



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

Кафедра Гидрологии суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(дипломный проект)

На тему
**Особенности формирования
речного стока на водосборах
западного склона Валдайской
возвышенности**

Исполнитель Поварова Мария Андреевна

Руководитель кандидат географических наук, ст. преподаватель

Малышева Наталья Геннадьевна

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой



(подпись)

к. г. н. Сикан Александр Владимирович

20.11.2017 2017 г.

Санкт-Петербург
2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Физико-географическая и климатическая характеристика западного склона Валдайской возвышенности.....	6
1.1. Рельеф западного склона Валдайской возвышенности. Выраженные морфогенетические типы рельефа и связанные с ним особенности ландшафтов.....	6
1.2. Общие сведения о геологической истории образования возвышенности. Морфологическое районирование бассейна реки Поломети.....	10
1.3. Климат Валдая и основные тенденции временного тренда его основных характеристик.....	13
2. Анализ гидрологических данных.....	18
2.1. Гидрологическая изученность.....	18
2.2. Оценка значимости линейных трендов в рядах годового, максимального и минимального стока рек Валдайской возвышенности.....	26
2.2.1. Годовой сток.....	27
2.2.2. Максимальные расходы и слои половодья.....	29
2.2.3. Минимальный летне-осенний сток.....	30
3. Расчёт стока рек Валдайской возвышенности.....	32
3.1. Годовой сток.....	33
3.1.1. Проверка рядов годового стока на однородность.....	33
3.1.2. Оценка основных статистических характеристик и их погрешностей.....	34
3.1.3. Расчёт среднегодовых расходов воды расчётной обеспеченности.....	40
3.2. Максимальные расходы и слои весеннего половодья.....	41
3.2.1. Проверка рядов максимальных расходов и слоёв весеннего половодья на однородность.....	42
3.2.2. Оценка основных статистических характеристик и их погрешностей.....	43
3.2.3. Расчёт максимальных расходов воды и слоёв весеннего половодья расчётной обеспеченности.....	49
3.3. Минимальный летне-осенний сток.....	51
3.3.1. Проверка минимальных летне-осенних расходов воды на однородность.....	51
3.3.2. Оценка основных статистических характеристик и их погрешностей.....	52
3.3.3. Расчёт минимальных летне-осенних расходов воды расчёт-	53

	ной обеспеченности.....	
4	Оценка влияния факторов подстилающей поверхности на сток рек Валдайской возвышенности.....	56
4.1	Годовой сток.....	56
4.2	Максимальные расходы и слои половодья.....	59
4.3	Минимальный летне-осенний сток.....	62
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	67
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	68
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	70
	Приложение А Эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей среднегодового стока рек Валдайской возвышенности.....	69
	Приложение Б Эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей максимальных расходов и слоёв весеннего половодья рек Валдайской возвышенности.....	74
	Приложение В – Эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей минимальных 30-суточных и минимальных суточных летне-осенних расходов рек Валдайской возвышенности.....	86

ВВЕДЕНИЕ

Цель бакалаврской работы – оценка влияния факторов подстилающей поверхности на среднегодовой, максимальный и минимальный речной сток с малых водосборов с разными морфогенетическими типами рельефа, сложенными в результате последнего оледенения.

Исследовались водосборы располагающегося на вершине и склонах Валдайской возвышенности, где проходят водоразделы бассейнов Балтийского, Каспийского и Черного морей. Здесь расположены верховья бассейнов Волги, Западной Двины и Волхова. На этой территории расположены зоны питания водоносных горизонтов и артезианских бассейнов, питающих эти реки на значительном протяжении и являющихся источником водоснабжения множества городов и населенных пунктов. Водный баланс этой территории в значительной мере определяет гидрологический режим названных рек в верхнем течении и их многочисленных притоков.

Для решения поставленной задачи были использованы данные по 10 постам бассейна р.Поломети и по 2 бассейнам р. Явони и р.Холовы. Выборка всех характеристик произведена по данным электронной записи таблиц ежедневных расходов воды из материалов наблюдений ВФ «ГГИ» и гидрологического ежегодника СЗ УГМС.

Для выборок гидрологических характеристик на основе записей таблиц ежегодника использовалась специальная программа FormRowes. Помимо выборки отдельных стандартных характеристик программа позволяет получать целые комплексы ежегодных характеристик паводков и минимального стока.

Работа выполнена на основе базы многолетних данных ВФ «ГГИ» с дополнением ее путем обработки гидрометрических материалов последнего десятилетия. Статистическая обработка рядов гидрологических характеристик производилась с применением программы HydroStatCalc,

разработанной в «ГГИ» (сертификат государственной регистрации № РОСС RU.СП04.Н00145).

1. Физико-географическая и климатическая характеристика северо-западного склона Валдайской возвышенности

1.1 Рельеф западного склона Валдайской возвышенности. Выраженные морфогенетические типы рельефа и связанные с ним особенности ландшафтов

Физико-географические свойства бассейнов, оказывающие влияние на характеристики стока чрезвычайно многообразны. Однако далеко не все из них могут быть учтены при выполнении расчетов. Так геологическое строение и рельеф бассейнов имеют определяющее значение в формировании минимального стока рек. Ни одна из многочисленных попыток отображения и учета этих факторов в расчетах минимального стока не имела решающего успеха. До настоящего времени при расчете минимального стока с неизученных бассейнов учитывается только площадь водосбора.

В инженерной гидрологии физико-географические факторы формирования стока отождествлены с группой справочных гидрографических характеристик рек и их бассейнов. Состав их очень ограничен и определился уже на ранних этапах развития гидрологии. Главной из них является площадь бассейна. Главенствующая роль этой характеристики не подлежит сомнению. Эффективность использования других (кроме средней высоты водосбора) подлежит сомнению.

С другой стороны, очевидно, что любые формальные гидрографические характеристики, получаемые на основе картометрии, не способны отобразить многие важнейшие особенности речного бассейна, существенным образом влияющие на его расчетные характеристики стока. К ним относятся, прежде всего, общие условия рельефа и геологического строе-

ния бассейна. Ясно, что даже при наличии самых полных данных о геологической структуре расчетного бассейна, принципиально не возможно ввести их учет в методику гидрологических расчетов. Вся совокупность этих данных должна быть заменена некоторым интегральным показателем.

Морфогенетический тип рельефа, предполагающий определенный комплекс процессов образования современных форм, включает, тем самым, и весьма определенные сведения о петрографии верхнего слоя земной коры. В условиях, когда морфология исследуемого района представлена множеством различных генетических типов рельефа, сам тип рельефа становится комплексным показателем всех основных характеристик ландшафта. В условиях Валдайской возвышенности учет преобладающего типа рельефа может быть положен в качестве отправного принципа исследований. Сохраняют, однако, свое значение и некоторые, более общие принципы. Характеристики стока рек подчинены не только площади бассейна, но и его положению в гидрографической системе. Так минимальный сток малой реки, непосредственно впадающей в существенно более крупную реку, заведомо превосходит региональные нормы минимального стока.

Влияние аazonальных особенностей речных бассейнов на режим и характеристики стока в наибольшей мере проявляется в районах, характеризующихся разнообразием ландшафтов. Таким районом является и Валдайская возвышенность, сформировавшаяся в периоды оледенений. Особенно разнообразны физико-географические условия водосборов ее западного проксимального склона. Здесь ярко представлены все основные генетические типы рельефа, формирующиеся под действием ледников в периоды их наступлений и отступлений. Ландшафт водосборов, соответствующий некоторым из этих типов рельефа предопределяет существенную аazonальность характеристик стока. В то же время не существует ка-

ких-либо рекомендаций по учету этих факторов в гидрологических расчетах.

К числу типов рельефа Валдайской возвышенности, несомненно оказывающих влияние на характеристики стока, следует отнести прежде всего: холмы конечной морены, камово-озовый рельеф, глубокие реликтовые долины третичного периода, озерно-ледниковые равнины и зандровые поля. Все названные типы рельефа ярко представлены на водосборе реки Полометь, являющейся одним из главных объектов стоковых исследований ВФ ГГИ на протяжении почти всего периода существования филиала. При этом гидрологические посты, действовавшие на притоках Поломети, оказались расположены таким образом, что каждый из них отображает особенности режима стока, формирующиеся под влиянием ландшафта одного из названных типов рельефа.

Весь водосбор самого крупного из притоков верхнего течения Поломети – реки Соснинки расположен на склоне крупного холма гряды конечной морены. Водосбор сложен валунным суглинком, характеризуется высокой густотой речной сети и большими уклонами водотоков. Сток реки не зарегулирован озерами.

Изученный бассейн р. Лонница – д. Мосолино лежит на склоне возвышенности с признаками камово-озового рельефа, который на фоне макроформ склона не имеет здесь доминирующего значения.

Бассейн изученного притока Поломети – реки Соминки представляет собой почти плоскую равнину, образовавшуюся при заполнении наносами плотинного озера, созданного подпором вод стеной ледника в период его отступления. Лишь у водораздела из напластования наносов выступают верхушки занесенных холмов. На карте бассейн резко выделяется слабым развитием речной сети. Река практически не имеет притоков и характеризуется уклоном, наименьшим из отмеченных в бассейне верхней и средней Поломети. По центру бассейна расположено проточное реликтовое озеро площадью 1.4 км².

Река Олешенка является малым притоком реки Гремячей, впадающей в Полометь выше села Яжелбицы. Водосбор Олешенки отличается наиболее ярко выраженными формами камово-озового рельефа. Беспорядочно расположенные холмы разных размеров и озовые гряды создают непреодолимые препятствия для стока поверхностных вод и развития речной сети. Самый крупный приток в бассейне Олешенки теряется в небольшом озере, не достигая русла главной реки.

Сток самой реки Полометь освещен многолетними наблюдениями целого ряда постов, контролирующих бассейн по мере нарастания его площади от 136 до 2180 км². Самый верхний из них у х. Полометь расположен вблизи истока реки из озера Русского с площадью акватории 2.4 км² и водосбором в 125 км². Сток двух главных притоков озера также в свою очередь зарегулирован озерами. Поэтому режиму стока по данным этого поста свойственны черты весьма глубокого регулирования. Контролируемый этим постом бассейн расположен на вершине возвышенности. Его рельеф и другие элементы ландшафта (включая повышенную озерность) вполне типичны для верхней части вершины Валдайской возвышенности в целом.

Пост у д. Дворец освещает режим стока с водосбора в 432 км² еще целиком расположенного в верхней части возвышенности. Ниже этого поста река вытекает на крутой западный склон возвышенности, где продольный профиль русла имеет резкий перелом в форме крутой ступени. В целом на участке в 16 км от поста д. Дворец до поста с. Яжелбицы падение отметок профиля составляет 85 м. На этом участке русло реки лежит в глубокой реликтовой долине, сохранившейся со времени третичного периода. Местами русло дренирует здесь водоносную толщу пород карбона. Крутые склоны долины пересечены густой сетью водотоков с уклонами, необычайно высокими для Валдайской возвышенности. Ниже с. Яжелбицы река Полометь вступает на равнину. В пределах равнинной части бас-

сейна расположены посты: д. Соменка (776 км²), д. Ермошкино (1180 км²) и с. Лычково (2180 км²).

Систематическое разностороннее сопоставление характеристик стока по многолетним данным наблюдений всех названных постов и является главным направлением выполняемых исследований. Однако для решения поставленной задачи этих данных далеко не достаточно. К использованию в работе привлечены данные постов действовавших на территории Валдайской возвышенности, примыкающие к бассейну Поломети с севера и юга меньшие по величине изученные бассейны рек Холovy и Явони.

1.2 Общие сведения о геологической истории образования возвышенности. Морфологическое районирование бассейна реки Полометь

Физико-географические условия, оказывающие влияние на процессы формирования стока, представлены в изученной части бассейна р. Полометь в большом разнообразии. Бассейн расположен на западном (проксимальном) склоне Валдайской возвышенности и его рельеф складывался в ледниковые периоды под действием множества разнообразных процессов. В главных чертах морфо-скульптура бассейна определилась к окончанию последнего оледенения в устойчивых формах. Действие денудационных и водно-эрозионных процессов в последующий период существенного влияния на рельеф бассейна уже не оказали.

Особенности рельефа различного происхождения проявляются в бассейне Поломети столь ярко, что определяют собой формирование всего комплекса ландшафтно-гидрологических условий в разных его частях. Генезис форм рельефа обычно определяет и состав покровных отложений, существенно влияющих на процессы формирования стока. Поэтому на рисунке 1.1 можно рассмотреть схему распространения морфогенетических типов рельефа на территории бассейна реки Поломети, которая дает эффективный подход к общему описанию физико-

географических условий формирования стока на его структурных частях. На схеме изображены контуры территорий с преобладающим распространением форм рельефа того или иного происхождения.

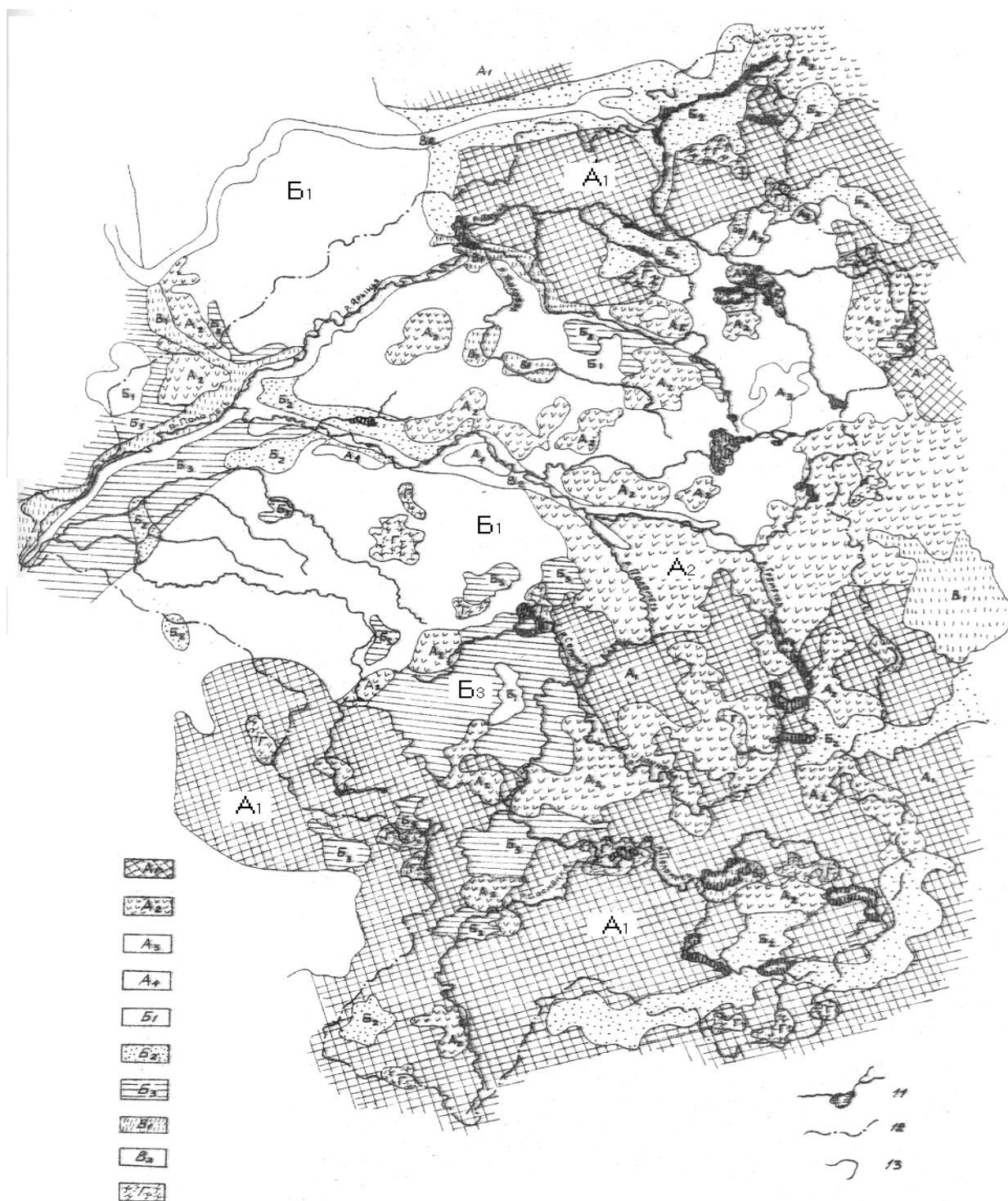


Рисунок 1.1 - Схема распространения морфогенетических типов рельефа на территории бассейна реки Поломети

В рельефе контуров, обозначенных индексом A_1 доминируют крупные холмы конечной морены, сложенные валунным суглинком. Водотоки, стекающие по склонам таких холмов, имеют повышенные уклоны при небольшой глубине эрозионного вреза. Их водосборы также характеризуются значительными уклонами склонов и высокой густотой сети тальвегов. Озерность на склонах холмов представлена отдельными мелкими проточными озерами, практически не оказывающими регулирующего воздействия на сток рек. Последнее замечание относится к отдельным холмам конечной морены. Однако, на схеме морфологического районирования территории контурами A_1 обозначены и участки, где доминирующее значение в рельефе имеет уклон склона самой Валдайской возвышенности. На таких участках ледниковые озера разного размера, формы и происхождения представлены в большом числе.

