Для оценки значимости линейного тренда построены хронологические графики для максимальных расходов весеннего половодья, слоев половодья и максимальных расходов дождевых паводков. На каждом графике выведены линии линейных трендов и его параметры.

Оценка значимости линейного тренда проводится с использованием критерия значимости выборочного коэффициента корреляции (R). Тренд считается статистически незначимым, если выполняется условие:

$$\frac{|R|}{\sigma_R} < t_{2\alpha},$$

где $t_{2\alpha}$ – Статистика Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$;

σ_R – стандартная ошибка коэффициента корреляции, определяемая по формуле:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}. \quad (4)$$

Хронологический график высшего уровня реки Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра» представлен на рисунке 8.

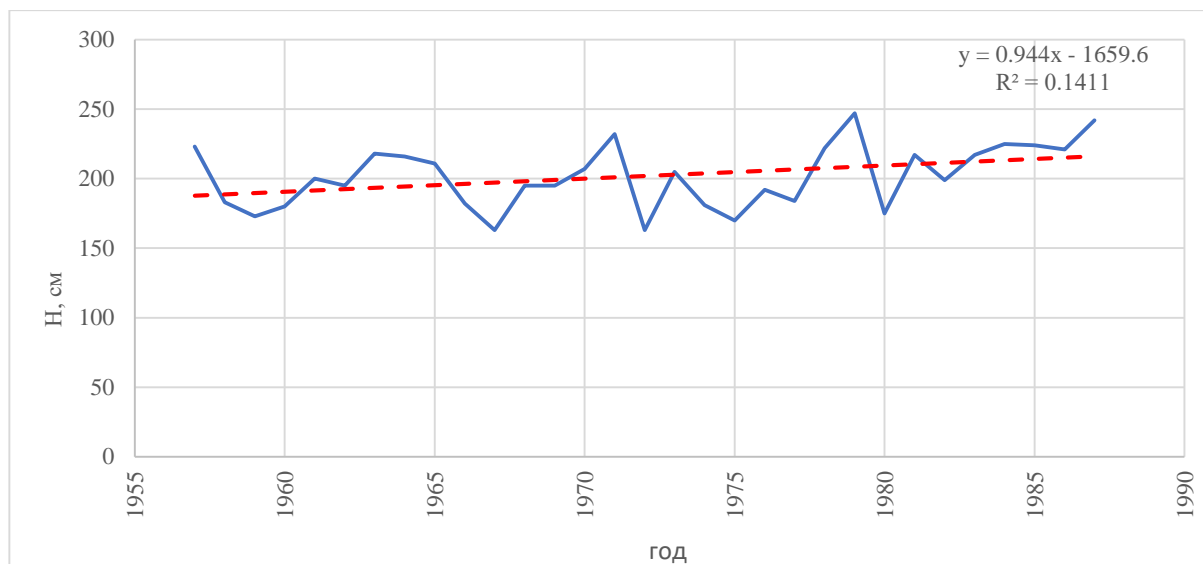


Рисунок 8 – Хронологический график высшего уровня;
пунктирная линия – линейный тренд

Хронологический график максимальных расходов весеннего половодья реки Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра» представлен на рисунке 9.

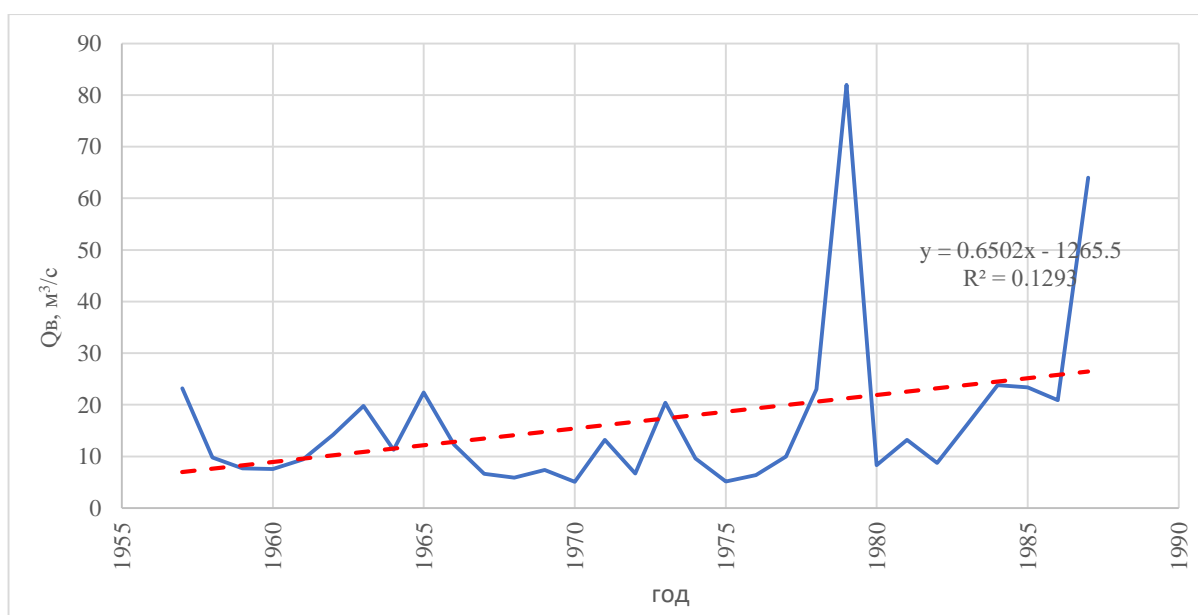


Рисунок 9 – Хронологический график максимальных расходов воды;
пунктирная линия – линейный тренд

Оценка значимости линейных трендов в рядах максимального стока реки Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра» представлена в таблице 28.

Таблица 28 – Оценка значимости линейных трендов в рядах максимального стока

Вид стока	n	R^2	R	σ_R	$ R /\sigma_R$	$t_{2\alpha=5\%}$	$H_0: R = 0$	значимость тренда
Высший уровень воды	31	0,141	0,38	0,17	2,18	2,05	не опровергается	тренд не значим
Максимальные расходы воды	31	0,129	0,36	0,17	2,08	2,05	не опровергается	тренд не значим

Согласно выполненному анализу для всех рассматриваемых рядов данных (высший уровень воды, максимальные расходы) гипотеза об отсутствии значимого тренда не опровергается - тренд не значим.

2.4 Расчет числовых характеристик и их погрешностей

Расчет статистических характеристик исследуемых рядов проводился методом моментов. В том случае, когда коэффициент вариации (C_v) превышает 0,6, параметры пересчитывались методом наибольшего правдоподобия. Формулы метода моментов:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \quad (5)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}} \quad (6)$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n - 1)(n - 2)C_v^3} \quad (7)$$

Учитывая большую погрешность расчета коэффициента асимметрии (C_s), значение отношения C_s/C_v для каждого вида стока допускается находить методом подбора на основе наилучшего соответствия эмпирической и аналитической кривых обеспеченностей.

Относительные погрешности среднего значения и коэффициента вариации рассчитываются по формулам:

$$\sigma_{\bar{Q}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1+r}{1-r}} 100\% , \quad (8)$$

$$\sigma_{C_v} = \frac{1}{n+4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1+C_v^2)}{2} \left(1 + \frac{3C_v r^2}{1+r^2}\right)} 100\% . \quad (9)$$

Так как при расчете максимального стока используется модель случайной величины, формулы принимают вид:

$$\sigma_{\bar{Q}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} 100\% , \quad (10)$$

$$\sigma_{C_v} = \frac{1}{n+4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1+C_v^2)}{2}} 100\% . \quad (11)$$

$$\varepsilon_{C_s, \%} = \frac{1}{C_s} \sqrt{\frac{6}{n} (1+6C_v^2+5C_v^4)} 100\% \quad (12)$$

Для максимальных расходов воды C_v равен 0,98. Уточнение параметра C_v выполнено методом наибольшего правдоподобия.

При $\lambda_2 = -0,12$ и $\lambda_3 = 0,14$ по номограмме представленной на рисунке 10, C_v равно 1,04, $C_s/C_v = 6,0$.

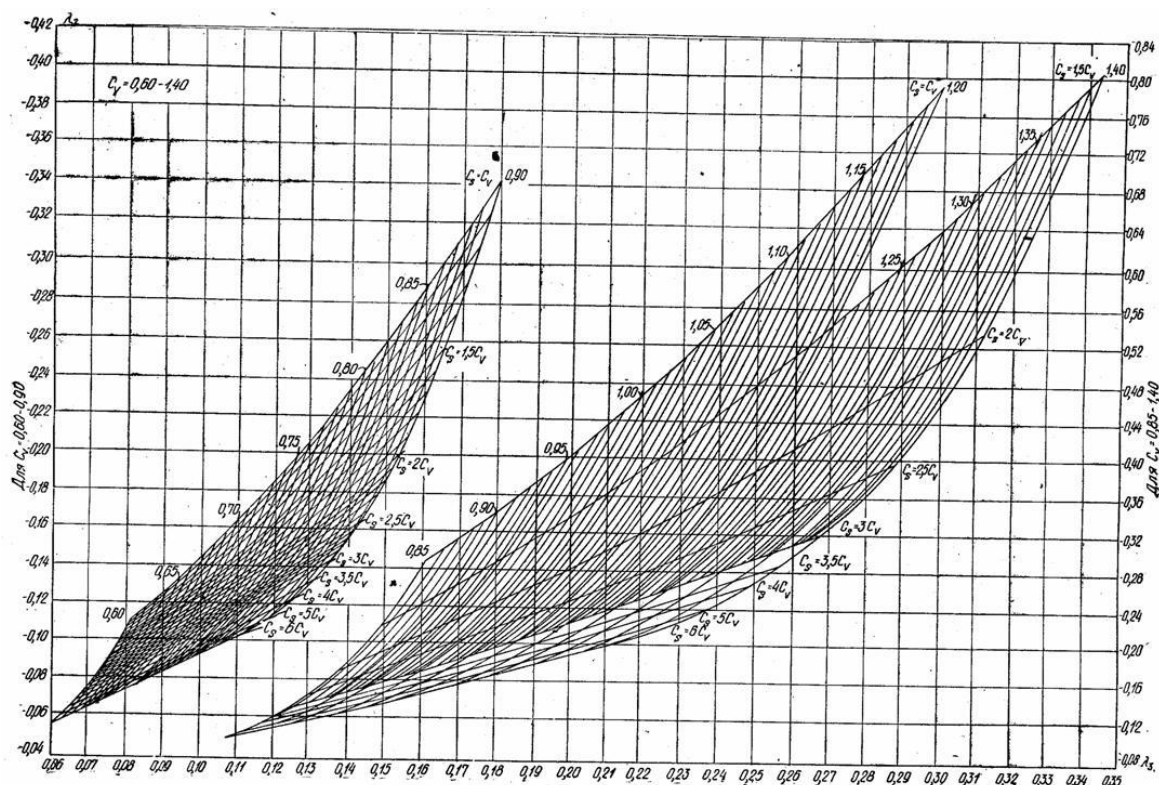


Рисунок 10 – Номограмма метода наибольшего правдоподобия

По результатам расчетов составлена таблица 29.

Таблица 29 – Основные статистические характеристики рядов максимального стока реки Черная на гидрологическом посту «ж.д. станция Сагра»

Вид стока	Длина ряда, n	Среднее значение	C_v	C_s	C_s/C_v	C_s/C_v принято	σ , %	σ_{C_v} , %	σ_{C_s} , %
Высший уровень воды, см	31	202	0,11	0,04	0,34	0,5	2,03	12,8	1179
Максимальные расходы воды, м ³ /с	31	16,7	0,98 / уточненный 1,04	2,99	2,87 / уточненный 6,0	6	17,68	15,8	50

2.5 Расчет максимальных расходов воды при наличии данных наблюдений

Выполнен расчет ординат эмпирической кривой обеспеченностей и представлен в таблице 30.

Таблица 30 – Расчет ординат эмпирической кривой обеспеченности максимальных расходов воды реки Черная на гидрологическом посту «ж.д. станция Сагра»

№ п/п	Расходы воды Q , м ³ /с	Ранжированные Q , м ³ /с	$k=Q/Q_c$ p	$p = \frac{m}{n+1} 100\%$
1	23,2	82,0	4,91	3,13
2	9,82	64,0	3,83	6,25
3	7,71	23,8	1,43	9,38
4	7,57	23,4	1,40	12,50
5	9,40	23,2	1,39	15,63
6	14,2	23,0	1,38	18,75
7	19,8	22,4	1,34	21,88
8	11,3	20,9	1,25	25,00
9	22,4	20,4	1,22	28,13
10	12,3	19,8	1,19	31,25
11	6,60	16,2	0,97	34,38
12	5,91	14,2	0,85	37,50
13	7,37	13,2	0,79	40,63
14	5,06	13,2	0,79	43,75
15	13,2	12,3	0,74	46,88
16	6,70	11,3	0,68	50,00
17	20,4	10,0	0,60	53,13
18	9,59	9,82	0,59	56,25
19	5,12	9,59	0,57	59,38
20	6,40	9,40	0,56	62,50

№ п/п	Расходы воды Q , $\text{м}^3/\text{с}$	Ранжированные Q , $\text{м}^3/\text{с}$	$k=Q/Q_c$ p	$p = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%$
21	10,0	8,74	0,52	65,63
22	23,0	8,30	0,50	68,75
23	82,0	7,71	0,46	71,88
24	8,30	7,57	0,45	75,00
25	13,2	7,37	0,44	78,13
26	8,74	6,70	0,40	81,25
27	16,2	6,60	0,40	84,38
28	23,8	6,40	0,38	87,50
29	23,4	5,91	0,35	90,63
30	20,9	5,12	0,31	93,75
31	64,0	5,06	0,30	96,88
Среднее		16,7		

В качестве аналитической кривой использована кривая обеспеченностей Крицкого-Менкеля.

Выполнен расчет ординаты аналитической кривой обеспеченностей и представлен в таблице 31 ($Q_{\text{ср}} = 16,7 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_v = 1,04$; $C_s/C_v = 6,0$).

Таблица 31 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей (Крицкого-Менкеля) максимальных расходов воды реки Черная на гидрологическом посту «ж.д. станция Сагра»

Характеристика стока	Обеспеченность P , %											
	0,01	0,1	1	3	5	10	25	50	75	90	95	99
Модульный коэффициент, k_p	19,8	10,4	5,01	3,34	2,71	1,98	1,20	0,71	0,43	0,28	0,22	0,14
Расход воды Q , $\text{м}^3/\text{с}$	331	174	83,7	55,8	45,3	33,1	20,0	11,8	7,1	4,6	3,64	2,30
Модуль стока q , $\text{м}^3/\text{с км}^2$	1,51	0,79	0,38	0,25	0,21	0,15	0,09	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01

На клетчатке вероятностей построена эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченности и представлена на рисунке 11.

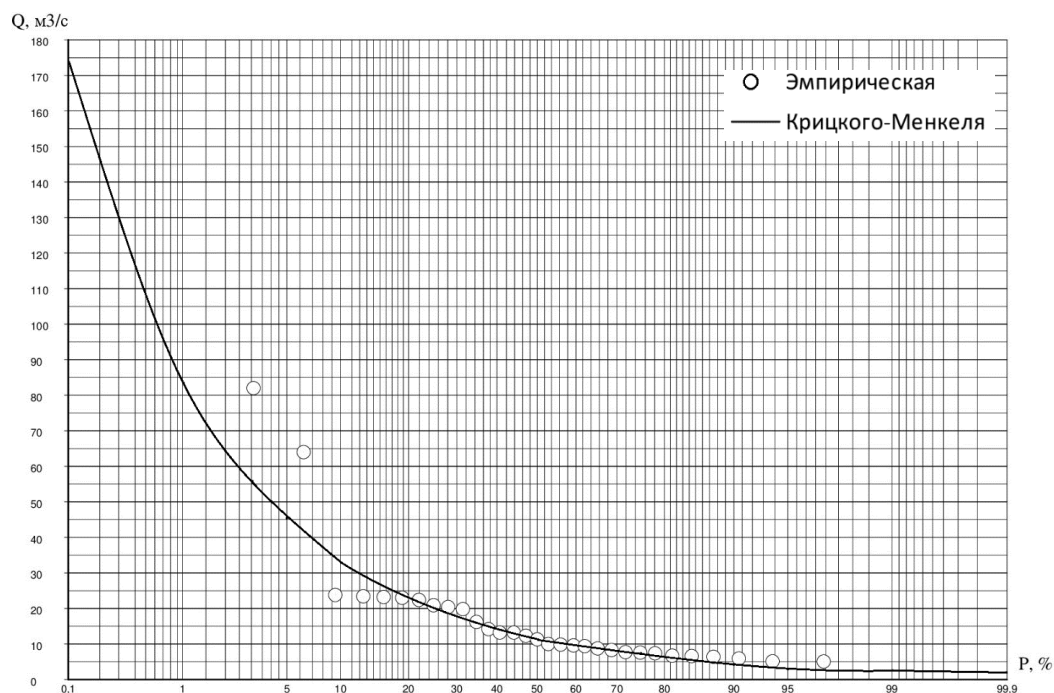


Рисунок 11 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченности максимальных расходов дождевых паводков реки Черная на гидрологическом посту «ж.д. станция Сагра»

Аналитическая кривая удовлетворительно описывает эмпирические данные.

2.6 Расчет высшего уровня воды при наличии данных наблюдений

Выполнен расчет ординат эмпирической кривой обеспеченностей и представлен в таблице 32.

Таблица 32 – Расчет ординат эмпирической кривой обеспеченности высший уровень реки Черная на гидрологическом посту «ж.д. станция Сагра»

№ п/п	Высшие уровни H ,	Ранжированные H , m^3/c	$k = \frac{H}{H_c}$ p	$p = \frac{m}{n+1} 100\%$
1	223	247	1,22	3,13
2	183	242	1,20	6,25

№ п/п	Высшие уровни H ,	Ранжированные H , $\text{м}^3/\text{с}$	$k=H/H_c$ p	$p = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%$
3	173	232	1,15	9,38
4	180	225	1,11	12,5
5	200	224	1,11	15,6
6	195	223	1,10	18,8
7	218	222	1,10	21,9
8	216	221	1,09	25,0
9	211	218	1,08	28,1
10	182	217	1,08	31,3
11	163	217	1,08	34,4
12	195	216	1,07	37,5
13	195	211	1,05	40,6
14	207	207	1,03	43,8
15	232	205	1,02	46,9
16	163	200	0,99	50,0
17	205	199	0,99	53,1
18	181	195	0,97	56,3
19	170	195	0,97	59,4
20	192	195	0,97	62,5
21	184	192	0,95	65,6
22	222	184	0,91	68,8
23	247	183	0,91	71,9
24	175	182	0,90	75,0
25	217	181	0,90	78,1
26	199	180	0,89	81,3
27	217	175	0,87	84,4
28	225	173	0,86	87,5
29	224	170	0,84	90,6
30	221	163	0,81	93,8
31	242	163	0,81	96,9
Среднее		202		

В качестве аналитической кривой использована кривая обеспеченностей Крицкого-Менкеля.

Выполнен расчет ординаты аналитической кривой обеспеченностей и представлен в таблице 33 ($H_{cp} = 202$ мм; $C_v = 0,11$; $C_s/C_v = 05$).