В пределах контуров с обозначением A_2 преобладают формы камово-озового рельефа. Камы – холмы разнообразных размеров и высоты образовались в заключительный период последнего Валдайского оледенения, при отступлении ледника, на месте таяния оторвавшихся от него мертвых масс льда. Озы – длинные гряды, сформировавшиеся аналогичным образом из аллювиальных отложений потоков, ранее протекавших по поверхности ледника. Камово-озовый рельеф представляет собой беспорядочное нагромождение множества мелких холмов и гряд, создающих препятствия стеканию поверхностных вод и развитию речной сети. Значительные по площади участки территории здесь могут быть бессточными для поверхностных вод, образующих в этом случае озера и мелкие контуры низинных болот. Сами камы и озы образованы относительно легкими отложениями, проницаемыми для воды. Этим территориям свойственна повышенная залесенность т. к. пересеченный рельеф затрудняет их сельскохозяйственное использование. Особенности камово-озового рельефа проявляются слабее в случаях его появления на фоне крутых склонов возвышенности.

Контурами Б₃ обозначены пространства озерно-ледниковых равнин, созданных при заполнении наносами плотинных озер, образовавшихся на проксимальном склоне в результате подпора вод отступающим ледником. Таким равнинам свойственны малые уклоны поверхности и протекающих по ним водотоков. Здесь наблюдается и аномально малая густота речной сети. Лишь местами и, главным образом на окраинах равнин, из под слоя наносов проступают вершины наиболее высоких камовых холмов. Равнины этого типа сложены относительно легкими грунтами, легко проницаемыми для воды.

Важную роль в пределах бассейна Поломети играют также формы рельефа реликтовой речной долины третичного периода, унаследованной Полометью на участке среднего и нижнего течения – контур В₁. Глубина этой долины достигает 85 м. Ее склоны пересечены густой сетью водотоков с наибольшими из отмеченных в бассейне Поломети уклонами.

Нижняя часть бассейна Поломети представляет собой моренную равнину Б₁. У верхней границы бассейна Поломети, прилегающей к южному склону Валдайской возвышенности отмечается небольшой участок заандровой равнины, обозначенной контуром Б₂. Контуры с индексом Г обозначают участки торфяных болот. Прочие генетические типы рельефа, встречающиеся на схеме, имеют малое распространение и существенного влияния на гидрологические процессы не оказывают.

1.3 Климат Валдая и основные тенденции временного тренда его основных характеристик

В настоящее время климатологи отмечают увеличение приземной температуры воздуха на нашей планете. По данным последних исследований ГГИ повышение температуры воздуха на Северо-Западе ЕТС за последние 20 лет составило 2⁰С. Также за последние десятилетия прошлого века на 10-20% возросло количество осадков. Однако каждой местности

свойственны индивидуальные особенности климата, которые не обязательно совпадают с глобальной тенденцией. Рассмотрим основные климатические характеристики района Валдая и их изменение по данным наблюдений метеостанции «Валдай».

На рисунке 1.2 представлены данные о многолетнем ходе годовой температуры воздуха с линейным трендом (1939-2016 гг.)

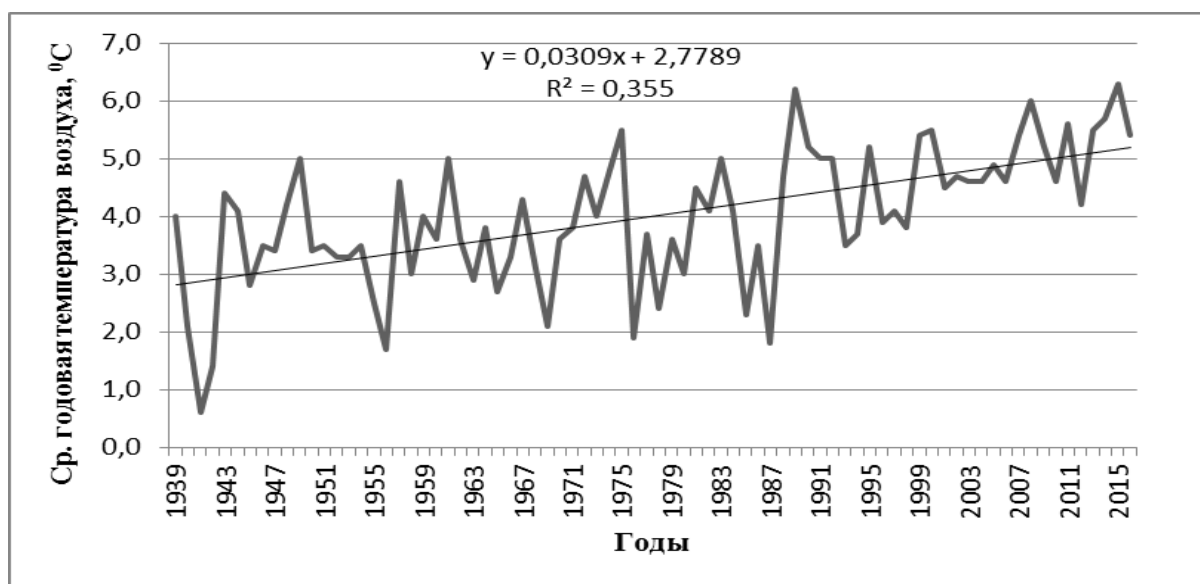


Рисунок 1.2 -Многолетний ход годовой температуры воздуха с линейным трендом (1939-2016 гг.)

Среднегодовая температура воздуха за период 1939-2016 гг. увеличилась на 1.5°C . Увеличение связано главным образом с повышением температуры января и марта, а также февраля и апреля, в то время как с мая по июль температура воздуха имеет лишь слабую положительную тенденцию, август стал намного холоднее, осенью и в декабре средняя температура воздуха устойчива. Аналогичные изменения наблюдаются в ходе максимальной и минимальной температуры.

На рисунке 1.3 представлены данные о годовых суммах осадков за многолетний период. В данные введены поправки на смачивание и приборную неоднородность. Наблюдается увеличение количества осадков.

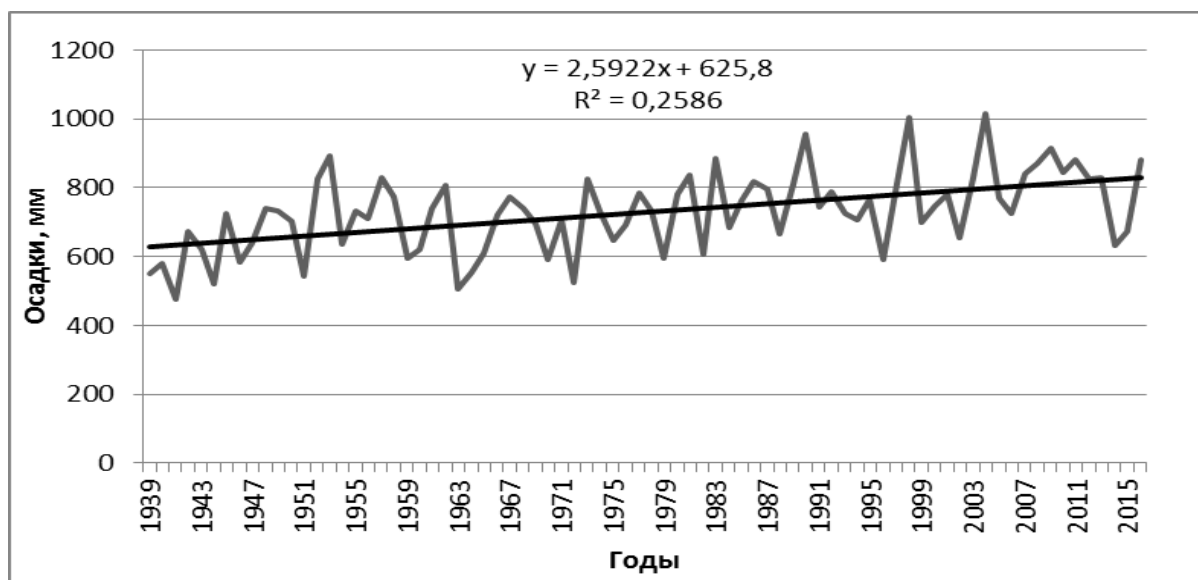


Рисунок 1.3 – Многолетний ход годовых осадков с линейным трендом (1939 – 2016 гг.)

После построения хронологических графиков была проведена оценка значимости линейных трендов по соотношению коэффициента корреляции R и его среднеквадратической погрешности.

$$\sigma_R = \frac{1 - R^2}{\sqrt{n - 1}} \quad (1.1)$$

где R – коэффициент корреляции, n – число членов ряда. При соотношении $R/\sigma_R \geq 2$ тренд признавался значимым.

В таблице 1.1 приведены результаты оценки значимости трендов среднегодовой температуры воздуха и суммарных за год осадков по данным метеостанции Валдай за период 1939-2016 годы.

Таблица 1.1 – Оценка значимости линейных трендов среднегодовой температуры воздуха и осадков по метеостанции «Валдай»

Пункт	Среднегодовая температура воздуха, °C			Осадки, мм		
	R	σR	R/ σR	R	σR	R/ σR
Метеостанция "Валдай"	0,6	0,07	>2	0,51	0,08	>2

Увеличение количества осадков подтверждается и изменением количества облачности. По сравнению с данными до 1970 г. количество пасмурных дней увеличилось на 6% за счёт уменьшения дней с облачностью 3-7 баллов. На 2% увеличилось число ясных дней (0-2 балла). Наиболее пасмурными месяцами являются январь и февраль. Наибольшее число ясных дней наблюдается в марте. В таблице 1.2 приведены данные о количестве облачных дней по данным метеостанции Валдай.

Таблица 1.2 – Количество дней с облачностью в баллах по метеостанции «Валдай»

Баллы	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июнь	Июль	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек	Год
0-2	5	6	14	10	9	10	9	9	10	9	10	9	9
3-7	11	18	22	30	37	35	37	37	35	37	35	37	31
8-10	84	76	65	60	53	55	54	54	55	54	55	54	60

За последние 20 лет произошло некоторое уменьшение средней скорости ветра, что может быть связано с несколькими причинами: измерение скорости ветра различными приборами и увеличение защищённости метеоплощадки. Повторяемость ветров различных направлений устойчива за весь рассматриваемый период. Преобладающими являются ветра ЮЗ и З направлений, они же и самые сильные. Чаще всего такие ветра отмеча-

ются в зимние месяцы. Наиболее редкие и слабые – ветра северо-восточных румбов.

Снижение скорости ветра в зимнее время привело к уменьшению числа дней с метелями. Если до 1970 г. в среднем отмечался 41 день с метелью, то за последние 5 лет только 28. Таким образом, можно констатировать, что изменения средних значений метеоэлементов в последние 20 лет в районе Валдая соответствуют глобальным климатическим тенденциям.

2. Анализ гидрологических данных

2.1 Гидрологическая изученность

Бассейн реки Поломети приурочен к северо-западному склону Валдайской возвышенности. Река Полометь берёт начало из озера Русское, имеющего два главных притока: реку Орловку ($F = 52.7 \text{ км}^2$) и р. Баранова ($F = 55.2 \text{ км}^2$) и является правобережным притоком Полы, впадающей в озеро Ильмень. Длина Поломети составляет около 150 км, площадь водосбора – 2770 км^2 . При этом суммарная площадь озёр в бассейне озера Русского составляет 5.8 км^2 . Этим обстоятельством определяется заметное регулирование стока реки Полометь в ее верхнем течении. Рельеф этой части бассейна определяется его положением от вершины Валдайской возвышенности вниз по западному склону. Особое значение в рельефе бассейна имеют котловины, занятые при отступлении ледника мертвыми массами льда, сохраненные этим от заполнения осадочным материалом, и представленные, в современном состоянии, котловинами озёр. Ниже по склону встречаются также озерные котловины, образовавшиеся в результате ледникового выпахивания.

Рельеф бассейна р. Поломети, предопределяет пространственное положение путей стекания вод и границы водосборных поверхностей всех элементов речной сети, т. е. гидрографическую структуру бассейна. На рисунке 2.1 изображена долина р. Полометь, а на рисунке 2.2 схематизированное изображение речной сети бассейна р. Полометь до створа гидрологического поста ВФ ГГИ у с. Лычково. Подробность отображения элементов речной сети на приведенной схеме соответствует карте М 1: 25 000. Схема построена на определении порядка элементов и подсистем структуры бассейна. Элементы речной сети изображены на схеме услов-

ными обозначениями, которым соответствует порядковый номер таблицы 2.1.



Рисунок 2.1 – Долина р. Полометь



Рисунок 2.2 - Изученная часть бассейна р. Полометь до с. Лычково

Таблица 2.1 – Основные гидрографические характеристики исследуемых рек в створах гидрологических постов

№ п/п	Название водного объекта и пункта наблюдений	Код пункта наблюдений	Расстояние (км.) от		Средний уклон реки, ‰	Площадь водосбора реки, (км ²)	Период действия число, месяц, год		Озерность, %	Заболоченность, %	Лесистость, %	Средняя высота водосбора, м
			истока	устья			открыт	закрит				
1	р.Полометь - х.Полометь	72430	3,0	147	1,62	139	01.04.1956	31.12.1967	6	3	80	218
2	р.Полометь - д.Дворец	72432	36	114	1,20	432	17.10.1936	Действ.	3	4	81	207
3	р.Полометь - с.Яжелбицы	72433	52	98	2,11	631	01.08.1951	Действ.	3	3	79	200
4	р.Полометь - д.Соменка	72436	74	76	0,18	776	01.04.1959	30.11.1991	3	3	58	190
5	р.Полометь - д.Ермошкино	72434	97	52	0,15	1180	10.09.1952	Действ.	3	3	54	175
6	р.Полометь - с.Лычково	72435	112	38	1,36	2180	01.01.1960	Действ.	1	7	68	140
7	р.Соснинка – д.Киты	72440	22	1,0	4,80	101	01.04.1934	31.12.1968	<1	2	84	222
8	р.Лонница - д.Мосолино	72441	17	0,8	3,96	48,3	01.04.1934	Действ.	<1	7	88	220
9	р.Соминка - д.Дворец	72442	12	1,15	2,27	32,3	13.07.1935 08.01.2011	31.12.1968 Действ.	4	7	84	177
10	р.Олешенка - д.Миронег	72444	5,3	-	0,63	31,9	01.04.1958	31.05.1968	3	3	64	200
11	р.Явонь - д.Малые Луки	72427	67	20	2,59	867	01.07.1929	Действ.	5	1	70	205
12	р.Холова - д.Горбуново	72409	92	34	1,53	1500	1951	1984	<1	1	75	93

Сток бассейна реки Полометь изучен наблюдениями 6 постов, расположенных последовательно по ее длине от верховьев до участка нижнего течения, и 4 постов на ее притоках с площадями водосбора от 31,9 до 101 км². Замечательно, что некоторые из этих изученных бассейнов представляют собой территории преимущественного распространения какого-либо одного из морфо-генетических типов рельефа. Данные наблюдений этих постов отображают характеристики стока, формирующегося в условиях однотипного рельефа, а более детальный анализ этих данных раскрывает специфику механизмов формирования стока в условиях, предопределенных генезисом рельефа каждого типа. Рассмотрим эти изученные части бассейна Поломети последовательно.

Бассейн реки Сонинки

Река Соснинка является первым значительным притоком р. Полометь в верхней части ее бассейна. Площадь водосбора Соснинки заметно уступает площади водосбора самой Поломети до ее впадения (167 км²). Меженный сток верхней Поломети зарегулирован озером Русским и другими озерами, расположенными выше, и поэтому он в еще большей мере превосходит меженный сток Соснинки. По этим причинам, а также ввиду крайне слабой заселенности бассейна, река Соснинка в гидрографии рассматривается притоком Поломети, но не в качестве ее истока. Длины этих двух рек соответственно Соснинки 27 км. и Поломети 30 км. (до впадения реки Соснинки) различаются в меньшей мере. В паводочные периоды расходы стока Соснинки, ввиду наиболее благоприятных условий его формирования (высокие уклоны и густота речной сети, а также практическое отсутствие озерного регулирования) могут существенно превосходить расходы стока главной реки. Поэтому, в специальном гидрологическом смысле с позиций изучения и расчетов максимального стока река

Соснинка может рассматриваться в качестве истока Поломети. Верхняя часть реки Соснинки обозначена на карте под иным названием – р. Кудра. В данной работе этот топонимический нюанс игнорируется.