Таблица 33 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей (Крицкого-Менкеля) высший уровень реки Черная на гидрологическом посту «ж.д. станция Сагра»

Характеристика стока	Обеспеченность P , %											
	0,01	0,1	1	3	5	10	25	50	75	90	95	99
Модульный коэффициент, k_p	1,42	1,34	1,26	1,21	1,19	1,14	1,08	0,99	0,92	0,86	0,82	0,75
Высший уровень H , см	286	271	255	244	240	231	217	200	187	173	166	151
Высший уровень H , м БС	255,60	255,45	255,29	255,18	255,14	255,05	254,91	254,74	254,61	254,47	254,40	254,25

На клетчатке вероятностей построена эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченности и представлена на рисунке 12.

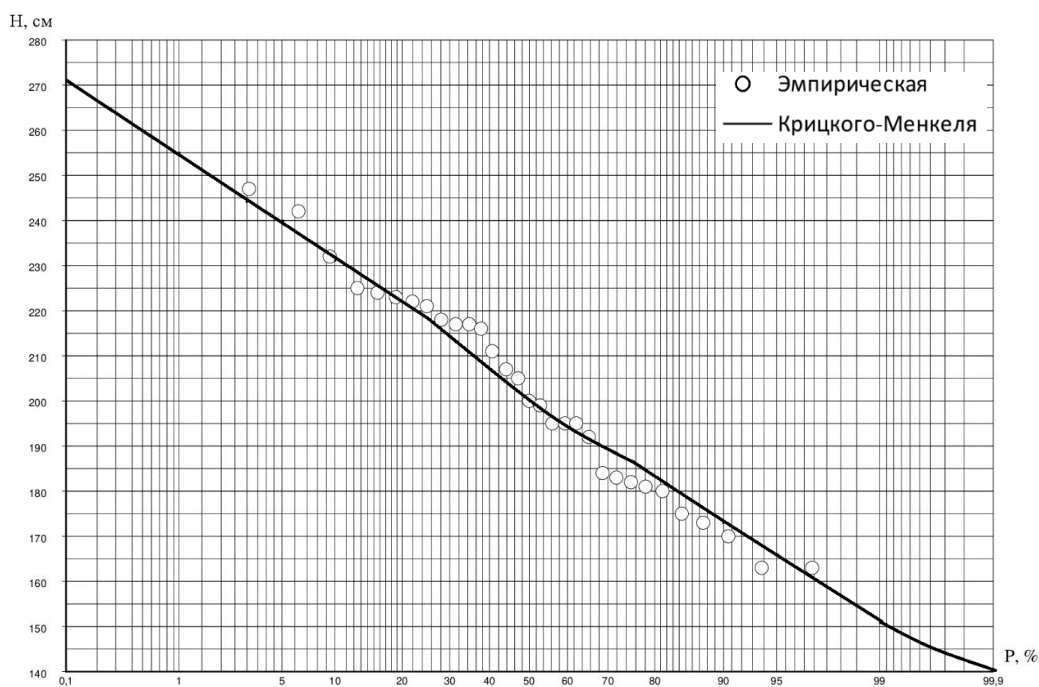


Рисунок 12 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченности высший уровень реки Черная на гидрологическом посту «ж.д. станция Сагра»

Аналитическая кривая удовлетворительно описывает эмпирические данные.

ГЛАВА 3 ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДОВ ОТ УРОВНЕЙ ВОДЫ ПРИ ОТСУТСТВИИ РЕЖИМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Расчетные наивысшие уровни воды, обусловленные половодьями и паводками, определяют по кривым $Q = f(H)$ через расходы воды $Q_{P\%}$, рассчитанные в главе 2 «Расчет максимальных расходов и максимальных уровней воды при наличии данных гидрометрических наблюдений» и представленные в таблице 31.

Кривые расходов строят с помощью формулы (1):

$$Q = (\omega/n) h^{0,66} I^{0,5},$$

где ω – площадь поперечного сечения русла или поймы при заданной отметке уровня H , m^2 ; принимается по занivelированному поперечному профилю участка долины;

n – коэффициент шероховатости, $c/m^{0,33}$;

h – средняя глубина в русле или на пойме, m , принимается по занivelированному поперечному профилю участка долины;

I – уклон водной поверхности, принимается продольному профилю реки.

Морфометрический створ расположен в районе гидрологического поста река Черная – ж.д. станция Сагра (Приложение А). Кривые $\omega = f(H)$ и $v = f(H)$ устанавливают путем промеров глубин в реке ниже уреза воды и нивелирования русла и береговых склонов выше уреза до предполагаемой высоты уровня воды 1 %-ной вероятности превышения плюс один метр. Коэффициент шероховатости поймы и русла, а также уклон водной поверхности реки можно определить по СП 33-101-2003 и с использованием данных натуральных наблюдений и гидрологических работ на расчетном створе реки.

3.1 Построение кривых зависимости расходов от уровней воды с использованием данных СП 33-101-2003

Коэффициент шероховатости в соответствии с СП 33-101-2003 приложению Б, таблица Б.12 представлен в таблице 34.

Таблица 34 – Шкала шероховатости речных русел и пойм

Характеристика русел и пойм			
<i>n</i>	Равнинные реки	Полугорные и горные реки	Поймы
0,020	Прямолинейные русла канализированных рек в плотных грунтах с тонким слоем илистых отложений	-	-
0,025	Естественные земляные русла в благоприятных условиях, чистые, прямые, со спокойным течением	Искусственные отводы русел, высеченные в скале	Ровная чистая пойма с низкой травой без сельскохозяйственного использования
0,030	Гравийно-галечные русла в тех же условиях	Гравийно-галечные русла в благоприятных условиях (чистые, прямые). $J = 0,8 ‰ - 1,0 ‰$	Ровная пойма под пашней без посевов и пастбищем с низкой травой
0,040	Сравнительно чистые русла постоянных водотоков с некоторыми неправильностями в направлениях струй, неровностями дна и берегов и влечением донных наносов	Земляные русла периодических водотоков (сухих логов) в благоприятных условиях. Правильные хорошо разработанные галечные русла в нижнем течении. $J = 0,8 ‰ - 1,0 ‰$	Ровная пойма, занятая зрелыми полевыми культурами, пастбищем с высокой травой и вырубками без побегов, небольшое количество староречий и мелких просек
0,050	Значительно засоренные русла больших и средних рек, частично заросшие или каменистые, с беспокойным течением. Чистые русла периодических водотоков	Значительно засоренные каменистые русла с бурным течением. Периодические водотоки с крупногалечным покрытием ложа. $J = 7 ‰ - 15 ‰$	Пойма, поросшая редким кустарником и деревьями (весной без листвы), изрезанная староречьями
0,065	Скалистые русла больших и средних рек. Русла периодических водотоков, засоренные и заросшие	Галечно-валунные русла с бурным течением. Засоренные периодические водотоки. $J = 15 ‰ - 20 ‰$	Пойма под редким кустарником и деревьями с листвой или вырубками с развивающейся порослью

Характеристика русел и пойм			
<i>n</i>	Равнинные реки	Полугорные и горные реки	Поймы
0,080	Речные русла, значительно заросшие, с промоинами и неровностями дна и берегов	Валунные русла в средней и верхней частях бассейна и периодические водотоки с бурным течением и взволнованной водной поверхностью. $J = 50 ‰ - 90 ‰$	Поймы, покрытые кустарником средней и большой густоты (весной без листвы)
0,100	Русла рек, сильно заросшие, загроможденные стволами деревьев и валунами	Русла водопадного типа преимущественно в верховьях с крупновалунным ложем и бурным течением. $J = 90 ‰ - 200 ‰$	Поймы, занятые лесом при уровне ниже ветвей и кустарником средней и большой густоты с листвой
0,140	Реки болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода)	Русла с завалами из валунов и обломков скал и валунами. $J = 90 ‰ - 200 ‰$	Поймы, покрытые лесом при затоплении ветвей и густым ивняком
0,200	-	Русла с завалами из валунов и обломков скал	Глухие, сплошь заросшие, труднопроходимые поймы таежного типа

Уклон I определяется при высокой воде или в первом приближении по СП 33-101-2003 приложению Б, таблица Б.13 и представлен в таблице 35.

Таблица 35 – Примерное значение уклона водной поверхности реки вблизи створа в равнинных районах

Площадь водосбора, км ²	Уклон водной поверхности реки, ‰, при рельефе местности			
	Возвышенности	Увалы	Холмистые равнины	Низменности
100	2,84	1,70	0,72	0,28
500	1,60	0,96	0,41	0,16
1000	1,28	0,76	0,32	0,13
5000	0,70	0,43	0,18	0,07
20000	0,44	0,27	0,11	0,04
50000	0,32	0,19	0,08	0,03
100000	0,25	0,15	0,06	0,03

Коэффициент шероховатости поймы принимаем 0,08, так как пойма покрыта кустарником средней и большой густоты. Коэффициент шероховатости русла принимаем 0,04. Уклон водной поверхности реки интерполирован и принят 0,63 ‰.

Массив отметок и расстояний морфометрического створа в районе гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра» представлен в таблице 36.

Таблица 36 – Массив отметок и расстояний морфометрического створа

Местоположение отметки		Высота отметки, м БС	Местоположение отметки		Высота отметки, м БС
ПК	+		ПК	+	
0	0,00	260,00	2	90,00	252,49
0	70,00	256,40	2	92,00	252,62
1	20,00	255,03	2	93,00	253,22
1	82,00	254,42	2	95,00	253,71
2	33,00	254,15	3	5,00	254,00
2	73,00	254,13	3	40,00	255,00
2	83,00	254,11	3	76,00	257,76
2	85,00	253,22	4	0,00	260,00
2	88,00	252,66	-	-	-

Гладкость участков морфометрического створа на гидрологическом посту «река Черная – ж.д. станция Сагра» с учетом данных СП 33-101-2003 представлены в таблице 37.

Таблица 37 – Гладкость участков морфометрического с учетом данных СП 33-101-2003

Наименование участка	Гладкость участка	Коэффициент шероховатости	Конечная точка участка	
			ПК	+
Левая пойма	12,50	0,08	2	83,00
Русло	25,00	0,04	2	95,00
Правая пойма	12,50	0,08	4	0,00

Результаты морфометрического расчета в створе поста река Черная – ж.д. станция Сагра с учетом данных СП 33-101-2003 при 1 % обеспеченности представлены в таблице 38.

Таблица 38 – Результаты морфометрического расчета с учетом данных СП 33-101-2003 при расчётном уровне высоки вод 1 % обеспеченности

Наименование участка	Площадь сечения, м ²	Длина, м	Средняя глубина, м	Расход, м ³	Процент от суммарного расхода, %	Средняя скорость, м/с
Левая пойма	140,70	171,53	0,82	41,62	49,72	0,30
Русло	26,90	12,00	2,24	29,48	35,22	1,10
Правая пойма	41,27	48,44	0,85	12,60	15,05	0,31
Сумма потока	208,87	231,97	0,90	83,70	100,00	0,40

Данные морфометрических кривых в створе гидрологического поста река Черная – ж.д. станция Сагра с учетом данных СП 33-101-2003 представлены в таблице 39.

Таблица 39 – Данные морфометрических кривых с учетом данных СП 33-101-2003

Отметка уровня воды, м БС	Русловой расход, м ³ /с	Общий расход, м ³ /с	Площадь сечения, м ²	Скорость русловая, м/с	Продольный уклон, ‰
253,22	1,55	1,55	3,76	0,41	0,63
253,42	2,73	2,73	5,53	0,49	0,63
253,63	4,26	4,26	7,56	0,56	0,63
253,83	6,19	6,20	10,08	0,63	0,63
254,04	8,49	8,68	14,05	0,70	0,63
254,24	11,19	12,32	25,62	0,76	0,63
254,45	14,24	18,94	50,26	0,83	0,63
254,65	17,61	28,23	81,99	0,90	0,63
254,85	21,28	43,11	119,42	0,97	0,63
255,06	25,24	61,01	162,50	1,03	0,63
255,26	28,48	83,70	208,87	1,10	0,63
255,60	37,02	129,30	289,49	1,20	0,63
255,94	45,37	185,87	376,84	1,30	0,63
256,28	54,39	252,79	469,92	1,39	0,63
256,62	64,07	331	568,31	1,48	0,63

Кривая зависимости расходов от уровней воды в створе гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра», построенная при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных СП 33-101-2003 представлена на рисунке 13.

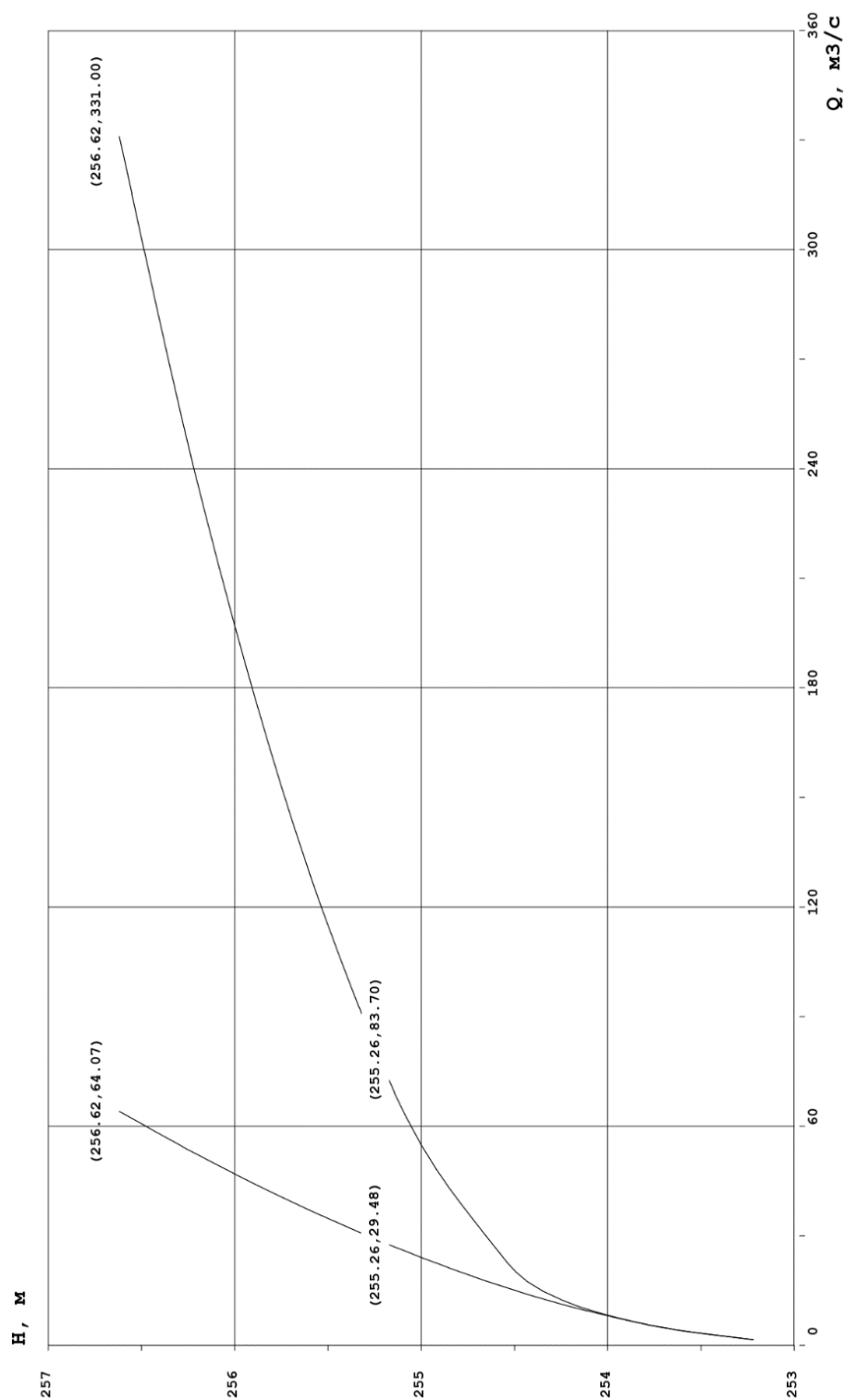


Рисунок 13 – Кривая зависимости $Q = f(H)$, построенная при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных СП 33-101-2003

Кривая зависимости русловой скорости потока от уровней воды в створе гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра», построенная при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных СП 33-101-2003 представлена на рисунке 14.

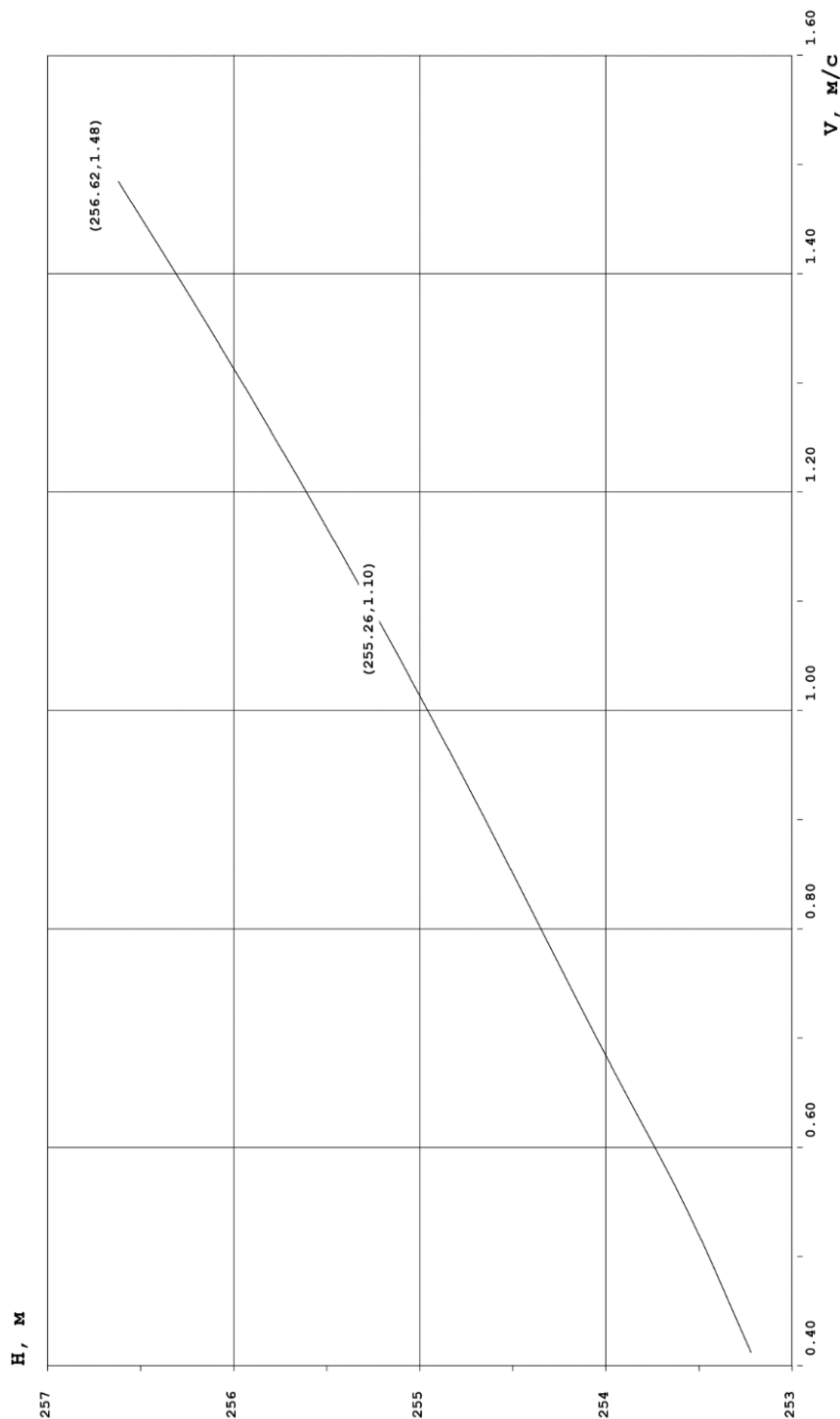


Рисунок 14 – Кривая зависимости $v = f(H)$, построенная при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных СП 33-101-2003

Кривая зависимости площади поперечного сечения потока от уровней воды в створе гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра», построенная при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных СП 33-101-2003 представлена на рисунке 15.