Сток реки изучен постом р. Соснинка – д. Киты, расположенном в 1 км от устья и действовавшим в периоды с 1934 по 1939 г. и с 1948 по 1968 г. В 2001-2003 гг. пост восстановлен на прежнем месте с использованием старых постовых устройств, включая колодец самописца уровня. Пост оборудован уровнемером УПЦ с электронной записью данных и дистанционной гидрометрической установкой ГР-70.

Бассейн реки Лонницы

Следующий изученный приток – река Лонница впадает в Полометь справа выше поста у д. Дворец. Бассейн Лонницы расположен на склоне Валдайской возвышенности, рельеф которого осложнен камовыми холмами. Падение отметок поверхности в пределах этого бассейна составляет 40 – 45 м, а с учетом наивысшей отметки наиболее высокого холма превосходит 60 м. Камовые холмы на фоне значительного общего уклона склона возвышенности не играют определяющей роли в формировании гидрографической структуры бассейна.

Гидрометрический пост р. Лонница – д. Мосолино расположен в 0,8 км от устья реки, и площадь изученной части бассейна практически не отличается от его общей площади 45,4 км². Пост действует с 1936 года до настоящего времени с перерывом в 1940 -1947 годах. В 2013 году оборудован электронным самописцем фирмы «ОТТ».

Бассейн реки Соминки

Река Соминка впадает в Полометь в 1 км выше поста р. Полометь – д. Дворец в границах поселка. Ее бассейн площадью 32,3 км² представля-

ет собой озерно-ледниковую равнину над которой выступают вершины отдельных камовых холмов незначительной высоты, не оказывающие существенного влияния на формирование гидрографической структуры бассейна и гидрологические процессы. Гидрографическая сеть бассейна развита аномально слабо. В центре бассейна сохранилось не заполненное наносами понижение, являющееся в современной гидрографической структуре котловиной озера. Площадь озера 1.39 км² Сток реки изучен наблюдениями поста р. Соминка – д. Дворец, расположенного вблизи устья реки. Пост действовал в период с 1935 г. по 1968 год. В настоящее время пост заново открыт на прежнем месте и в 2013 году оборудован электронным самописцем уровня воды фирмы «ОТТ». Несмотря на аномально низкие уклоны водотоков и склонов водосбора, аномально малую густоту русловой сети и существенное озерное регулирование паводкового стока, обеспеченные значения модулей максимального весеннего и ливневого стока этой реки не уступают аналогичным характеристикам максимального стока реки Соснинки. Это обстоятельство заставляет предполагать, что геологические условия озерно-ледниковой равнины порождают действие весьма необычных механизмов формирования максимального стока, включающих быстрое перемещение вод в грунтовых горизонтах.

Бассейн реки Гремячей с притоком р. Олешенка

В 2 км выше поста у с. Яжелбицы в Полометь впадает справа один из ее главных притоков – р. Гремячая. Ее исток из озера Мал. Выскодно расположен на вершине Валдайской возвышенности. Бассейн Гремячей имеет площадь 129 км², 65 % которой занято лесом, а 26 % заболоченными участками. Бассейн расположен на крутом западном склоне возвышенности. При длине реки 29.5 км общее падение высотных отметок от истока до устья составляет около 100 м. Столь значительный уклон придает потоку характер реки полугорного типа.

Сама река Гремячая в гидрологическом отношении остается не изученной. Однако на одном из ее притоков – реке Олешенке действовал гидрологический пост ВФ ГГИ в период с 1958 по 1968 год. В 2013 году восстановлен и оборудован электронным самописцем фирмы «ОТТ». Бассейн реки Олешенки, площадью 31,9 км² расположен на участке, где формы камово-озового рельефа выражены наиболее ярко. При значительных уклонах склонов и водотоков бассейн характеризуется относительно малой густотой речной сети. Среди беспорядочно расположенных холмов и гряд поверхностные воды с трудом находят пути стока. Так самый крупный приток Олешенки – ручей Вязовка с площадью водосбора 9,8 км², имеющий постоянный сток, не дотекает до впадения в русло реки, но пропадает, образуя бессточное озеро.

Бассейны рек Явони и Холовы

Река Явонь является правым притоком р. Полы, впадающей в оз. Ильмень. Ее исток из озера Велье в 1944 году перегорожен глухой земляной плотиной при создании Вельевского водохранилища для подпитки каскада Вышневолоцких водохранилищ, подающих воду на турбины Ивановской ГЭС и в канал им. Москвы. В результате создания Вельевского водохранилища уровень воды в озере Велье повышен на 5,4 м. До сооружения плотины площадь всего водосбора р. Явонь оценивалась в 1230 км². Плотиной перегорожен исток реки из оз. Глыбоцко, имевшего приток из оз. Велье и из впадавшей в него реки, которая рассматривалась как верховье Явони. В результате сооружения плотины и подъема уровня воды оз. Глыбоцко соединилось с оз. Велье проливом, а площадь водосбора Явони сократилась до 941 км². В результате отсечения наиболее высоко расположенной и наиболее залесенной части бассейна заметно изменились его гидрографические характеристики, приведённые в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Основные гидрографические характеристики реки Явонь
до створа гидрологического поста Малые Луки

Гидрографические характеристики	Расстояние, км		Уклон, ‰		Площадь водосбора, км ²	Средняя высота водосбора, м	Средний уклон водосбора, ‰	Озерность, %	Заболоченность, %	Лесистость, %
	от истока	от наиболее удаленной точки речной системы	Средний	средне-взвешенный						
до сооружения плотины	67	67	2.59		867	205	23.0	5	1	70
после сооружения плотины	40	40	4.15	4.35	576	196	29.2	1	2	60

В настоящее время общая длина реки 60 км, а до створа Малые Луки – 40 км. Общее падение на участке исток-устье 190 м.

Большая часть бассейна р. Явонь расположена на западном склоне Валдайской возвышенности. Поверхность водосбора сложена моренными глинами и суглинками, перекрытыми флювио-гляциальными песками и современными аллювиально-озерными и болотными образованиями. Почвы на водосборе представлены подзолистыми и слабоподзолистыми их разновидностями. В пределах водосбора преобладают смешанные леса. В пределах возвышенной части водосбора р. Явонь выпадает в среднем 750 мм осадков в год.

Основными притоки ее являются реки Истошенка, Чересица, Кунянка и Чернорученка. Последняя впадает ниже г. Демянска.

Река Холова

Холова – река, протекающая на северо-западе европейской части России в Новгородской области. Является левым притоком реки Мста. Относится к Балтийскому бассейновому округу и бассейну озера Ильмень, а также к бассейну рек – Мста, Нева и Волхов. От истока до села Старое Рахино, река Холова течет в юго-западном направлении. Далее русло резко меняет направление, и река начинает течь в северо-западном направлении до самого устья. Исток реки находится в озере Боровно не-

далеко от села Тухили (Окуловский район). Впадает Холова в реку Мста в 92 км от устья последней, возле села Красный Бережок (Маловишерский район). Протяженность реки Холова составляет 126 км. Площадь водосборного бассейна равна 1900 км². Высота истока 156,1 м. Берега реки приподняты. Замерзает в ноябре, иногда в начале января, вскрывается в апреле. В верховье река извилистая. Ширина русла не превышает 10 метров. В русле имеются многочисленные перекаты и порожки. За посёлком Крестцы (средний участок реки) скорость течения уменьшается. Ширина реки также как и в верховье не превышает 10-12 м. За 20 километров до впадения в реку Мсту характер Холовы меняется — она вытекает на равнину, её ширина увеличивается до 30 метров.

2.2. Оценка значимости линейных трендов в рядах годового, максимального и минимального стока рек Валдайской возвышенности

На первом этапе для всех рядов были построены хронологические графики и выполнена оценка значимости линейных трендов.

Значимость трендов оценивалась по соотношению коэффициента корреляции R и его среднеквадратической погрешности σ_R при уровне значимости $2\alpha = 5\%$:

$$\sigma_R = \frac{1 - R^2}{\sqrt{n - 1}} \quad (2.1)$$

где R — коэффициент корреляции, n — число членов ряда. При соотношении $R/\sigma_R \geq 2$ тренд признавался значимым.

Оценка линейных трендов в рядах рек исследуемого района бассейна реки Полометь и бассейнов рек Явони и Холовы представлены в таблицах 2.3, 2.4 и 2.5.

2.2.1. Годовой сток

На хронологических графиках годового стока, построенных по всем постам исследуемой территории отмечаются линии тренда. На рисунках 2.3 и 2.4 представлены хронологические графики хода среднегодовых расходов воды р. Явонь – д. Малые Луки и р. Полометь – с. Яжелбицы.

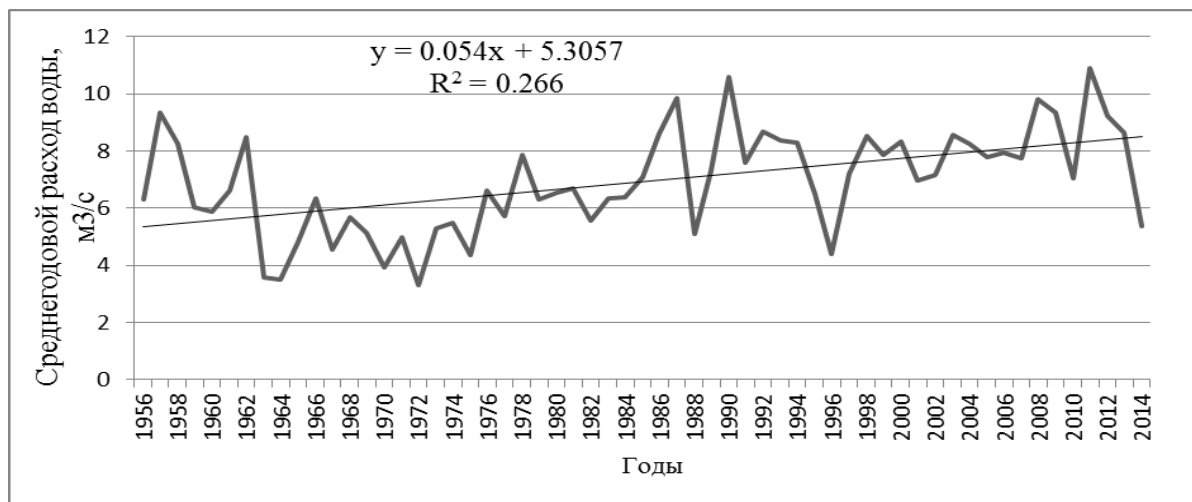


Рисунок 2.3 - Хронологический график и тренд хода среднегодовых расходов воды р. Явонь – д. Малые Луки (1956-2014 гг.)

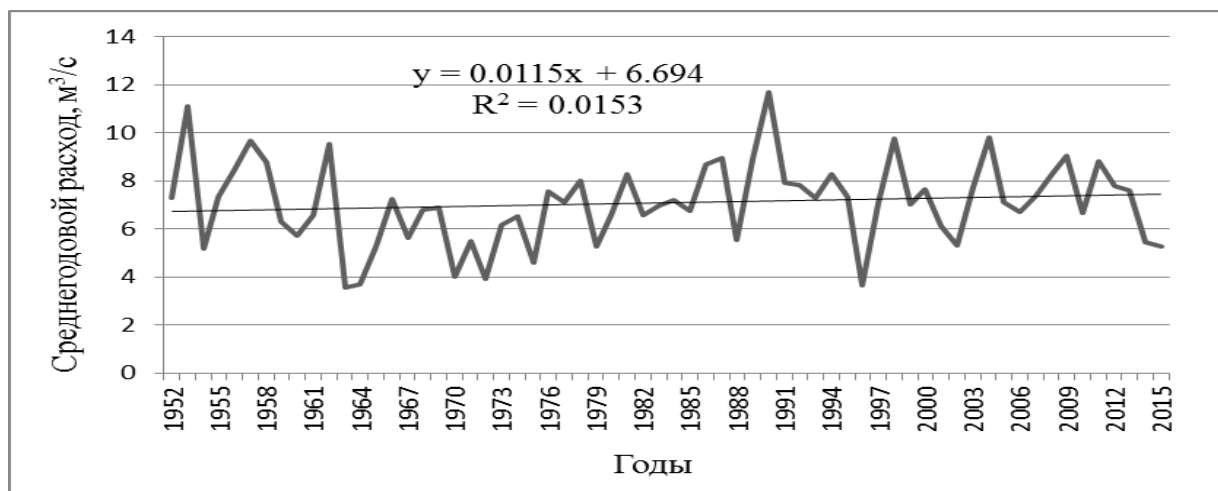


Рисунок 2.4 – Хронологический график и тренд хода среднегодовых расходов воды р. Полометь – с. Яжелбицы (1952 – 2015 гг.)

В таблице 2.3 приведены результаты проверки значимости линейных трендов по среднегодовому стоку исследуемого района. Наблюдается одинаковое количество постов со значимым положительным и не значимым трендом.

Таблица 2.3 – Оценка значимости линейных трендов рядов среднегодовых расходов воды

Река - пункт	Среднегодовой расход, м ³ /с		
	R	σ_R	R/σ_R
р.Холова - д.Горбуново	0,18	0,17	<2
р.Явонь – д.Малые Луки	0,52	0,10	>2
р.Полометь - х.Полометь	0,13	0,12	<2
р.Полометь – д.Соменка	0,51	0,13	>2
р.Полометь – д.Дворец	0,26	0,12	>2
р.Полометь – с.Яжелбицы	0,12	0,12	<2
р.Полометь – д.Ермошкино	0,33	0,16	>2
р.Полометь – с.Лычково	0,28	0,17	<2
р.Сосненка – д.Киты	0,05	0,22	<2
р.Лонница – д.Мосолино	0,29	0,12	>2
р.Соминка – д.Дворец	0,06	0,20	<2
р.Олешенка – д.Миронеге	0,13	0,12	<2

2.2.2. Максимальные расходы и слои половодья

На хронологических графиках максимальных расходов и слоёв весеннего половодья, построенных по всем постам исследуемой территории отмечаются линии тренда. На рисунке 2.5 представлен хронологический график хода максимальных расходов воды р. Лонница – д. Мосолино

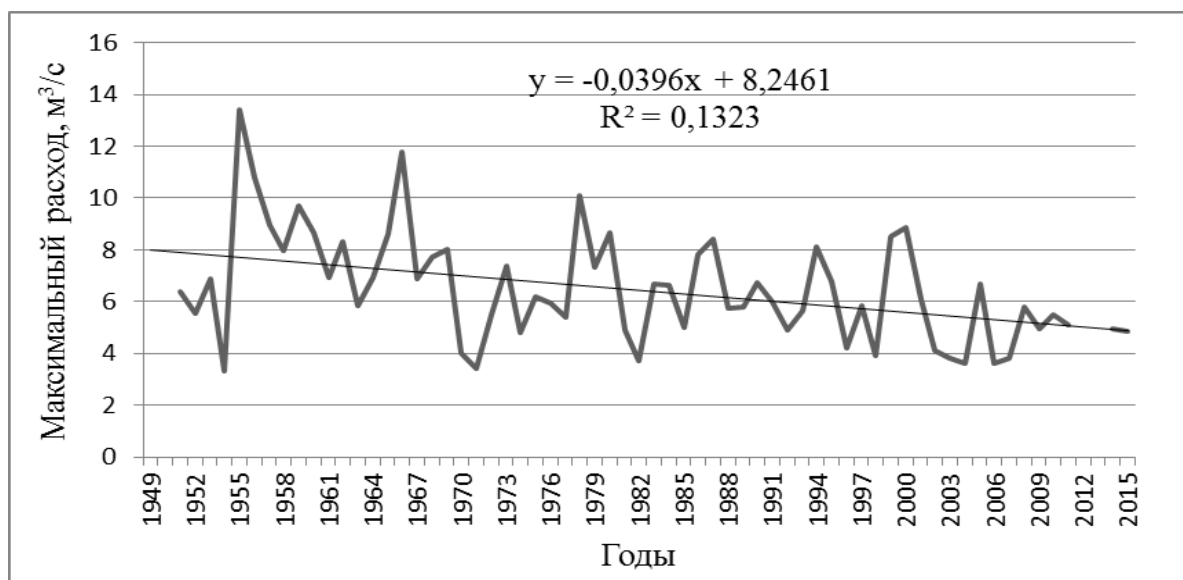


Рисунок 2.5 - Хронологический график и тренд максимальных расходов воды весеннего половодья р. Лонница – д. Мосолино (1952 – 2015 гг.)

В таблице 2.4 приведены результаты проверки значимости линейных трендов по максимальным расходам и слоям весеннего половодья исследуемого района. В рядах максимальных расходов наблюдаются отрицательные тренды, значит, максимальный сток уменьшается. В рядах слоёв весеннего половодья значимые тренды отсутствуют.

Таблица 2.4 – Оценка значимости линейных трендов рядов максимальных расходов и слоёв весеннего половодья

Река - пункт	Максимальный расход, м³/с			Слой половодья, мм		
	R	σ_R	R/σ_R	R	σ_R	R/σ_R
р.Холова - д.Горбуново	0,16	0,17	<2	0,06	0,17	<2
р.Явонь – д.Малые Луки	0,13	0,13	<2	0,21	0,12	<2
р.Полометь - х.Полометь	0,38	0,26	<2	0,26	0,28	<2
р.Полометь – д.Соменка	0,29	0,17	<2	0,21	0,20	<2
р.Полометь – д.Дворец	0,35	0,11	>2	0,06	0,12	<2
Р.Полометь – с.Яжелбицы	0,37	0,11	>2	0,01	0,13	<2
р.Полометь – д.Ермошкино	0,08	0,14	<2	0,05	0,15	<2
р.Полометь – с.Лычково	0,42	0,12	>2	0,01	0,15	<2

Река - пункт	Максимальный расход, м ³ /с			Слой половодья, мм		
	R	σ_R	R/σ_R	R	σ_R	R/σ_R
р.Сосненка – д.Киты	0,23	0,20	<2	0,43	0,15	>2
р.Лонница – д.Мосолино	0,36	0,11	>2	0,07	0,13	<2
р.Соминка – д.Дворец	0,30	0,17	>2	0,11	0,20	<2
р.Олешенка – д.Миронег	0,27	0,24	<2	0,21	0,34	<2

2.2.3. Минимальный летне-осенний сток

На хронологических графиках минимального летне – осеннего стока, построенных по всем постам исследуемой территории отмечаются линии тренда. На рисунке 2.6 представлен хронологический график хода минимальных 30-суточных расходов воды р. Полометь – д. Дворец

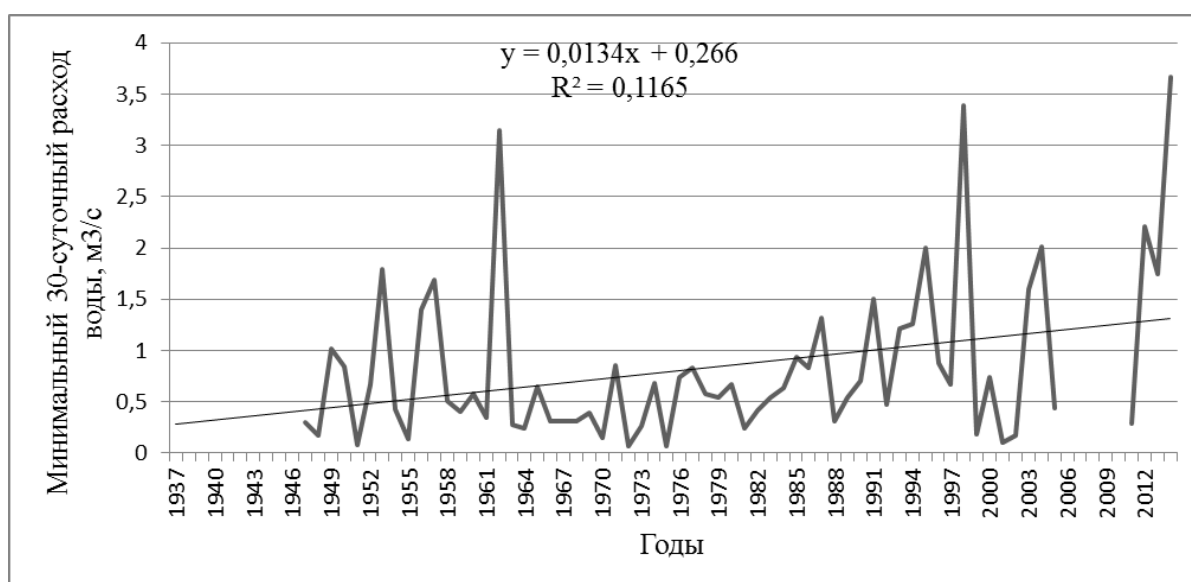


Рисунок 2.6 - Хронологический график хода минимальных 30-суточных летне-осенних расходов воды на р.Полометь – д.Дворец (1937 – 2014 гг.)

В таблице 2.4 приведены результаты проверки значимости линейных трендов по минимальным 30-суточным и минимальным суточным расходам летне-осенней межени исследуемого района. В рядах минимальных 30-суточных и минимальных суточных присутствуют значимые тренды. Можно отметить, что минимальный сток увеличивается

за счёт увеличения осадков и средней температуры воздуха, особенно в зимний период.

Таблица 2.5 – Оценка значимости линейных трендов рядов минимального 30-суточного и минимального суточного летне-осеннего стока

Река - пункт	30-суточный расход, м ³ /с			суточный расход, м ³ /с		
	R	σ_R	R/σ_R	R	σ_R	R/σ_R
р.Холова - д.Горбуново	0,23	0,16	<2	0,09	0,17	<2
р.Явонь – д.Малые Луки	0,23	0,12	<2	0,37	0,11	>2
р.Полометь - х.Полометь	0,40	0,25	<2	0,53	0,22	>2
р.Полометь – д.Соменка	0,29	0,16	<2	0,52	0,13	>2
р.Полометь – д.Дворец	0,34	0,11	>2	0,46	0,10	>2
Р.Полометь – с.Яжелбицы	0,05	0,13	<2	0,13	0,12	<2
р.Полометь – д.Ермошкино	0,29	0,14	>2	0,33	0,13	>2
р.Полометь – с.Лычково	0,05	0,15	<2	0,16	0,14	<2
р.Сосненка – д.Киты	0,01	0,13	<2	0,09	0,20	<2
р.Лонница – д.Мосолино	0,29	0,11	>2	0,42	0,10	>2
р.Соминка – д.Дворец	0,42	0,15	>2	0,46	0,15	>2
р.Олешенка – д.Миронеге	0,14	0,33	<2	0,26	0,31	<2

3. Расчёт стока рек Валдайской возвышенности

Проверка рядов на однородность проводилась с использованием критериев Фишера и Стьюдента.

Критерий Фишера позволяет оценить однородность ряда по дисперсии. Эмпирическое значение Статистика Фишера рассчитывалось по формуле:

$$F^* = \frac{D_1^*}{D_2^*} \quad (3.1)$$

где D_1^* и D_2^* – дисперсии по первой и второй частям анализируемого ряда, при этом в качестве первой дисперсии обычно рассматривают ту, которая больше ($D_1^* > D_2^*$).

Критическое значение статистики Фишера определялось по таблицам, опубликованным в [13], в зависимости от числа степеней свободы $\nu_1 = n_1 - 1$, $\nu_2 = n_2 - 1$ при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ (n_1 и n_2 – длина первой и второй частей ряда).

Гипотеза об однородности рядов не опровергалась, если выполнялись условие:

$$F^* < F_{2\alpha} \quad (3.2)$$

Критерий Стьюдента позволяет оценить однородность ряда по среднему значению. Эмпирическое значение Статистика Стьюдента рассчитывалось по формуле:

$$t^* = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (3.3)$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ – средние значения по первой и второй частям анализируемого ряда;

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

S – среднеквадратическое отклонение разности $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$, определяемое по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}; \quad (3.4)$$

Критическое значение статистики Стьюдента определялось по таблицам, опубликованным в [13], в зависимости от числа степеней свободы $\nu = n_1 + n_2 - 2$ при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Гипотеза об однородности рядов не опровергалась, если выполнялись условие:

$$|t^*| < t_{2\alpha} \quad (3.5)$$

3.1. Годовой сток

3.1.1. Проверка рядов годового стока на однородность

Результаты проверки рядов на однородность для среднегодовых расходов воды представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Результаты проверки на однородность рядов среднегодовых расходов воды рек Валдайской возвышенности

№ п/п	Река, пункт	n	D_{max}^*	$D_{max5\%}$	$\frac{H_o:Q}{Q_{max}}$	G_{max}^*	$G_{max5\%}$	$\frac{H_o:Q}{Q_{max}}$
----------	-------------	-----	-------------	--------------	-------------------------	-------------	--------------	-------------------------

1	р.Холова - д.Горбуново	34	0,99	2,64	-	2,08	2,80	-
2	р.Явонь – д.Малые Луки	60	5,34	3,83	+	1,01	2,73	-
3	р.Полометь - х.Полометь	64	1,29	2,18	-	2,10	2,49	-
4	р.Полометь – д.Соменка	32	3,77	3,14	-	1,26	3,09	-
5	р.Полометь – д.Дворец	62	2,38	2,24	+	1,55	2,16	-
6	Р.Полометь – с.Яжелбицы	64	2,08	2,49	-	1,28	2,18	-
7	р.Полометь – д.Ермошкино	44	2,78	2,70	+	1,80	2,56	-
8	р.Полометь – с.Лычково	42	1,22	2,62	-	1,83	2,58	-
9	р.Сосненка – д.Киты	22	1,59	2,21	-	1,37	4,14	-
10	р.Лонница – д.Мосолино	62	3,20	2,74	+	1,41	2,27	-
11	р.Соминка – д.Дворец	26	0,09	2,35	-	1,19	3,07	-
12	р.Олешенка – д.Миронеге	64	1,11	2,22	-	2,50	2,52	-
«-» - нулевая гипотеза не опровергается; «+» - нулевая гипотеза опровергается.								

3.1.2. Оценка основных статистических характеристик и их погрешностей

Оценки параметров аналитических кривых распределения: среднее многолетнее значение $\bar{Q}$, коэффициент вариации C_v и отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v выполнялись по рядам наблюдений за рассматриваемой гидрологической характеристикой методом приближенно наибольшего правдоподобия и методом моментов.

Метод моментов

Среднее значение ряда рассчитывается по формуле:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \quad (3.6)$$

Коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s оценивались по формулам:

$$\text{Коэффициент вариации, — } \tilde{C}_v = \frac{\sigma}{Q} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (3.7)$$

$$\text{Коэффициент асимметрии, — } \tilde{C}_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n - 1)(n - 2)C_v^3}, \quad (3.8)$$

где k_i модульный коэффициент, определяемый по формуле $k_i = \frac{Q_i}{Q}$, n — длина ряда.

Применение метода моментов для оценки коэффициента вариации C_v можно допускать лишь для $C_v < 0,6$; при больших значениях C_v следует применять метод наибольшего правдоподобия, дающий существенно меньшие случайные погрешности в значениях искомого параметра.

Метод наибольшего правдоподобия

Коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s для трехпараметрического гамма-распределения Крицкого — Менкеля следует определять методом приближенно наибольшего правдоподобия в зависимости от статистик λ_2 и λ_3 , вычисляемых по формулам:

$$\lambda_2 = \left(\sum_{i=1}^n \lg k_i \right) / (n - 1); \quad (3.9)$$

$$\lambda_3 = \left(\sum_{i=1}^n k_i \lg k_i \right) / (n - 1), \quad (3.10)$$

где k_i — модульный коэффициент рассматриваемой гидрологической характеристики, определяемый по формуле:

$$k_i = \frac{Q_i}{Q}, \quad (3.11)$$

здесь Q_i — погодичные значения расходов воды;

$\bar{Q}$ — среднеарифметическое значение расходов воды, определяемое в зависимости от числа лет гидрометрических наблюдений по формуле:

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^n Q_i / n. \quad (3.12)$$

По полученным значениям статистик λ_2 и λ_3 определяют коэффициенты вариации и асимметрии по номограммам. Если расчет параметров распределения производился методом моментов, то их относительные погрешности определяются по следующим формулам:

Относительная погрешность среднего значения:

$$\varepsilon_{\bar{x}} = \pm \frac{C_v}{\sqrt{n}} * 100\%, \quad (3.13)$$

Относительная погрешность коэффициента вариации:

$$\varepsilon_{C_v} = \frac{\sqrt{(1 + C_v)}}{\sqrt{2n}} * 100\%, \quad (3.14)$$

Относительная погрешность коэффициента асимметрии:

$$\varepsilon_{C_s} = \frac{1}{C_s} \sqrt{(6/n)(1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)} * 100\%, \quad (3.15)$$

Если расчет параметров распределения производился методом наибольшего правдоподобия, то их относительные погрешности определяются по следующей формуле:

$$\varepsilon_{C_v} = 100\% * \sqrt{3/2n(3 + C_v^2)}; \quad (3.16)$$

Ряды наблюдений по двум постам, имеющим продолжительность наблюдений 10 лет – р. Олешенка – д. Миронег и 11 лет – р. Полометь – х. Полометь были продлены с использованием данных наблюдений на реке-аналоге р. Полометь – с. Яжелбицы с рядом наблюдений 64 года.

Таблица 3.2 – Основные гидрографические характеристики расчетных рек
и рек – аналогов

п/п	Вид стока	Расчетная река	Река - аналог	Гидрографическая характеристика					
				$A, \text{км}^2$	$H, \text{м}$	$I_p, \%$	$f_{03}, \%$	$f_6, \%$	$f_{12}, \%$
1	$Q_{\text{ср.год}}$	р.Полометь - х.Полометь	-	139	218	1,62	6	3	80
		-	р.Полометь – с.Яжелбицы	631	200	2,11	3	3	79
2	$Q_{\text{ср.год}}$	р.Олешенка – д.Миронегги	-	31,9	200	0,63	3	3	64
			р.Полометь – с.Яжелбицы	631	200	2,11	3	3	79

Рассчитанные статистические характеристики представлены в таблице 3.3. На рисунках 3.1 и 3.2 представлены графики связи среднегодовых расходов воды двух расчётных рек и реки – аналога за совместный период наблюдений

Таблица 3.3 – Основные статистические характеристики среднегодового стока расчетных рек и рек – аналогов.

№ п/п	Вид стока	Расчетная река	Река - аналог	Статистические характеристики					
				$A, \text{км}^2$	$n, \text{лет}$	C_v	$\bar{Q}, \text{м}^3/\text{с}$	$\varepsilon_{\bar{Q}}, \%$	$\varepsilon_{C_v}, \%$
1	$Q_{\text{ср.год}}$	р.Полометь - х.Полометь	-	139	11	0,37	1,30	11,3	6,53
		-	р.Полометь – с.Яжелбицы	631	64	0,24	7,07	3,06	1,13
2	$Q_{\text{ср.год}}$	р.Олешенка – д.Миронегги	-	31,9	10	0,27	0,27	8,85	7,88
			р.Полометь – с.Яжелбицы	631	64	0,24	7,07	3,06	1,13

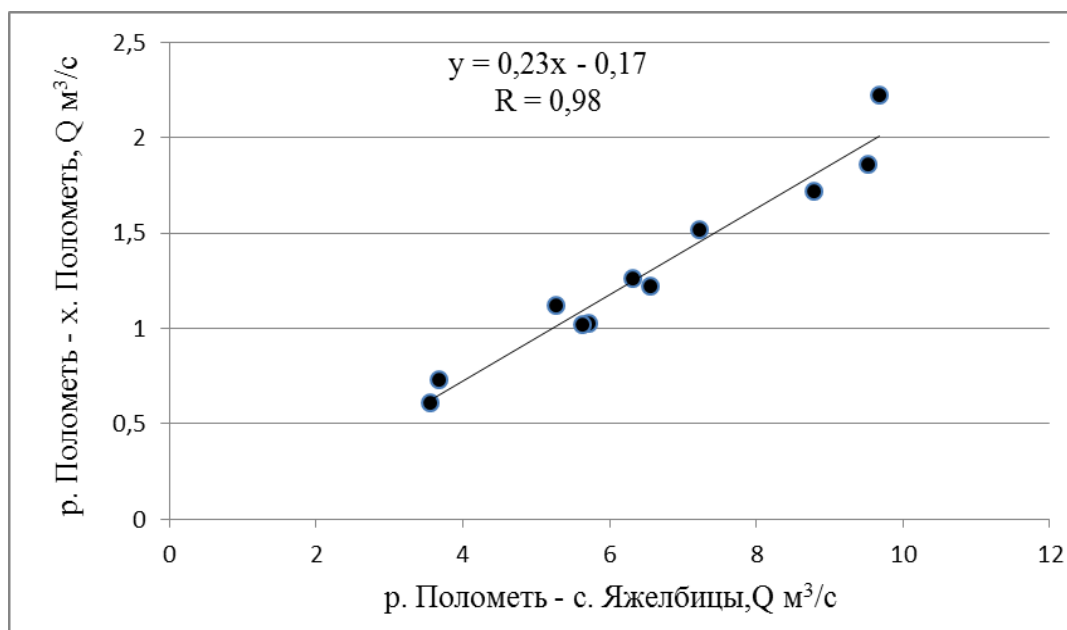


Рисунок 3.1 - График связи среднегодовых расходов воды расчётной реки и реки – аналога за совместный период наблюдений