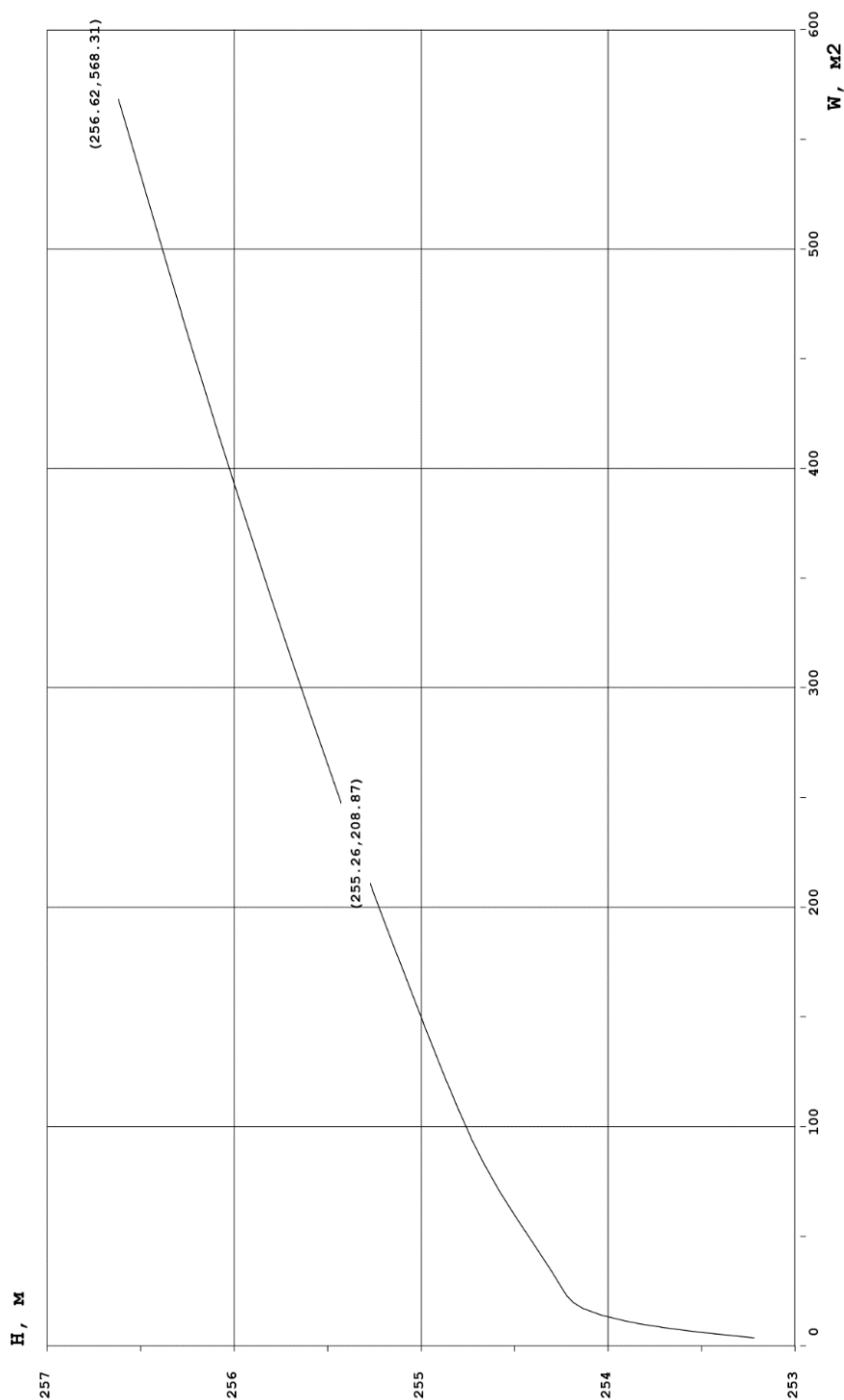


Рисунок 15 – Кривая зависимости $\omega = f(H)$, построенная при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных СП 33-101-2003

Морфометрический створ гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра», построенный при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных СП 33-101-2003 и представлен на рисунке 16.

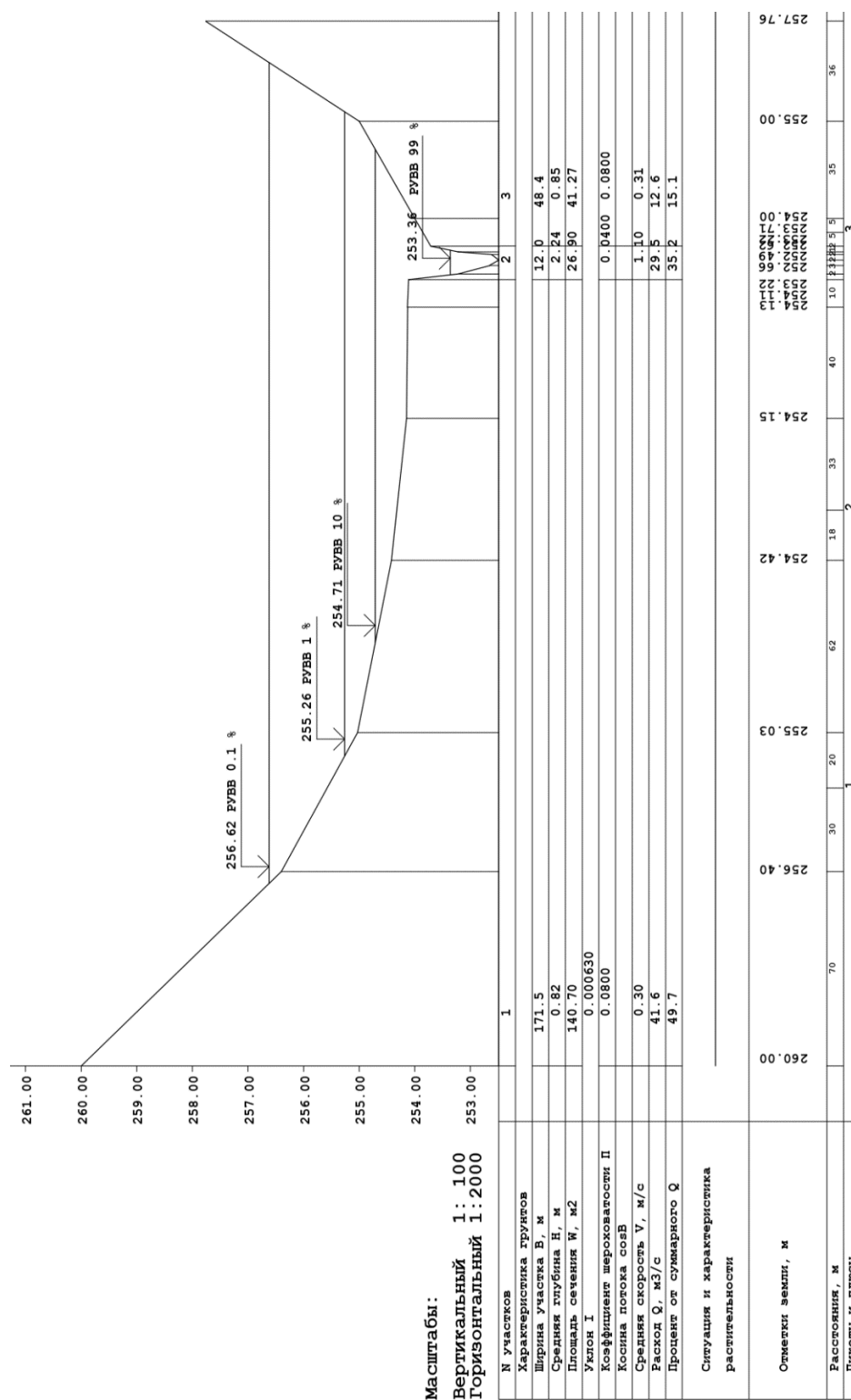


Рисунок 16 – Морфометрический створ, построенный при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных СП 33-101-2003 при РУВВ 1 %

Высотные отметки высшего уровня воды различной вероятностью превышения, определенные по кривой зависимости расходов от уровней воды в створе гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра», построенной при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных СП 33-101-2003, представлены в таблице 40.

Таблица 40 – Высотные отметки высшего уровня воды различной вероятностью превышения, определенные по кривой зависимости $Q = f(H)$, с учетом данных СП 33-101-2003

Характеристика стока	Обеспеченность P , %											
	0,01	0,1	1	3	5	10	25	50	75	90	95	99
Высший уровень $H_{сп}$, м БС	256,62	255,87	255,26	255,01	254,88	254,71	254,47	254,22	253,91	253,67	253,55	253,36

3.2 Построение кривых зависимости расходов от уровней воды с использованием данных гидрологических работ на расчетном створе реки

Полевые гидрологические работы на реке Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра» проводились 11 июня 2022 г. Отметка уреза воды в 175 м выше морфоствора составляет 253,36 м БС. Отметка уреза воды в 175 м ниже морфоствора составляет 253,02 м БС. Уклон водной поверхности составляет 0,97 ‰. Измеренные расходы воды реки Черная в створе гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра» представлены в таблице 41.

Таблица 41 – Измеренные расходы воды реки Черная в створе гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра»

Дата измерения	Состояние реки	Расход, m^3/c	Площадь водного сечения, m^2	Скорость течения, m/c		Ширина реки, m	Глубина, m		Способ измерения расхода
				средняя	наибольшая		средняя	наибольшая	
11.06.22	св	1,26	3,52	0,36	0,41	7,79	0,45	0,70	псп 10

Отметка уреза воды в расчетном створе составляет 253,19 м БС.

Коэффициент шероховатости русла посчитан от обратного с учетом измеренной скорости течения и площади водного сечения по результатам полевых гидрологических работ. Коэффициент шероховатости поймы принят с учетом техногенных факторов, определенных при проведении рекогносцировочного обследования реки Черная в районе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра».

Гладкость участков морфометрического створа на гидрологическом посту «река Черная – ж.д. станция Сагра» с учетом данных полевых гидрологических работ представлены в таблице 42.

Таблица 42 – Гладкость участков морфометрического с учетом данных полевых гидрологических работ

Наименование участка	Гладкость участка	Коэффициент шероховатости	Конечная точка участка	
			ПК	+
Левая пойма	10,00	0,10	2	83,00
Русло	18,00	0,0556	2	95,00
Правая пойма	10,00	0,10	4	0,00

Результаты морфометрического расчета в створе гидрологического поста река Черная – ж.д. станция Сагра с учетом данных гидрологических работ при расчётном уровне высоки вод 1 % обеспеченности представлены в таблице 43.

Таблица 43 – Результаты морфометрического расчета с учетом данных гидрологических работ при расчётном уровне высоки вод 1 % обеспеченности

Наименование участка	Площадь сечения, м ²	Длина, м	Средняя глубина, м	Расход, м ³	Процент от суммарного расхода, %	Средняя скорость, м/с
Левая пойма	145,82	172,62	0,84	43,62	52,11	0,30
Русло	27,26	12,0	2,27	26,91	32,15	0,99
Правая пойма	42,71	48,83	0,87	13,17	15,74	0,31
Сумма потока	215,80	233,44	0,92	83,70	100,00	0,39

Данные морфометрических кривых в створе гидрологического поста река Черная – ж.д. станция Сагра с учетом данных полевых гидрологических работ представлены в таблице 44

Таблица 44 – Данные морфометрических кривых в створе гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра» с учетом данных полевых гидрологических работ

Отметка уровня воды, м БС	Русловой расход, м ³ /с	Общий расход, м ³ /с	Площадь сечения, м ²	Скорость русловая, м/с	Продольный уклон, ‰
253,10	0,94	0,94	2,85	0,33	0,97
253,32	1,86	1,86	4,59	0,41	0,97
253,54	3,17	3,17	6,63	0,48	0,97
253,76	4,85	4,85	9,02	0,54	0,97
253,98	6,95	7,05	12,72	0,60	0,97
254,20	9,43	10,15	21,44	0,67	0,97
254,42	12,30	16,23	46,07	0,74	0,97
254,64	15,50	26,41	79,44	0,80	0,97
254,85	19,01	40,67	119,39	0,86	0,97
255,07	22,82	59,52	165,79	0,93	0,97
255,29	26,91	83,70	215,80	0,99	0,97
255,35	28,07	91,01	229,77	1,00	0,97
255,68	34,76	136,66	309,34	10,9	0,97
256,00	42,02	191,71	394,15	1,17	0,97
256,33	49,84	256,13	484,21	1,26	0,97
256,65	58,19	331,00	578,97	1,33	0,97

Кривая зависимости расходов от уровней воды в створе гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра», построенная при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных полевых работ представлена на рисунке 17.

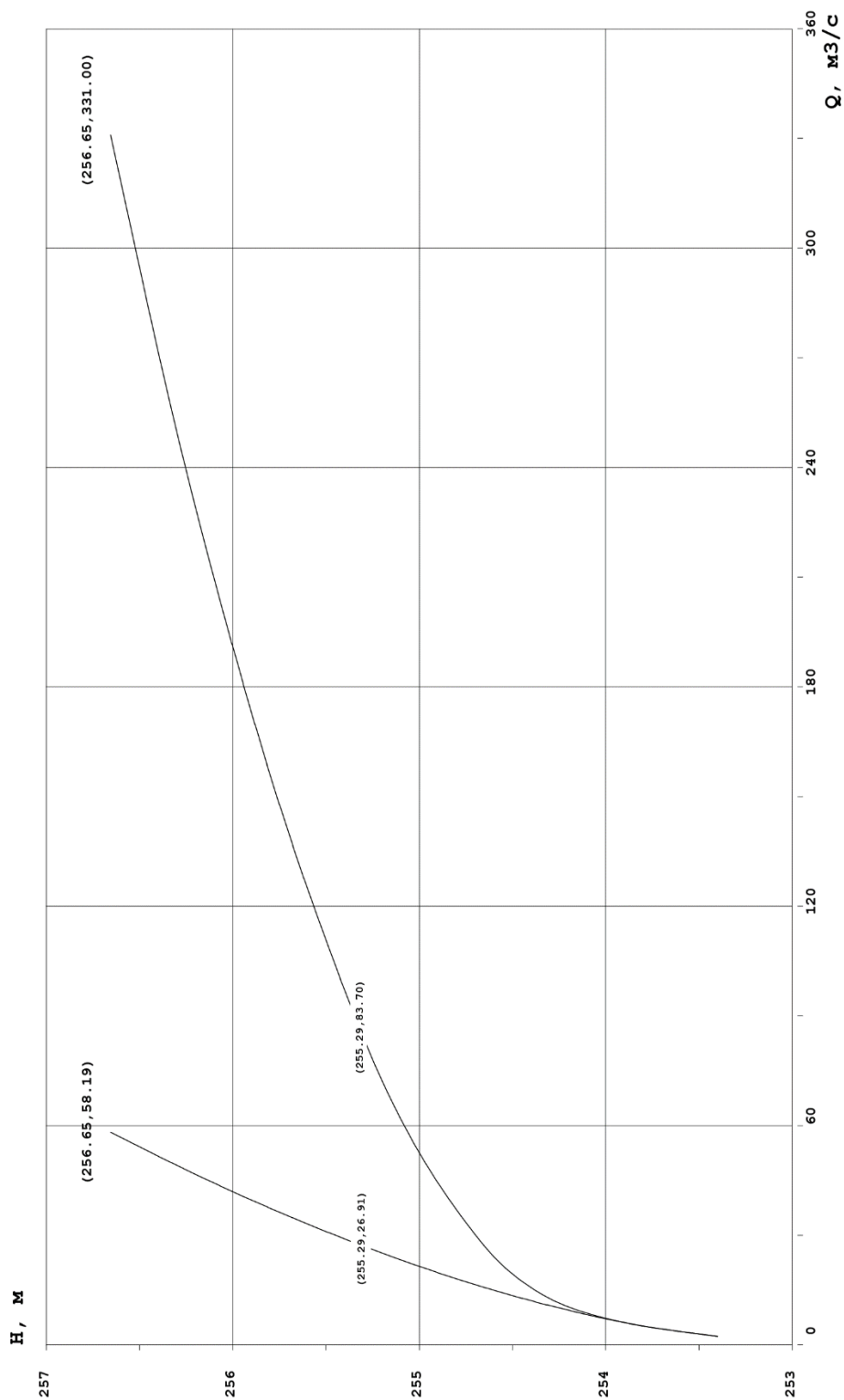


Рисунок 17 – Кривая зависимости $Q = f(H)$, построенная при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных полевых работ

Кривая зависимости русловой скорости потока от уровней воды в створе гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра», построенная при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных полевых работ представлена на рисунке 18.