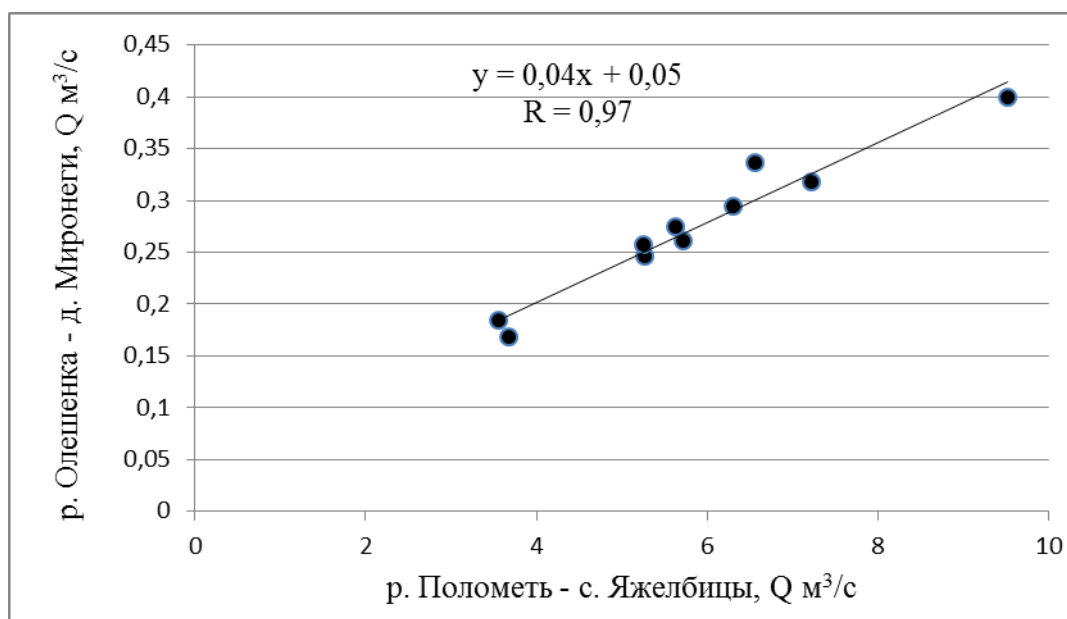


Рисунок 3.2 - График связи среднегодовых расходов воды расчётной реки и реки – аналога за совместный период наблюдений

В таблице 3.4 представлены результаты расчетов параметров уравнения линейной регрессии для среднегодовых расходов воды

Таблица 3.4 – Параметры уравнения линейной регрессии

№ п/п	Вид стока	Река - створ	R	s _R	a	s _a	b	R/s _R	a/s _a	уравнение регрессии
1	Q _{ср.год}	р.Полометь - х.Полометь	0,98	0,70	0,23	0,015	- 0,17	81,7	14,7	y=0,23x-0,17
		р. Полометь – с.Яжелбицы								
2	Q _{ср.год}	р.Олешенка – д.Миронег	0,97	0,31	0,04	0,003	0,05	49,2	11,2	y=0,04x+0,05
		р. Полометь – с.Яжелбицы								

В обоих случаях полученное уравнение линейной регрессии удовлетворяет необходимым требованиям:

$$n \geq 6; \quad |R| \geq 0.7; \quad \frac{R}{s_R} \geq 2; \quad \frac{a}{s_a} \geq 2; \quad (3.17)$$

где R – коэффициент корреляции;
 s_R – погрешность коэффициента корреляции;
 s_a – погрешность коэффициента регрессии;

Восстановление рядов производилось с помощью уравнения линейной регрессии:

$$Q_N = aQ_{N,a} + b \quad (3.18)$$

где Q_N – среднегодовой расход воды расчетной реки;
 $Q_{N,a}$ – среднегодовой расход воды реки – аналога;
 a – коэффициент регрессии;
 b – свободный член;

Таблица 3.5 – Основные статистические характеристики рядов среднегодовых расходов воды

Река – створ	N лет	$\bar{Q}$, м ³ /с	C_v	C_s	C_s/C_v	Относительная погрешность, %	
						$\bar{Q}$	C_v
р.Холова - д.Горбуново	33	14,8	0,29	0,68	2,35	5,02	2,21
р.Явонь – д.Малые Луки	59	6,93	0,26	-0,01	-0,04	3,38	1,23
р.Полометь - х.Полометь	64	1,43	0,28	0,18	0,66	3,49	9,13
р.Полометь – д.Соменка	31	7,94	0,27	0,57	2,13	4,85	2,34
р.Полометь – д.Дворец	62	4,59	0,27	0,13	0,50	3,43	1,18
р.Полометь – с.Яжелбицы	64	7,07	0,24	0,12	0,48	3,06	1,13
р.Полометь – д.Ермошкино	44	12,5	0,31	0,22	0,70	5,40	2,16
р.Полометь – с.Лычково	41	21,3	0,30	0,07	0,23	5,34	2,28
р.Сосненка – д.Киты	21	1,26	0,36	0,58	1,61	7,85	3,49
р.Лонница – д.Мосолино	61	0,47	0,29	0,15	0,53	3,72	1,20
р.Соминка – д.Дворец	25	0,33	0,36	0,73	2,03	7,17	2,94
р.Олешенка – д.Миронеге	64	0,32	0,21	0,04	0,20	2,68	9,01
Среднее значение						4,62	3,19

Продолжительность периода наблюдений считается достаточной, так как относительная среднеквадратическая погрешность расчетного значения для годового стока не превышает 10% .

3.1.3. Расчёт среднегодовых расходов воды расчётной обеспеченности

С использованием полученных статистических характеристик были построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей (приложение А) и рассчитаны среднегодовые расходы воды заданной обеспеченности. Эмпирическая ежегодная вероятность превышения P_m гидрологических характеристик определяется по формуле:

$$P_m = \frac{m}{n+1} 100\% \quad (3.19)$$

где m - порядковый номер членов ряда гидрологической характеристики, расположенных в убывающем порядке; n - общее число членов ряда.

В качестве аналитической кривой для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения использовались трехпараметрические распределения: кривая обеспеченностей Пирсона III типа и Крицкого-Менкеля.

Результаты расчетов среднегодовых расходов представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Среднегодовые расходы ($\text{м}^3/\text{с}$) расчетной обеспеченности

Река – пункт	$F, \text{км}^2$	$\bar{Q}, \text{м}^3/\text{с}$	C_v	Расходы обеспеченностью $P \%$, $\text{м}^3/\text{с}$					
				1	2	5	10	25	50
р.Холова – д.Горбуново	1500	14,8	0,29	27,3	25,2	22,7	20,5	17,3	14,2
р.Явонь – д.Малые Луки	876	6,93	0,26	11,0	10,6	9,87	9,27	8,19	6,93
р.Полометь – х.Полометь	139	1,43	0,28	2,41	2,29	2,11	1,95	1,69	1,41
р.Полометь – д.Соменка	776	4,59	0,27	7,62	7,23	6,70	6,21	5,41	4,55
р.Полометь – д.Дворец	432	7,07	0,24	11,3	10,8	9,99	9,31	8,20	7,03
Р.Полометь – с.Яжелбицы	631	12,5	0,28	21,6	20,3	18,5	17,0	14,6	12,2
р.Полометь – д.Ермошкино	1180	21,3	0,27	35,0	33,3	30,8	28,6	25,0	21,2
р.Полометь – с.Лычково	2180	7,94	0,27	13,7	13,0	11,8	10,8	9,24	7,73
р.Сосненка – д.Киты	101	1,26	0,36	2,47	2,31	2,07	1,87	1,55	1,22
р.Лонница – д.Мосолино	48,3	0,47	0,29	0,80	0,76	0,70	0,64	0,56	0,46
р.Соминка – д.Дворец	32,3	0,33	0,36	0,68	0,63	0,55	0,49	0,40	0,31
р.Олешенка – д.Миронег	31,9	0,32	0,21	0,49	0,47	0,44	0,41	0,37	0,32

3.2. Максимальные расходы и слои половодья

Сток половодий определяется климатическими условиями данной территории и факторами подстилающей поверхности. Метеорологические факторы, как снегозапасы в бассейне реки, интенсивность снеготаяния и его продолжительность, предшествующее снеготаянию увлажнение поч-

во-грунтов и их промерзаемость, испарение в период подъёма половодья, особенно в период снеготаяния. Также особую роль играют осадки, выпадающие в период подъёма половодья. В данной работе рассматривается влияние рельефа и факторов подстилающей поверхности на формирование максимальных расходов и слоёв весеннего половодья.

3.2.1. Проверка рядов максимальных расходов и слоёв весеннего половодья на однородность

В таблицах 3.7 и 3.8 представлены результаты проверки на однородность рядов максимальных расходов и слоёв весеннего половодья.

Таблица 3.7 – Результаты проверки на однородность рядов максимальных расходов воды

№ п/п	Река, пункт	n	t_{max}^*	$t_{max5\%}$	$\frac{H_o:Q_{\Delta}}{Q_{max}}$	F_{max}^*	$F_{max5\%}$	$\frac{H_o:Q_{\Delta}}{Q_{max}}$
1	р.Холова – д.Горбуново	34	1,35	2,32	-	2,31	2,70	-
2	р.Явонь – д.Малые Луки	60	0,67	2,63	-	1,46	2,27	-
3	р.Полометь – х.Полометь	66	2,38	2,20	+	2,81	2,67	+
4	р.Полометь – д.Соменка	32	0,75	2,50	-	1,83	2,83	-
5	р.Полометь – д.Дворец	66	2,81	2,59	+	2,38	2,18	+
6	Р.Полометь – с.Яжелбицы	64	2,04	2,51	-	2,09	2,19	-
7	р.Полометь – д.Ермошкино	48	1,26	2,28	-	2,20	2,37	-
8	р.Полометь – с.Лычково	46	2,37	2,43	-	1,26	2,45	-
9	р.Сосненка – д.Киты	24	0,63	2,19	-	4,21	3,17	+
10	р.Лонница – д.Мосолино	64	2,65	2,55	+	2,41	2,20	+
11	р.Соминка – д.Дворец	26	0,60	2,17	-	1,88	2,99	-
12	р.Олешенка – д.Миронеге	63	1,53	2,30	-	1,13	2,87	-
«-» - нулевая гипотеза не опровергается; «+» - нулевая гипотеза опровергается.								

Таблица 3.8 – Результаты проверки на однородность слоёв весеннего половодья

№ п/п	Река, пункт	n	t_{max}^*	$t_{max5\%}$	$\frac{H_o:Q_{\Delta}}{Q_{max}}$	F_{max}^*	$F_{max5\%}$	$\frac{H_o:Q_{\Delta}}{Q_{max}}$
1	р.Холова – д.Горбуново	34	0,60	2,22	-	1,68	2,66	-

2	р.Явонь – д.Малые Луки	60	2,91	2,32	+	2,31	2,20	+
3	р.Полометь – х.Полометь	64	1,46	2,18	-	1,03	2,48	-
4	р.Полометь – д.Соменка	32	2,24	3,92	-	1,47	3,49	-
5	р.Полометь – д.Дворец	66	0,33	2,31	-	1,00	2,13	-
6	Р.Полометь – с.Яжелбицы	64	1,02	2,47	-	1,46	2,18	-
7	р.Полометь – д.Ермошкино	48	1,23	2,21	-	1,65	2,35	-
8	р.Полометь – с.Лычково	46	0,03	2,18	-	1,47	2,39	-
9	р.Сосненка – д.Киты	24	0,13	2,19	-	1,36	3,17	-
10	р.Лонница – д.Мосолино	64	1,28	2,47	-	1,55	2,18	-
11	р.Соминка – д.Дворец	26	0,63	2,17	-	1,18	2,99	-
12	р.Олешенка – д.Миронег	66	1,78	2,19	-	0,99	2,61	-
«-» - нулевая гипотеза не опровергается; «+» - нулевая гипотеза опровергается.								

3.2.2. Оценка основных статистических характеристик и их погрешностей

Для рядов, с коротким периодом наблюдений от 9 – 12 лет подбирались аналоги с помощью которых параметры распределения и их относительные погрешности пересчитывались.

Данные по постам представлены в таблице 3.9. Подобранные аналоги имеют ряд наблюдений (n), превышающий расчетный не менее чем на 10 лет. Площади водосборов (A), не различаются более чем в 10 раз. Имеют относительно одинаковые природные условия, озерность (f_{oz}), заболоченность (f_b), лесистость (f_l), средняя высота водосбора (H) и средний уклон (I_p).

Таблица 3.9– Основные гидрографические характеристики расчетных рек и рек – аналогов

№ п/п	Вид стока	Расчетная река	Река - аналог	Гидрографическая характеристика					
				$A, \text{ км}^2$	$H, \text{ м}$	$I_p, \%$	$f_{oz}, \%$	$f_b, \%$	$f_l, \%$
1	Q_{max}	р.Полометь - х.Полометь		139	218	1,62	6	3	80
			р.Полометь – д.Дворец	432	207	1,20	3	4	81
2	Q_{max}	р.Олешенка – д.Миронег		31,9	200	0,63	3	3	64

			р.Явонь – д.Малые Луки	867	205	2,59	5	1	70
3	h	р.Полометь - х.Полометь		139	218	1,62	6	3	80
			р.Полометь – с.Яжелбицы	631	200	2,11	3	3	79
4	h	р.Олешенка – д.Миронегги		31,9	200	0,63	3	3	64
			р.Лонница – д.Мосолино	48,3	93	1,53	1	7	88

Рассчитанные статистические характеристики представлены в таблице 3.10. На рисунках 3.3 – 3.4 представлены графики связи максимальных расходов и слоев весеннего половодья для четырех расчетных постов и рек аналогов за совместный период наблюдений.

Таблица 3.10 – Основные статистические характеристики стока за весеннее половодье расчетных рек и рек – аналогов.