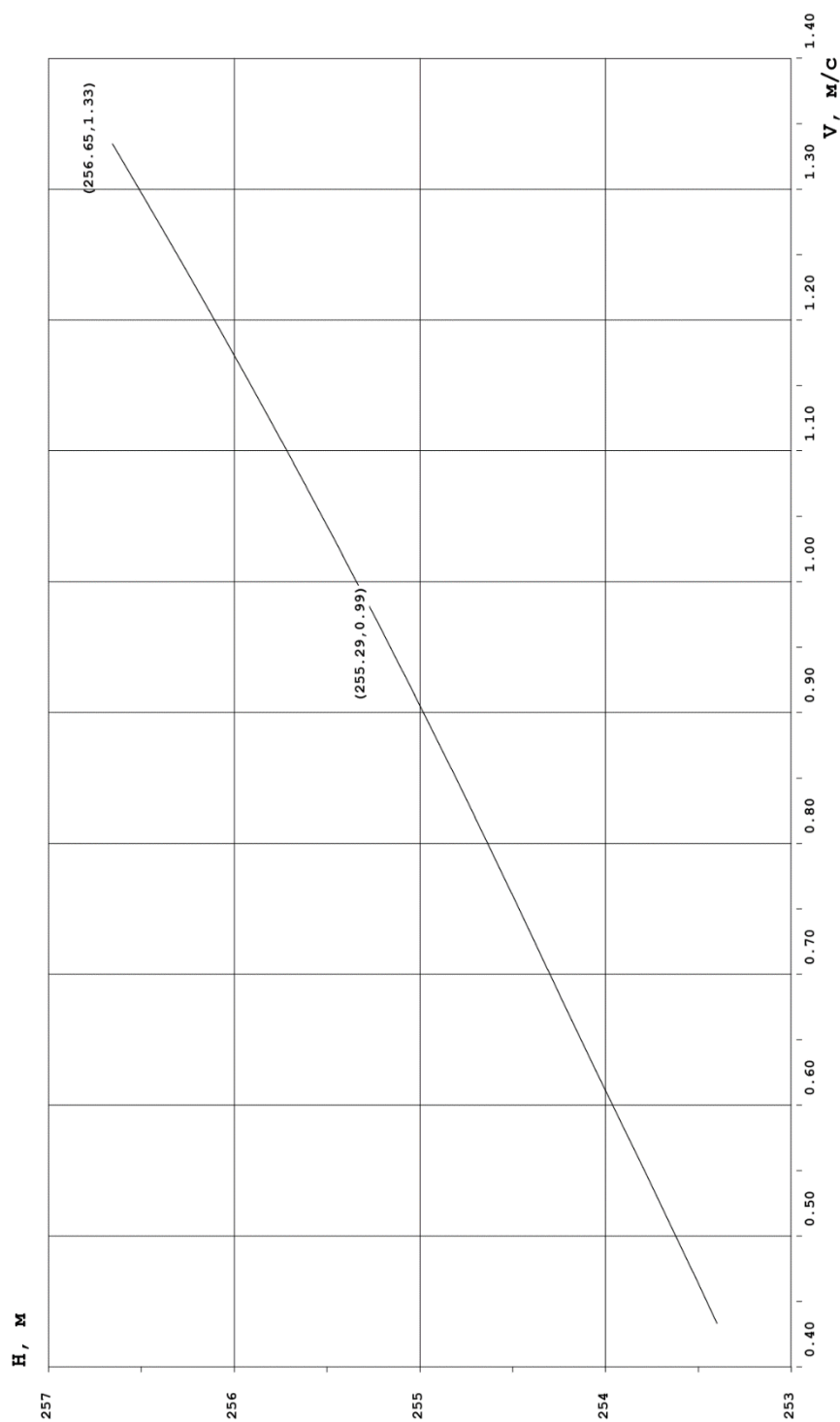


Рисунок 18 – Кривая зависимости $v = f(H)$, построенная при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных полевых работ

Кривая зависимости площади поперечного сечения потока от уровней воды в створе гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра», построенная при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных полевых работ представлена на рисунке 19.

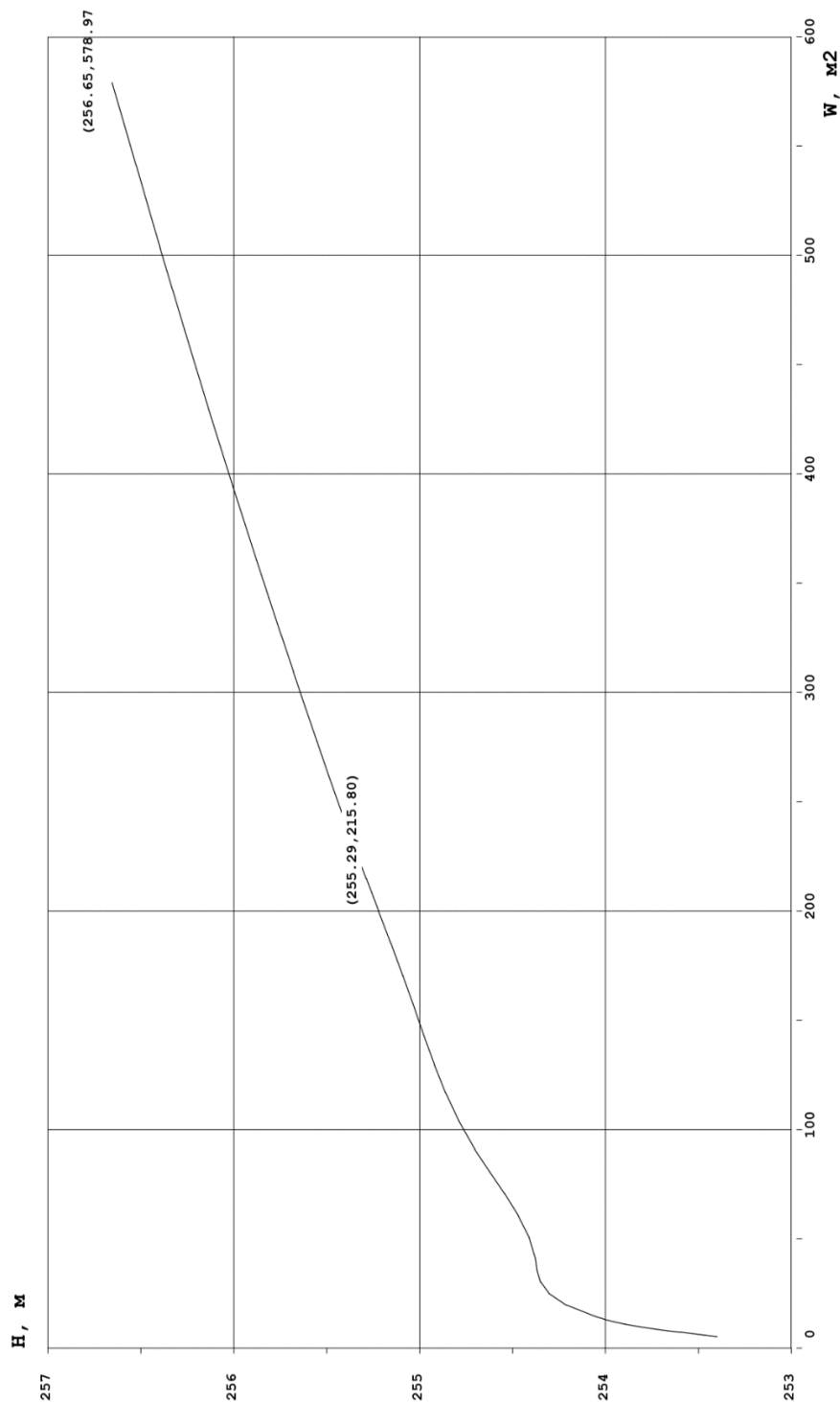


Рисунок 19 – Кривая зависимости $\omega = f(H)$, построенная при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных полевых работ

Морфометрический створ гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра», построенный при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных полевых работ и представлен на рисунке 20.

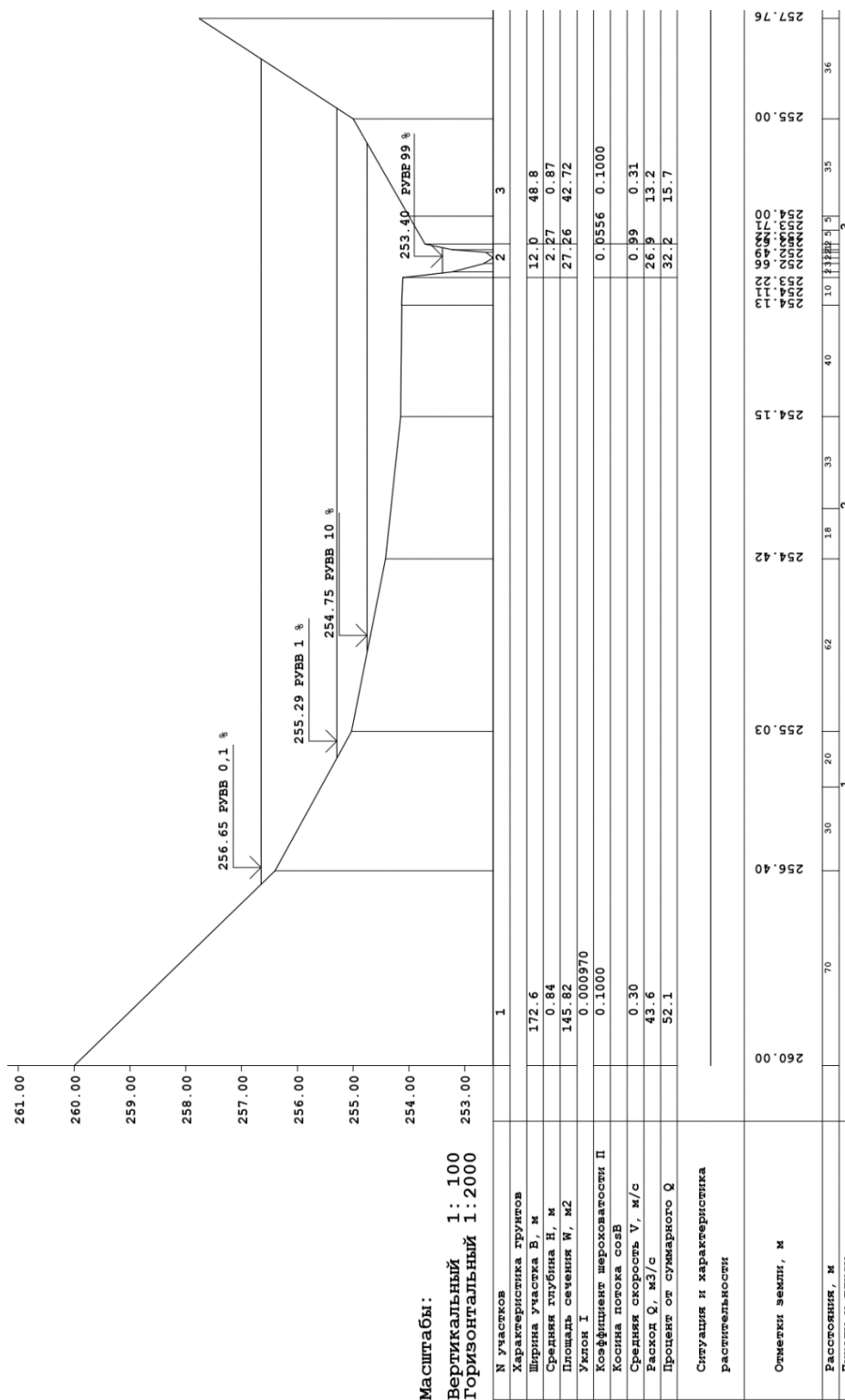


Рисунок 20 – Морфометрический створ, построенный при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных полевых работ при РУВВ 1 %

Высотные отметки высшего уровня воды различной вероятностью превышения, определенные по кривой зависимости расходов от уровней воды в створе гидрологического поста «река Черная – ж.д. станция Сагра», построенной при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных полевых работ, представлены в таблице 40.

Таблица 40 – Высотные отметки высшего уровня воды различной вероятностью превышения, определенные по кривой зависимости $Q = f(H)$, построенной при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных полевых работ

Характеристика стока	Обеспеченность P , %											
	0,01	0,1	1	3	5	10	25	50	75	90	95	99
Высший уровень H , м БС	256,65	255,91	255,29	255,04	254,91	254,75	254,51	254,27	253,98	253,73	253,61	253,4

Заключение

Выпускная квалификационная работа выполнена для реки Черная в створе гидрологического поста «ж.д. станция Сагра».

Длина реки Черная в расчётном створе 22,4 км, площадь бассейна 220 км². Средневзвешенный уклон реки 6,90 ‰.

Река Черная принадлежит к равнинному типу рек, для которых характерно смешанное питание с преобладанием снегового. В годовом ходе уровней выражены весеннее половодье, летне-осенняя межень, почти ежегодно нарушаемая дождевыми паводками, короткий осенне-зимний период с несколько повышенной водностью и зимняя межень, изредка прерываемая подъемами уровня во время оттепелей.

На гидрологическом посту река Черная - ж.д. станция Сагра наибольший в году максимальный расход воды наблюдается в период весеннего половодья.

В ходе работы был выполнен перечень заданий, связанный с расчетами гидрометеорологических характеристик реки Черная в поселке Сагра городского округа Верхняя Пышма.

Представленные гидрологические и метеорологические характеристики участка исследования:

- природные условия района, представленные в главе 2, а именно: физико-географическая характеристика района исследования, гидрометеорологическая изученность, климатическая характеристика, общая характеристика водного объекта и гидрологический режим;

- расчет максимальных расходов и высшие уровни воды на реке Черная в расчетном створе при наличии данных наблюдений, представлен в главе 2;

- расчетные максимальные уровни воды различной вероятности превышения на реке Черная в расчетном створе при отсутствии данных наблюдений с учетом рекомендаций СП 33-101-2003 и с учетом данных полевых гидрометеорологических работ представлен в главе 3.

На гидрологическом посту река Черная - ж.д. станция Сагра для высшего уровня воды гипотеза об однородности ряда не опровергается (ряды однородны), а для максимальных расходов воды гипотеза об однородности ряда не опровергается по критерию Стьюдента, но опровергается по критерию Фишера.

Согласно выполненному анализу для всех рассматриваемых рядов данных (максимальные расходы воды и высшего уровня воды) гипотеза об отсутствии значимого тренда не опровергается - тренд не значим.

Для гидрологического поста на реке Черная - ж.д. станция Сагра на основании выполненного анализа эмпирических данных произведен расчет ординат аналитических кривых обеспеченностей для максимальных расходов воды весеннего половодья и высшего уровня воды. В качестве аналитической кривой использована кривая обеспеченностей Крицкого-Менкеля.

На клетчатках вероятностей построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченности и приведены на рисунках 11, 12.

Высший уровень воды на реке Черная в расчетном створе «ж.д. станция Сагра» посчитан тремя способами:

- расчет максимальных уровней воды при наличии данных гидрометрических наблюдений ($H_{ном}$) с построением эмпирической и аналитической кривых;

- расчет высшие уровни воды ($H_{СП}$), определенные по кривым зависимости расходов от уровней воды с использованием данных СП 33-101-2003;

- расчет высшие уровни воды ($H_{поле}$), определенные по кривым зависимости расходов от уровней воды с использованием данных полевых работ.

Результаты выполненной работы представлено в таблице 41.

Таблица 41 – Результаты выполненной работы

Характеристика стока	Обеспеченность P , %											
	0,01	0,1	1	3	5	10	25	50	75	90	95	99
Расход воды Q , м ³ /с	331	174	83,7	55,8	45,3	33,1	20,0	11,8	7,1	4,6	3,64	2,30
Высший уровень по посту $H_{пост}$, м БС	255,60	255,45	255,29	255,18	255,14	255,05	254,91	254,74	254,61	254,47	254,40	254,25
Высший уровень по СП $H_{сп}$, м БС	256,62	255,87	255,26	255,01	254,88	254,71	254,47	254,22	253,91	253,67	253,55	253,36
Высший уровень $H_{поле}$, м БС	256,65	255,91	255,29	255,04	254,91	254,75	254,51	254,27	253,98	253,73	253,61	253,4

График сравнения результатов расчетов высшего уровня воды представлен на рисунке 21.

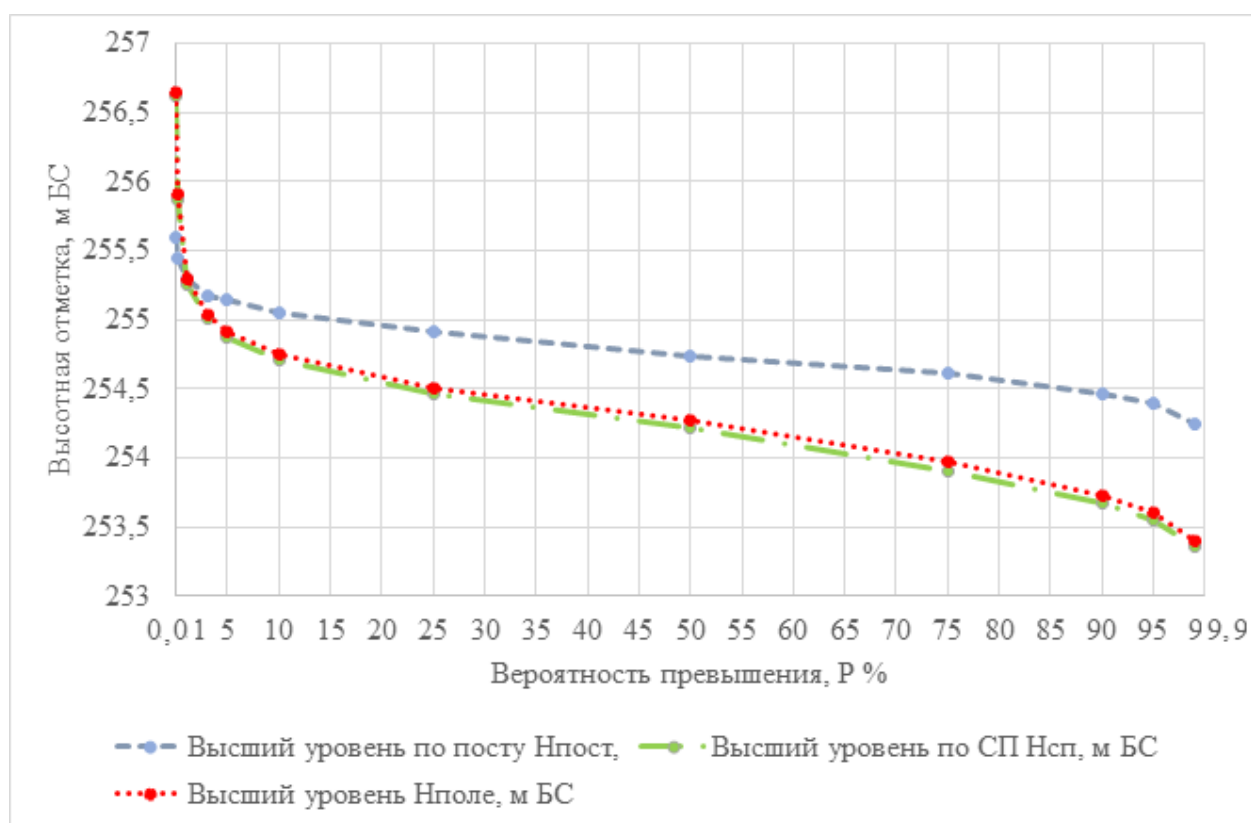


Рисунок 21 – График сравнения результатов расчетов высшего уровня воды

По результату выполненной работы и графику сравнения результатов расчетов высшего уровня воды видно, что уровень воды 1 % вероятности превышения примерно одинаковый у всех трех методик. Высшие уровни определенные по кривым зависимости, построенные при отсутствии режимных наблюдений, отличаются от трех до семи сантиметров между собой. Наиболее близкий к уровню, определенному по посту, является высший уровень воды, определенный по построенной кривой зависимости расходов от уровней воды при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных полевых гидрологических работ.

От 0,01 % до 1 % обеспеченности высший уровень воды, определенный по построенной кривой зависимости расходов от уровней воды при отсутствии режимных наблюдений с учетом данных полевых гидрологических работ, выше от 0,00 до 1,05 м высшего уровня воды, определенного с использованием данных гидрологического поста, а от 3 % до 99 % обеспеченности ниже от 0,14 до 0,85 м.

По результатам проделанной работы видно, что определять высший уровень воды по построенной кривой зависимости расходов от уровней воды при отсутствии режимных наблюдений лучше для вероятности превышения 1 % и с учетом данных полевых гидрологических работ.

Использованные документы и материалы

1. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Госстрой России, ГУП ЦПП, М., 2020 г.
2. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Госстрой России, ФГУП ЦПП, М., 2004 г.
3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик ГГИ Гидрометеиздат Л., 1984 г.
4. Научно прикладной справочник Климат России, ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦ», 2018 г.

Приложение А
Космоснимок исследуемого участка долины реки Черная