№ п/ п	Вид стока	Расчетная река	Река - аналог	Статистические характеристики						
				A, км ²	n, лет	C _v	$\bar{Q}$, м ³ /с	$\bar{h}$, мм	$\varepsilon_{\bar{Q}}$, %	ε_{C_v} , %
1	Q _{max}	р.Полометь - х.Полометь	-	139	12	0,38	14,7	-	11,0	6,01
		-	р.Полометь – д.Дворец	432	66	0,31	44,8	-	3,80	1,11
2	Q _{max}	р.Олешенка – д.Миронегги		31.9	14	0,41	5,28	-	10,3	4,59
			р.Явонь – д.Малые Луки	867	60	0,31	69,7	-	4,10	1,23
3	h	р.Полометь - х.Полометь		139	12	0,32	-	169	9,40	5,98
			р.Полометь – с.Яжелбицы	631	64	0,28	-	152	3,50	1,14
4	h	р.Олешенка – д.Миронегги		31.9	9	0,34	-	139	11,3	7,89
			р.Лонница – д.Мосолино	48,3	64	0,56	-	144	3,90	1,15

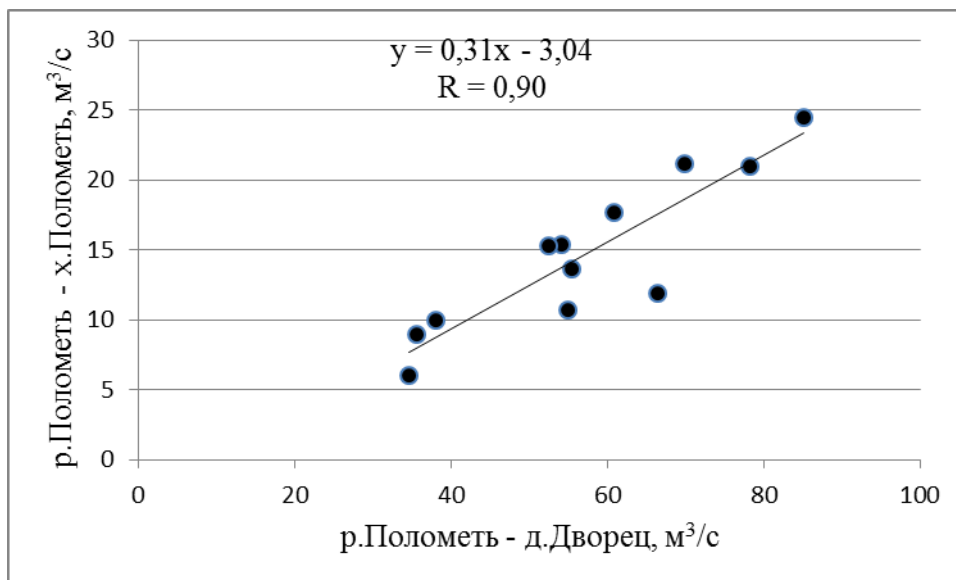


Рисунок 3.3 – График связи максимальных расходов расчетной реки Полометь – х.Полометь и реки – аналога Полометь – д. Дворец

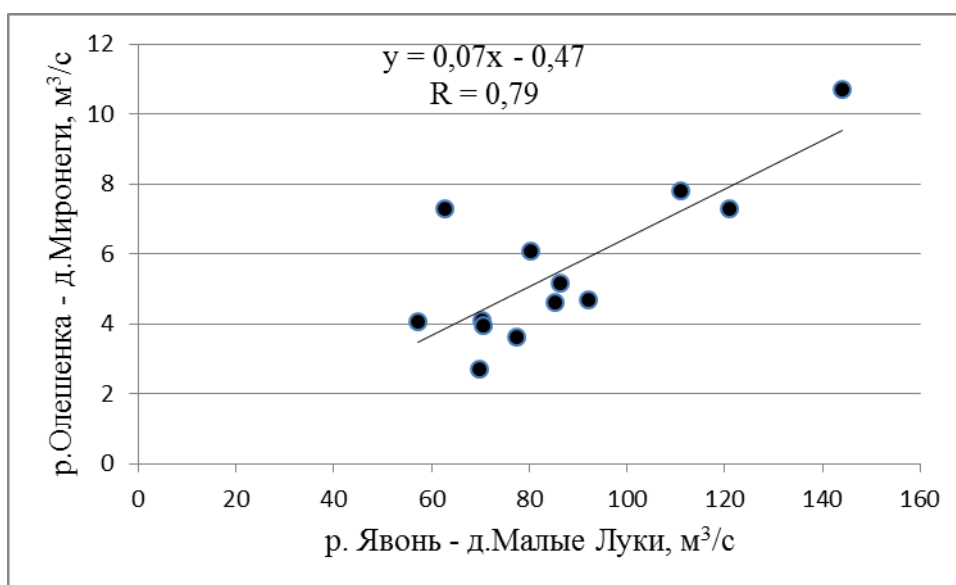


Рисунок 3.4 – График связи максимальных расходов расчетной реки Олешенка – д.Миронегги и реки – аналога Явонь – д. Малые Луки

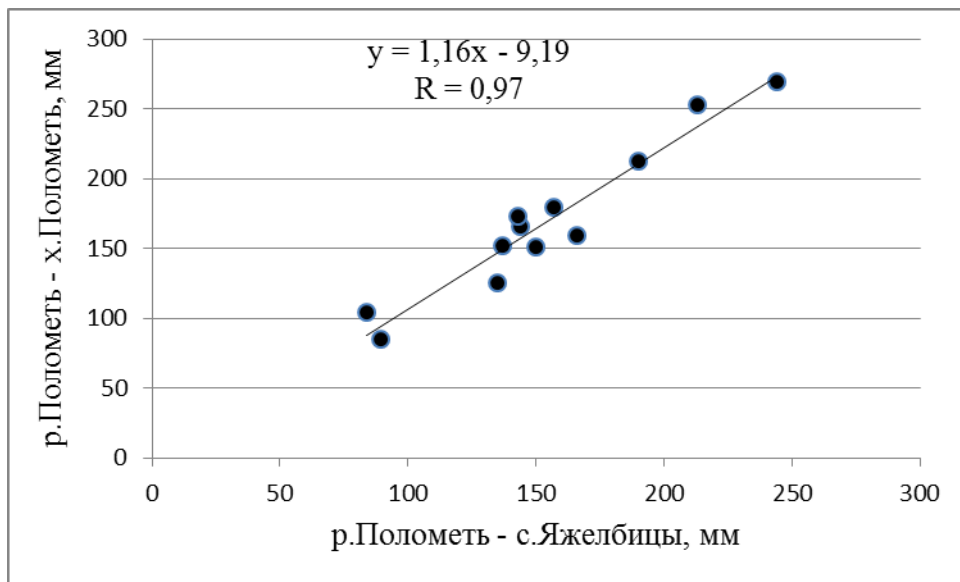


Рисунок 3.5 – График связи слоёв весеннего половодья расчетной реки Полометь – х.Полометь и реки – аналога Полометь – с. Яжелбицы

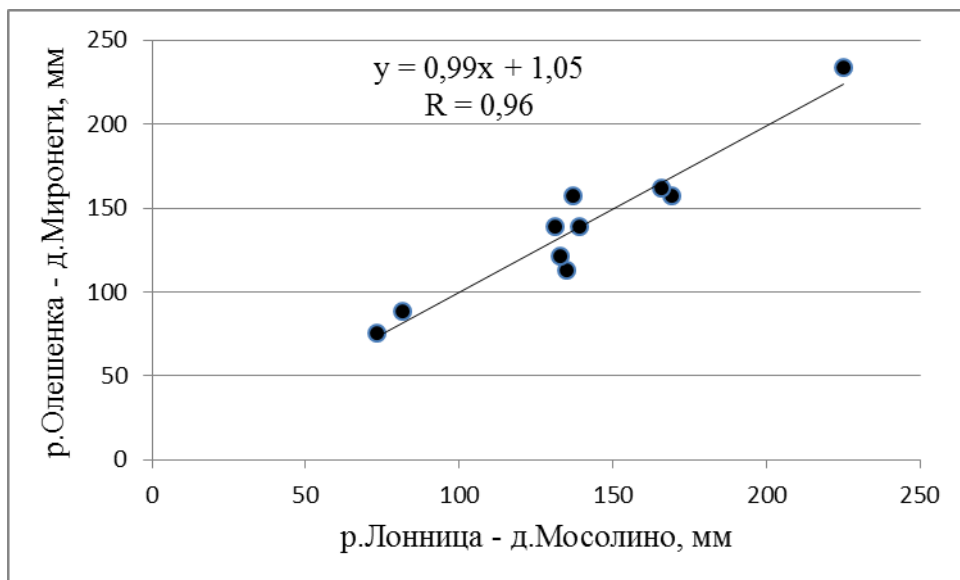


Рисунок 3.6 – График связи слоёв весеннего половодья расчетной реки Олешенка – д.Миронегги и реки – аналога Лонница – д.Мосолино

Восстановление рядов производилось с помощью уравнения линейной регрессии:

$$Q_N = aQ_{N,a} + b \quad (3.20)$$

$$h_N = ah_{N,a} + b \quad (3.21)$$

- где Q_N – максимальный расход весеннего половодья расчетной реки;
- h_N – слой весеннего половодья расчетной реки;
- $Q_{N,a}$ – максимальный расход весеннего половодья реки – аналога;
- $h_{N,a}$ – слой весеннего половодья реки – аналога;
- a – коэффициент регрессии;
- b – свободный член;

Уравнение является надежным, если выполняются следующие условия:

$$n \geq 6; \quad |R| \geq 0.7; \quad \frac{R}{s_R} \geq 2; \quad \frac{a}{s_a} \geq 2; \quad (3.22)$$

- где R – коэффициент корреляции;
- s_R – погрешность коэффициента корреляции;
- s_a – погрешность коэффициента регрессии;

В таблице 3.11 представлены результаты расчетов параметров уравнения регрессии для рядов максимальных расходов и слоев весеннего половодья.

Таблица 3.11 – Параметры уравнения линейной регрессии

№ п/п	Вид стока	Река - створ	R	s_R	a	s_a	b	R/s_R	R/s_a	уравнение регрессии
3	Q_{max}	р.Полометь - х.Полометь	0,90	0,058	0,31	0,035	-3,04	15,5	8,86	$y=0,31x-3,04$
		р.Полометь – д.Дворец								
4	Q_{max}	р.Олешенка – д.Миронегги	0,79	0,109	0,07	0,011	-0,47	7,25	6,36	$y=0,07x-0,47$
		р.Явонь – д.Малые Луки								
5	h	р.Полометь - х.Полометь	0,97	0,018	1,16	0,084	-9,19	53,9	13,8	$y=1,16x-9,19$
		р.Полометь – с.Яжелбицы								
6	h	р.Олешенка – д.Миронегги	0,96	0,028	0,99	0,106	1,05	34,3	9,34	$y=0,99x+1,05$
		р.Лонница – д.Мосолино								

Так как все условия выполняются, уравнение можно использовать для дальнейших расчетов.

Результаты расчета основных статистических характеристик рядов максимальных расходов и слоев весеннего половодья приведены в таблицах 3.11 и 3.12.

Таблица 3.11 – Основные статистические характеристики рядов максимальных расходов воды

Река – створ	N лет	$\bar{Q}$, м ³ /с	C_v	C_s	C_s/C_v	Относительная погрешность, %	
						$\bar{Q}$	C_v
р.Холова - д.Горбуново	34	179	0,31	0,52	1,67	5,30	2,15
р.Явонь – д.Малые Луки	60	69,7	0,31	1,05	3,33	4,10	1,23
р.Полометь - х.Полометь	66	10,4	0,45	0,93	2,04	1,06	0,03
р.Полометь – д.Соменка	31	59,7	0,23	0,54	2,37	4,10	2,32
р.Полометь – д.Дворец	66	44,8	0,31	0,90	2,93	3,80	1,11
р.Полометь – с.Яжелбицы	64	59,6	0,31	1,05	3,38	3,90	1,15
р.Полометь – д.Ермошкино	48	76,8	0,19	0,51	2,76	2,70	1,49
р.Полометь – с.Лычково	45	124,2	0,27	0,74	2,73	4,00	1,62
р.Сосненка – д.Киты	23	17,2	0,41	0,48	1,17	8,60	3,23
р.Лонница – д.Мосолино	66	6,49	0,34	0,73	2,16	4,20	1,12
р.Соминка – д.Дворец	30	5,69	0,44	0,71	1,60	8,10	2,51
р.Олешенка – д.Миронегги	63	3,97	0,48	1,11	2,28	5,15	1,11
Среднее значение						4,58	1,59

Таблица 3.12 – Основные статистические характеристики рядов слоёв весеннего половодья

Река – створ	N лет	h, мм	C_v	C_s	C_s/C_v	Относительная погрешность, %	
						$\bar{Q}$	C_v

р.Холова - д.Горбуново	34	156	0,3	0,75	2,50	5,20	2,15
р.Явонь – д.Малые Луки	60	113	0,29	0,43	1,47	3,70	1,22
р.Полометь - х.Полометь	64	166	0,31	0,58	1,88	9,00	0,06
р.Полометь – д.Соменка	31	147	0,28	0,61	2,21	5,00	2,34
р.Полометь – д.Дворец	66	166	0,28	0,83	2,93	3,50	1,11
р.Полометь – с.Яжелбицы	64	152	0,28	0,57	2,00	3,50	1,14
р.Полометь – д.Ермошкино	48	149	0,30	0,35	1,18	4,30	1,52
р.Полометь – с.Лычково	45	149	0,33	0,40	1,21	4,90	1,64
р.Сосненка – д.Киты	23	203	0,33	0,15	0,47	6,80	3,18
р.Лонница – д.Мосолино	64	144	0,31	0,56	1,82	3,90	1,15
р.Соминка – д.Дворец	26	167	0,32	0,50	1,57	6,20	2,81
р.Олешенка – д.Миронегы	66	140	0,35	0,57	1,60	9,68	0,06
Среднее значение						5,47	1,53

Продолжительность периода наблюдений считается достаточной, т.к. относительная средняя квадратическая погрешность расчетного значения исследуемой гидрологической характеристики не превышает 20% для максимального стока.

3.2.3. Расчёт максимальных расходов воды и слоёв весеннего половодья расчётной обеспеченности

С использованием полученных статистических характеристик были построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей (приложение Б). В таблицах 3.13 и 3.14 приведены максимальные расходы и слои весеннего половодья расчётной обеспеченности, а также модуль максимального стока 1% -ной обеспеченности.

Таблица 3.13 – Максимальные расходы ($\text{м}^3/\text{с}$) расчетной обеспеченности

Река - пункт	F, км^2	$\bar{Q}$, $\text{м}^3/\text{с}$	C_v	$q_{1\%}$, $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$	Расходы обеспеченностью P %, $\text{м}^3/\text{с}$					
					1	2	5	10	25	50

Река - пункт	F, км ²	$\bar{Q}$, м ³ /с	C _v	q _{1%} , л/(с*км ²)	Расходы обеспеченностью Р %, м ³ /с					
					1	2	5	10	25	50
р.Холова - д.Горбуново	1500	179	0,22	226	339	314	281	254	212	172
р.Явонь – д.Малые Луки	876	69,7	0,31	160	139	127	112	99,1	81,1	65,5
р.Полометь - х.Полометь	139	10,4	0,45	178	24,8	22,5	19,4	16,8	13,0	9,65
р.Полометь – д.Соменка	776	59,7	0,23	127	98,4	92,7	84,7	78,0	68,0	58,3
р.Полометь – д.Дворец	432	44,8	0,28	200	86,3	79,6	70,7	63,3	52,4	42,6
р.Полометь – с.Яжелбицы	631	59,6	0,31	189	119	108	94,3	83,7	68,9	56,4
р.Полометь – д.Ермошкино	1180	76,8	0,19	98	116	110	103	96	85,7	75,5
р.Полометь – с.Лычково	2180	124	0,27	104	227	210	186	168	143	119
р.Сосненка – д.Киты	101	17,2	0,41	356	36	33,4	29,7	26,6	21,6	16,6
р.Лонница – д.Мосолино	48.3	6,49	0,34	265	12,8	11,9	10,5	9,45	7,79	6,22
р.Соминка – д.Дворец	32.3	6,05	0,41	406	13,1	12,1	10,6	9,43	7,56	5,75
р.Олешенка – д.Миронег	31.9	3,97	0,48	317	10,1	9,04	7,65	6,53	4,98	3,61

Таблица 3.14 – Слои половодья (мм) расчетной обеспеченности

Река - пункт	F, км ²	h, мм	C _v	Расходы обеспеченностью Р %, м ³ /с					
				1	2	5	10	25	50
р.Холова - д.Горбуново	1500	156	0,30	284	267	241	219	184	152
р.Явонь – д.Малые Луки	876	113	0,29	201	190	172	157	133	110
р.Полометь - х.Полометь	139	166	0,31	308	289	259	235	197	161
р.Полометь – д.Соменка	776	147	0,27	258	243	221	203	173	144
р.Полометь – д.Дворец	432	166	0,28	304	282	253	229	193	160
р.Полометь – с.Яжелбицы	631	152	0,28	270	253	229	209	178	148
р.Полометь – д.Ермошкино	1180	149	0,30	264	249	226	207	176	145
р.Полометь – с.Лычково	2180	149	0,33	285	266	238	215	178	144
р.Сосненка – д.Киты	101	203	0,32	373	351	319	291	246	199
р.Лонница – д.Мосолино	48.3	144	0,31	269	251	226	204	171	139

Река - пункт	F, км ²	h, мм	C _v	Расходы обеспеченностью Р %, м ³ /с					
				1	2	5	10	25	50
р.Соминка – д.Дворец	32.3	167	0,32	313	293	263	238	199	161
р.Олешенка – д.Миронег	31.9	140	0,35	276	257	229	206	170	135

3.3. Минимальный летне-осенний сток

3.3.1. Проверка минимальных летне-осенних расходов воды на однородность

В таблицах 3.15 и 3.16 представлены результаты проверки на однородность рядов минимальных 30-суточных и минимальных суточных расходов летне-осенней межени.

Таблица 3.15 – Результаты проверки на однородность рядов минимальных 30-суточных расходов воды летне-осенней межени

№ п/п	Река, пункт	n	D* _{max}	D _{max5%}	$\frac{H_o:Q_{\Delta}}{Q_{max}}$	G* _{max}	G _{max5%}	$\frac{H_o:Q_{\Delta}}{Q_{max}}$
1	р.Холова - д.Горбуново	34	1,57	2,31	-	7,94	2,69	+
2	р.Явонь – д.Малые Луки	60	2,36	2,31	+	1,21	2,20	-
3	р.Полометь - х.Полометь							
4	р.Полометь – д.Соменка							
5	р.Полометь – д.Дворец	66	2,13	2,18	-	1,78	2,11	-
6	Р.Полометь – с.Яжелбицы	64	1,30	2,05	-	2,00	2,12	-
7	р.Полометь – д.Ермошкино	48	2,22	2,23	-	4,89	2,36	+
8	р.Полометь – с.Лычково	48	0,46	2,16	-	1,84	2,35	-
9	р.Сосненка – д.Киты	26	0,66	2,17	-	1,45	2,99	-
10	р.Лонница – д.Мосолино	66	2,37	2,05	+	1,73	2,10	-
11	р.Соминка – д.Дворец							
12	р.Олешенка – д.Миронег							
«-» - нулевая гипотеза не опровергается; «+» - нулевая гипотеза опровергается.								

Таблица 3.16– Результаты проверки на однородность рядов минимальных суточных расходов воды летне-осенней межени

№ п/п	Река, пункт	n	D* _{max}	D _{max5%}	$\frac{H_o:Q_{\Delta}}{Q_{max}}$	G* _{max}	G _{max5%}	$\frac{H_o:Q_{\Delta}}{Q_{max}}$
1	р.Холова - д.Горбуново	34	0,23	2,50	-	4,13	2,76	+

2	р.Явонь – д.Малые Луки	60	2,95	3,30	-	1,13	2,53	-
3	р.Полометь - х.Полометь							
4	р.Полометь – д.Соменка							
5	р.Полометь – д.Дворец							
6	Р.Полометь – с.Яжелбицы	64	1,69	2,05	-	2,90	2,12	+
7	р.Полометь – д.Ермошкино							
8	р.Полометь – с.Лычково	48	1,08	2,12	-	2,77	2,34	+
9	р.Сосненка – д.Киты	26	1,12	2,17	-	2,29	2,99	-
10	р.Лонница – д.Мосолино							
11	р.Соминка – д.Дворец							
12	р.Олешенка – д.Миронеге							
«-» - нулевая гипотеза не опровергается; «+» - нулевая гипотеза опровергается.								

3.3.2. Оценка основных статистических характеристик и их погрешностей

В таблицах 3.17 и 3.18 представлены основные статистические характеристики рядов минимальных 30-суточных и минимальных суточных расходов воды летне-осенней межени.

Таблица 3.17 – Основные статистические характеристики рядов минимальных 30-суточных летне-осенних расходов воды

Река – створ	N лет	$\bar{Q}$, м ³ /с	C_v	C_s	C_s/C_v	Относительная погрешность, %	
						$\bar{Q}$	C_v
р.Холова - д.Горбуново	34	2,03	0,67	1,99	2,98	11,4	2,38
р.Явонь – д.МалыеЛуки	60	1,52	0,47	1,60	3,41	6,10	1,28
р.Полометь - х.Полометь	12	0,39	0,95	1,61	1,69	27,5	6,25
р.Полометь – д.Соменка	32	2,19	0,61	2,58	4,23	10,8	2,47
р.Полометь – д.Дворец	65	0,82	0,96	1,93	2,02	11,9	1,42
р.Полометь – с.Яжелбицы	64	1,64	0,66	2,02	3,08	8,2	1,29
р.Полометь – д.Ермошкино	47	3,86	0,75	2,15	2,86	10,9	1,79
р.Полометь – с.Лычково	47	4,49	0,73	2,11	2,90	10,6	1,78
р.Сосненка – д.Киты	25	0,15	0,61	2,54	4,15	7,90	1,35
р.Лонница – д.Мосолино	65	0,06	1,02	1,78	1,74	12,6	1,46

р.Соминка – д.Дворец	30	0,04	1,54	2,93	1,90	28,2	3,29
р.Олешенка – д.Миронеге	10	0,07	0,89	2,34	2,63	28,1	7,19
Среднее значение						14,5	2,66

Таблица 3.18 – Основные статистические характеристики рядов
минимальных суточных летне-осенних расходов воды

Река – створ	N лет	$\bar{Q}$, м ³ /с	C_v	C_s	C_g/C_v	Относитель- ная погреш- ность, %	
						$\bar{Q}$	C_v
р.Холова - д.Горбуново	34	1,33	0,51	0,96	1,89	8,70	2,27
р.Явонь – д.Малые Луки	60	1,00	0,42	0,17	0,41	5,40	1,26
р.Полометь - х.Полометь	12	0,30	0,85	1,06	1,25	24,6	6,23
р.Полометь – д.Соменка	32	1,64	0,52	2,20	4,24	9,20	2,41
р.Полометь – д.Дворец	65	0,54	1,08	2,74	2,55	13,3	1,49
р.Полометь – с.Яжелбицы	64	1,17	0,59	1,69	2,88	7,30	1,25
р.Полометь – д.Ермошкино	47	3,06	0,75	2,92	3,88	11,0	1,80
р.Полометь – с.Лычково	47	3,40	0,64	1,67	2,61	9,30	1,73
р.Сосненка – д.Киты	25	0,10	0,74	1,26	1,70	14,9	3,24
р.Лонница – д.Мосолино	65	0,03	1,22	3,04	2,49	15,1	1,57
р.Соминка – д.Дворец	30	0,02	1,76	3,61	2,05	3,21	3,38
р.Олешенка – д.Миронеге	10	0,05	0,58	1,28	2,21	18,2	7,20
Среднее значение						11,7	2,82

Продолжительность периода наблюдений считается достаточной, т.к. относительная средняя квадратическая погрешность расчетного значения исследуемой гидрологической характеристики не превышает 20% для минимального стока.

3.3.3. Расчёт минимальных летне-осенних расходов воды расчётной обеспеченности

С использованием полученных статистических характеристик были построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей (приложение В). В таблицах 3.19 и 3.20 представлены минимальные 30-суточные и минимальные суточные расходы воды летне-осенней межени расчётной обеспеченности.

Таблица 3.19 – Минимальные 30-суточные летне-осенние расходы ($\text{м}^3/\text{с}$) расчетной обеспеченности

Река - пункт	$F, \text{км}^2$	$\bar{Q}, \text{м}^3/\text{с}$	C_v	Расходы обеспеченностью $P \%$, $\text{м}^3/\text{с}$					
				75	80	90	95	97	99
р.Холова - д.Горбуново	1500	2,03	0,68	1,15	1,04	0,825	0,684	0,556	0,484
р.Явонь – д.Малые Луки	876	1,52	0,48	1,03	0,96	0,809	0,703	0,608	0,55
р.Полометь - х.Полометь	139	0,39	1,02	0,136	0,113	0,069	0,045	0,027	0,018
р.Полометь – д.Соменка	776	2,19	0,65	1,48	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
р.Полометь – д.Дворец	432	0,82	0,99	0,298	0,251	0,157	0,104	0,066	0,046
Р.Полометь – с.Яжелбицы	631	1,64	0,68	0,943	0,871	0,701	0,587	0,494	0,436
р.Полометь – д.Ермошкино	1180	3,86	0,77	1,93	1,72	1,28	0,998	0,761	0,628
р.Полометь – с.Лычково	2180	4,49	0,72	2,27	2,01	1,44	1,08	0,785	0,621
р.Сосненка – д.Киты	101	0,15	1,01	0,053	0,044	0,026	0,017	0,01	0,007
р.Лонница – д.Мосолино	48.3	0,06	0,98	0,024	0,02	0,013	0,009	0,005	0,004
р.Соминка – д.Дворец	32.3	0,04	1,59	0,006	0,004	0,002	0,001	0	0
р.Олешенка – д.Миронег	31.9	0,07	1,32	0,021	0,018	0,011	0,008	0,006	0,004

Таблица 3.20 – Минимальные суточные летне-осенние расходы ($\text{м}^3/\text{с}$) расчетной обеспеченности

Река - пункт	$F, \text{км}^2$	$\bar{Q}, \text{м}^3/\text{с}$	C_v	Расходы обеспеченностью $P \%$, $\text{м}^3/\text{с}$					
				75	80	90	95	97	99
р.Холова - д.Горбуново	1500	1,33	0,52	0,834	0,76	0,59	0,474	0,369	0,308
р.Явонь – д.Малые Луки	876	1,00	0,42	0,708	0,642	0,47	0,336	0,184	0,087
р.Полометь - х.Полометь	139	0,29	0,91	0,11	0,092	0,054	0,034	0,019	0,012

Река - пункт	$F, \text{ км}^2$	$\bar{Q}, \text{ м}^3/\text{с}$	C_v	<i>Расходы обеспеченностью P %, м³/с</i>					
				75	80	90	95	97	99
р.Полометь – д.Соменка	776	1,64	0,51	1,05	0,961	0,761	0,626	0,500	0,427
р.Полометь – д.Дворец	432	0,54	1,08	0,179	0,166	0,158	0,155	0,155	0,155
Р.Полометь – с.Яжелбицы	631	1,17	0,59	0,704	0,644	0,511	0,423	0,344	0,298
р.Полометь – д.Ермошкино	1180	3,06	0,82	1,55	1,41	1,08	0,874	0,707	0,600
р.Полометь – с.Лычково	2180	3,40	0,62	1,78	1,56	1,04	0,692	0,37	0,242
р.Сосненка – д.Киты	101	0,09	0,72	0,048	0,043	0,031	0,024	0,017	0,014
р.Лонница – д.Мосолино	48.3	0,03	1,14	0,013	0,011	0,008	0,006	0,004	0,003
р.Соминка – д.Дворец	32.3	0,02	1,89	0,003	0,002	0,001	0	0	0
р.Олешенка – д.Миронеге	31.9	0,04	0,60	0,026	0,024	0,021	0,02	0,019	0,019

4. Оценка влияния факторов подстилающей поверхности на сток рек Валдайской возвышенности

4.1 Годовой сток

Для оценки влияние факторов подстилающей поверхности на годовой сток рек Валдайской возвышенности использовался аппарат множественной линейной регрессии, позволяющий оценить вес каждого, влияющего на формирование годового стока фактора. В таблице 4.1 приведены значения среднегодового стока для 10 постов, а также площади, относительная озерность, заболоченность, лесистость и средняя высота водосборов.

Таблица 4.1 – Гидрографические характеристики рек

№ п/п	Название водного объекта и пункта наблюдений	Среднегодовой расход, м ³ /с,	F, км ²	Озерность, %	Заболоченность, %	Лесистость, %	Средняя высота водосбора, м
1	р.Полометь - д.Дворец	4,59	432	3	4	81	207
2	р.Полометь - с.Яжелбицы	7,07	631	3	3	79	200
3	р.Полометь - с.Лычково	21,3	2180	1	7	68	140
4	р.Полометь - х.Полометь	1,43	139	6	3	80	218
5	р.Сосинка – д.Киты	1,26	101	1	2	84	222
6	р.Соминка - д.Дворец	0,33	32,3	4	7	84	177
7	р.Лонница - д.Мосолино	0,47	48,3	1	7	88	220
8	р.Явонь - д.Малые Луки	6,93	867	5	1	70	205
9	р.Холова - д.Горбуново	14,8	1500	1	1	75	93
10	р.Олешенка – д.Миронег	0,32	31,9	3	3	64	200

Регрессионный анализ показал, что на годовой сток наибольшее влияние оказывает площадь водосбора и его относительная озерность, из-

меняющаяся для исследуемых рек в пределах от 1 % до 6 %. Влияние леса не выявлено, поскольку относительная лесистость слабо варьируется для исследуемой территории.

В таблице 4.2 приведены результаты регрессионного анализа, показавшего значимость двух предикторов - площади водосбора и относительной озерности, использовавшихся в расчетном уравнении (4.1). Коэффициент множественной корреляции составил 0,99.

Таблица 4.2 – Результаты регрессионного анализа

ВЫВОД ИТОГОВ								
Регрессионная статистика								
Множественный R	0,9970							
R-квадрат	0,9940							
Нормированный R-квадрат	0,9923							
Стандартная ошибка	0,6245							
Наблюдения	10							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимо			
Регрессия	2	450,918	225,459	578,149	1,7E-08			
Остаток	7	2,72977	0,38997					
Итого	9	453,648						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95.0%	Верхние 95.0%
Y-пересечение	0,6118	0,4852	1,2609	0,2477	-0,5355	1,7592	-0,5355	1,7592
Переменная X 1	0,0095	0,0003	31,2587	0,0000	0,0088	0,0102	0,0088	0,0102
Переменная X 2	-0,1580	0,1230	-1,2850	0,2397	-0,4488	0,1327	-0,4488	0,1327

Расчетное уравнение имеет следующие параметры:

$$y = 0.0095x_1 - 0.1580x_2 + 0.612 \quad (4.1)$$

Уравнение было использовано для расчета значений среднегодового стока, которые приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Характеристики, влияющие на среднегодовой сток

Название водного объекта и пункта наблюдений	Среднегодовой расход, м ³ /с	F, км ²	Озерность, %	Среднегодовой расход, м ³ /с (по формуле)
р.Полометь - д.Дворец	4,59	432	3	4,24
р.Полометь - с.Яжелбицы	7,07	631	3	6,13
р.Полометь - с.Лычково	21,3	2180	1	21,2
р.Полометь - х.Полометь	1,43	139	6	0,98
р.Соснинка – д.Киты	1,26	101	1	1,41
р.Соминка - д.Дворец	0,33	32,3	4	0,29
р.Лонница - д.Мосолино	0,47	48,3	1	0,91
р.Явонь - д.Малые Луки	6,93	867	5	8,06
р.Холова - д.Горбуново	14,8	1500	1	14,7
р.Олешенка – д.Миронеге	0,32	31,9	3	0,44

График связи наблюдаемых значений и полученных по формуле (4.1) показывает наличие достаточно тесной связи между ними, подтверждающей выявленное существенное влияние на годовой сток, как площади водосбора, так и его озерности.

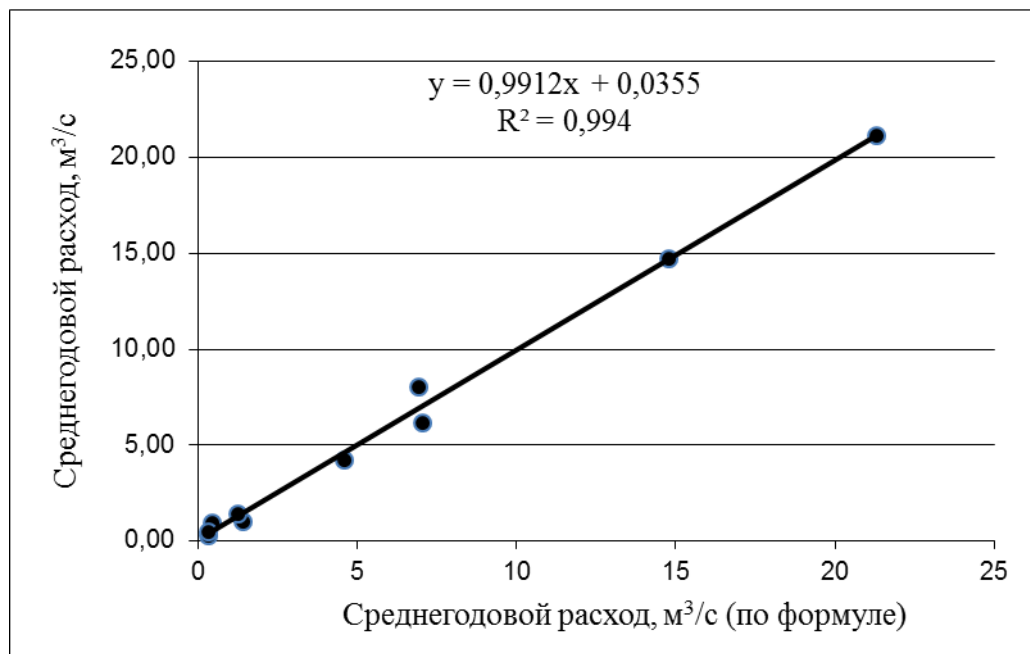


Рисунок 4.1 – График связи среднегодовых расходов воды ($\text{м}^3/\text{с}$) и среднегодовых расходов воды ($\text{м}^3/\text{с}$), полученные по формуле

4.2 Максимальные расходы и слои половодья

Для оценки влияния факторов подстилающей поверхности на максимальные расходы весеннего половодья рек Валдайской возвышенности использовался аппарат множественной линейной регрессии, позволяющий оценить вес каждого фактора, влияющего на формирование максимального стока. В таблице 4.4 приведены значения максимальных расходов и модулей стока 1%-ной обеспеченности для 12 постов, а также площади водосборов, относительная озерность, заболоченность, лесистость, средняя высота водосборов. Данные таблицы использовались для построения районной редукционной зависимости $\lg(q_{1\%}) = f[\lg(F+1)]$. Редукционная зависимость представлена на рисунке 4.2.

Таблица 4.4 – Основные расчётные характеристики

Название водного объекта и пункта наблюдений	$Q_{\max 1\%}$	$F, \text{км}^2$	Озерность, %	Заболоченность, %	Лесистость, %	Средняя высота водосбора, м	$q_{\max 1\%}$	$\lg 10(F+1)$	$\lg 10(q_{\max 1\%})$
р.Полометь - д.Дворец	86,3	432	3	4	81	207	200	2,64	2,30
р.Полометь - с.Яжелбицы	119	631	3	3	79	200	189	2,80	2,28
р.Полометь - с.Лычково	227	2180	1	7	68	140	104	3,34	2,02
р.Полометь - х.Полометь	24,8	139	6	3	80	218	178	2,15	2,25
р.Соснинка – д.Киты	36,0	101	1	2	84	222	356	2,01	2,55
р.Соминка - д.Дворец	13,1	32,3	4	7	84	177	406	1,52	2,61
р.Лонница - д.Мосолино	12,8	48,3	1	7	88	220	265	1,69	2,42
р.Явонь - д.Малые Луки	139	867	5	1	70	205	160	2,94	2,20
р.Холова - д.Горбуново	339	1500	1	1	75	93	226	3,18	2,35
р.Олешенка - д.Миронеге	10,1	31,9	1	1	75	93	317	1,52	2,50
р.Полометь - д.Ермошкино	116	1180	3	3	54	175	98	3,07	1,99
р.Полометь - д.Соменка	98,4	776	3	3	58	190	127	2,89	2,10

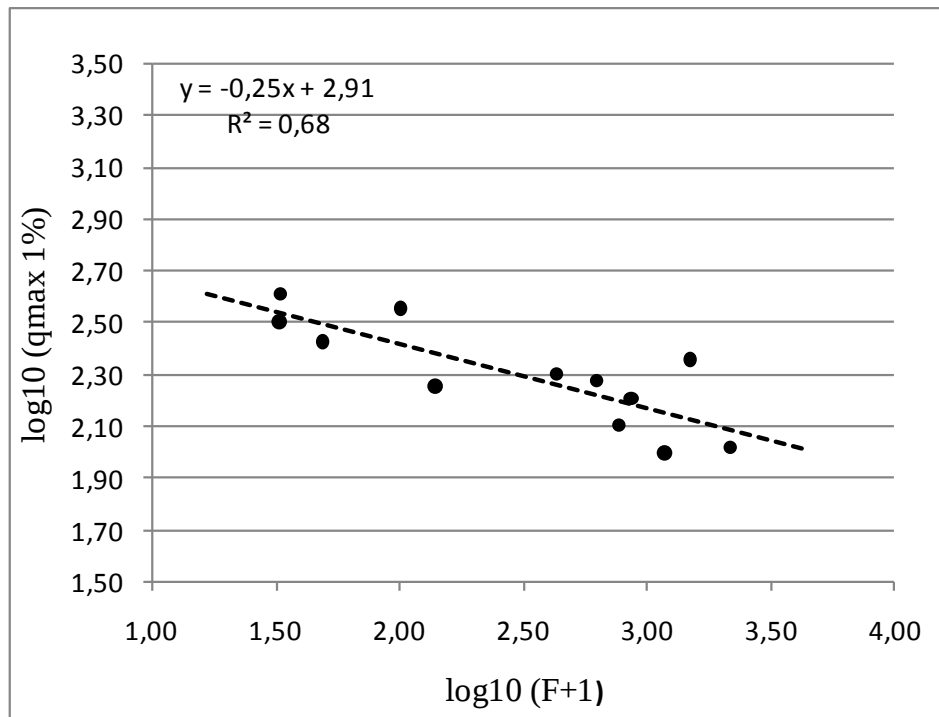


Рисунок 4.2 – График связи $\log_{10}(F+1)$ и $\log_{10}(q_{\max} 1\%)$

В качестве расчетной рассматривалась результате районная редукционная формула

$$q_{1\%} = A/(F+1)^n \quad (4.2)$$

где A –элементарный модуль стока, F – площадь водосбора, n – районный показатель редукции равный 0,25.

Считается, что для средних рек элементарный модуль стока не зависит от площади водосбора, однако в данном случае мы рассматривали только малые реки, поэтому при исследовании зависимости параметра A от факторов подстилающей поверхности площадь водосбора тоже рассматривалась в качестве предиктора.

В таблице 4.5 приведены результаты регрессионного анализа, в котором в качестве предикторов в расчетном уравнении использовалась площадь водосбора(F), относительная заболоченность(f_{δ}) и относительная залесённость($f_{л}$). Коэффициент множественной корреляции составил 0,74.

Таблица 4.5 – Параметры уравнения линейной регрессии

ВЫВОД ИТОГОВ								
Регрессионная статистика								
Множественный R	0,737							
R-квадрат	0,543							
Нормированный R-квадрат	0,849							
Стандартная ошибка	185,733							
Наблюдения	12							
Дисперсионный анализ								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	Значим ость F			
Регрессия	3	9113905	3037968	88,065466	1,8E-06			
Остаток	9	310470,4	34496,7					
Итого	12	9424376						
	Коэффиц иенты	Стандарт ная ошибка	t- статист ика	P- Значение	Нижние 95%	Верхни е 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	0	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Переменная X 1	0,137	0,077	1,791	0,107	-0,036	0,310	-0,036	0,310
Переменная X 2	-52,674	25,287	-2,083	0,067	-109,88	4,530	-109,878	4,530
Переменная X 3	12,807	1,441	8,885	0,000	9,546	16,067	9,546	16,067

Анализ показал, что в исследуемом регионе параметр A зависит от площади водосбора (F), относительной заболоченности (f_{δ}) и относительной лесистости ($f_{л}$). Уравнение имеет вид:

$$A = 0,137F - 52,7f_{\delta} + 12,8f_{л} \quad (4.3)$$

В таблице 4.6 представлены результаты расчётов. Это элементарный модуль стока 1%-ной обеспеченности, элементарный модуль по формуле

(4.3.) и его относительная ошибка. Средняя ошибка параметра a , рассчитанного по формуле составляет 15,4%, а максимальная 44,2%

Таблица 4.6 – Результаты расчётов элементарного модуля стока $A1\%$

Название водного объекта и пункта на- блюдений	$F, \text{км}^2$	$q_{\text{max}} 1\%$	$A1\%$	$A1\%$ (по формуле)	Ошибка, $A1\%$
р.Полометь - д.Дворец	432	200	911	885	2,90
р.Полометь - с.Яжелбицы	631	189	946	940	0,60
р.Полометь - с.Лычково	2180	104	712	800	12,4
р.Полометь - х.Полометь	139	178	614	885	44,2
р.Соснинка – д.Киты	101	356	1133	984	13,2
р.Соминка - д.Дворец	32,3	406	974	711	27,1
р.Лонница - д.Мосолино	48,3	265	702	764	8,80
р.Явонь - д.Малые Луки	867	160	870	962	10,6
р.Холова - д.Горбуново	1500	226	1407	1113	20,9
р.Олешенка - д.Миронеге	31,9	317	758	912	20,2
р.Полометь - д.Ермошкино	1180	98	576	695	20,6
р.Полометь - д.Соменка	776	127	669	691	3,20
				сред.	15,4
				макс.	44,2

4.3. Минимальный сток

Минимальный сток малых рек зависит от дренирующей способности реки и гидрогеологических условий рассматриваемого района. Особую роль в формировании минимального стока играют факторы подстилающей поверхности. В качестве основного интегрального показателя условий формирования минимального стока используется площадь бассейна.

В таблице 4.7 приведены данные по минимальному 30-суточному стоку рек с различным расположением озёр, болот, лесов, средней высотой водосбора и средним уклоном.

Таблица 4.7 - Гидрографические характеристики рек

Название водного объекта	$Q_{\min 30}, 80\%$	$F, \text{км}^2$	Озерность, %	Заболоченность, %	Лесистость, %	Средняя высота водосбора, м	Средний уклон реки, ‰
р.Полометь - д.Дворец	0.251	432	3	4	81	207	1.2
р.Полометь - с.Яжелбицы	0.871	631	3	3	79	200	2.11
р.Полометь - д.Ермошкино	1.72	1180	3	3	54	175	0.15
р.Полометь - с.Лычково	2.01	2180	1	7	68	140	1.36
р.Полометь - д.Соменка	1.47	776	3	3	58	190	0.18
р.Полометь - х.Полометь	0.11	139	6	3	80	218	1.62
р.Соснинка – д.Киты	0.044	101	1	2	84	222	4.8
р.Соминка - д.Дворец	0.004	32.3	4	7	84	177	2.27
р.Лонница - д.Мосолино	0.020	48.3	1	7	88	220	3.96
р.Явонь - д.Малые Луки	0.96	867	5	1	70	205	2.59
р.Холова - д.Горбуново	1.04	1500	1	1	75	93	1.53
р.Олешенка - д.Миронег	0.018	31.9	3	3	64	200	0.63

Для районов со сходными физико-географическими условиями и в первую очередь с однородным строением бассейнов по геологическим и гидрогеологическим признакам строятся зависимости минимальных 30-суточных расходов воды от площади водосбора по формуле А.М. Владимира, которая для исследуемого района имеет вид:

$$Q_{\min} = aF^n \quad (4.4)$$

где $Q_{\min}$ – минимальный 30-суточный расход воды, a – параметр, характеризующий увлажненность района, F – площадь бассейна реки, n – параметр, характеризующий интенсивность изменения стока с увеличением площади бассейна.

Для оценки параметра n была построена зависимость $Q = f(F)$ (рисунок 4.3) и найдено уравнение связи:

$$a = Q_{\min}/F^{1.35} * 1000 \quad (4.5)$$

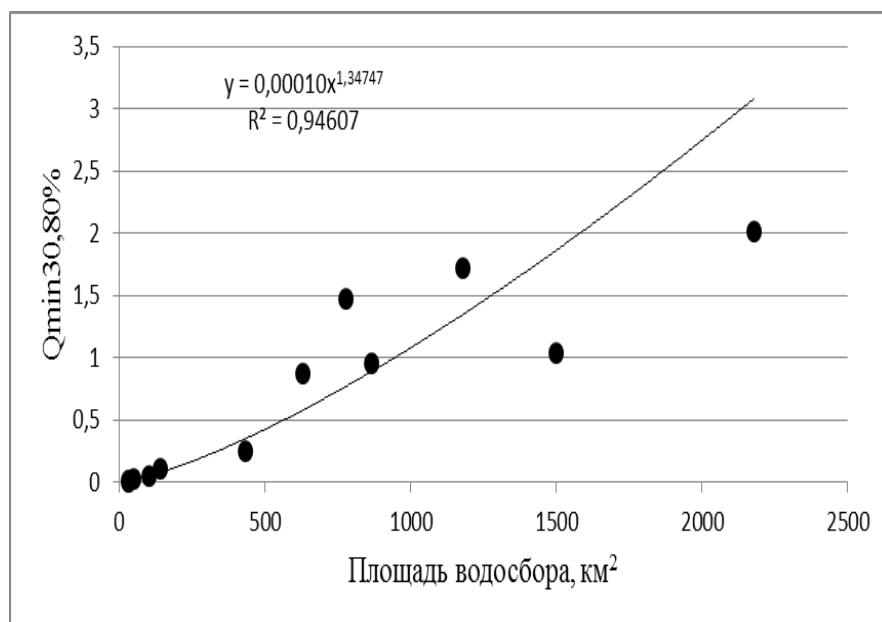


Рисунок 4.3 – степенная функция зависимостей минимальных 30-суточных расходов 80% обеспеченности от площади водосбора

На втором этапе была проанализирована зависимость параметра a от факторов подстилающей поверхности с использованием аппарата множественной линейной регрессии.

Таблица 4.9 – Параметры уравнения линейной регрессии

ВЫВОД ИТОГОВ								
Регрессионная статистика								
Множественный R	0,77279							
R-квадрат	0,59721							
Нормированный R-квадрат	0,5077							
Стандартная ошибка	0,03304							
Наблюдения	12							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	2	0,01456	0,007281	6,6719396	0,016706			
Остаток	9	0,00982	0,001091					
Итого	11	0,02438						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	0,167	0,075	2,228	0,053	-0,003	0,337	-0,003	0,337
Переменная X 1	-0,00283	0,001	-2,974	0,016	-0,005	-0,001	-0,005	-0,001
Переменная X 2	0,00079	0,000	2,876	0,018	0,000	0,001	0,000	0,001

Установлено: значимое влияние на параметр a для исследуемого региона оказывают лесистость и средняя высота водосбора. Уравнение имеет вид:

$$a = -0.00283f_{\text{л}} + 0.00079H + 0.167 \quad (4.6)$$

В таблице 4.8 представлены результаты расчётов. Элементарный модуль стока 80%-ной обеспеченности, элементарный модуль по формуле (4.6) и его относительная ошибка. Средняя ошибка параметра a , рассчитанного по формуле составляет 32.2%.

Таблица 4.8 – Результаты расчётов параметра a

Название водного объекта и пункта наблюдений	$Q_{min30, 80\%}$	$F, км^2$	$A_{80\%}$	$Q_{min30, 80\%}$ по формуле	Ошибка Q_{min30}
р.Полометь - д.Дворец	0.251	432	0.07	0.37	45.8
р.Полометь - с.Яжелбицы	0.871	631	0.14	0.61	29.8
р.Полометь - д.Ермошкино	1.72	1180	0.12	2.14	24.3
р.Полометь - с.Лычково	2.01	2180	0.06	2.74	36.1
р.Полометь - д.Соменка	1.47	776	0.18	1.22	17.1
р.Полометь - х.Полометь	0.11	139	0.14	0.09	21.9
р.Соснинка – д.Киты	0.044	101	0.09	0.05	20.8
р.Соминка - д.Дворец	0.004	32.3	0.04	0.01	88.3
р.Лонница - д.Мосолино	0.020	48.3	0.11	0.02	13.9
р.Явонь - д.Малые Луки	0.96	867	0.10	1.21	26.1
р.Холова - д.Горбуново	1.04	1500	0.05	0.55	47.4
р.Олешенка - д.Миронеге	0.018	31.9	0.17	0.02	14.3
				средняя	32.2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы были получены следующие результаты.

1. Собраны и проанализированы ряды среднегодового стока, максимальных расходов и слоёв весеннего половодья, минимальных 30-суточных и минимальных суточных расходов летне-осенней межени для рек Валдайской возвышенности. При выполнении данной задачи использовались данные за весь период наблюдений по 2015 год включительно.

2. Сделан подробный анализ климатических характеристик. В том числе была проведена оценка линейных трендов по среднегодовой температуре и по годовым суммам осадков. Можно отметить, что в расчётных характеристиках наблюдаются значимые тренды они же и положительные.

3. Для всех рядов выполнен детальный статистический анализ. В том числе проведена оценка значимости линейных трендов, выполнена проверка рядов на однородность, рассчитаны статистические характеристики и их погрешности.

4. Установлено, что большинство рядов исследуемого района являются генетически неоднородными. Причина неоднородности связана с непродолжительными рядами наблюдений.

5. Построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей среднегодовых расходов, максимальных расходов и слоёв весеннего половодья, минимальных летне-осенних расходов воды. Получены расчётные расходы для 6 опорных обеспеченностей.

6. На основе проведенных расчётов и регрессионного анализа было выявлено, какие из факторов подстилающей поверхности влияют на годовой сток, максимальные расходы весеннего половодья и минимальный летне-осенний сток рек Валдайской возвышенности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Владимиров А.М. Гидрологические расчёты. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 365 с.
2. Государственный водный кадастр . Р. 1. Поверхностные воды. Сер. 3. Многолетние данные. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1. Реки и каналы. Т. I. РСФСР. Вып. 5. Бассейны рек Балтийского моря, Ладожского и Онежского озер.–Л.: Гидрометеиздат, 1986.–688 с.
3. Кокорева Л.В., Кузнецова Ю.Н., Шалаева Т.А.. Климат Валдая и тенденции его изменения с 74-77. Государственное учреждение Национальный парк «Валдайский». К 15-летию парка. Г. Валдай 17 мая 2005г. Научное издание. 263 с.
4. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор – ТиС. 2007. – 134с.
5. Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений.- СПб.: Ротапринт ГНЦ ААНИИ, 2007. -67с.
6. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 444с.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. В 20 т. Т. 2. Карелия и Северо-Запад, ч.1 / Под ред. В.Е. Водогрецкого.–Л.: Гидрометеиздат, 1972.– 448 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т 2. Карелия и Северо-Запад / Под ред. И.В. Кузнецова и В.Ф. Гашевой.–Л.: Гидрометеиздат, 1966.–700 с.
9. Рождественский А.В., Чеботарёв А.И. Статистические методы в

- гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424с.
10. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных характеристик. – М.:Стройиздат, 2004. – 72с.
 11. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик.–Л: Москва, 1985
 12. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 279с.
 13. Соколовский Д.Л. Речной сток. - Л.: Гидрометеиздат, 1952. – 490 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ЭМПИРИЧЕСКИЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ СРЕДНЕГОДОВЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ РЕК ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

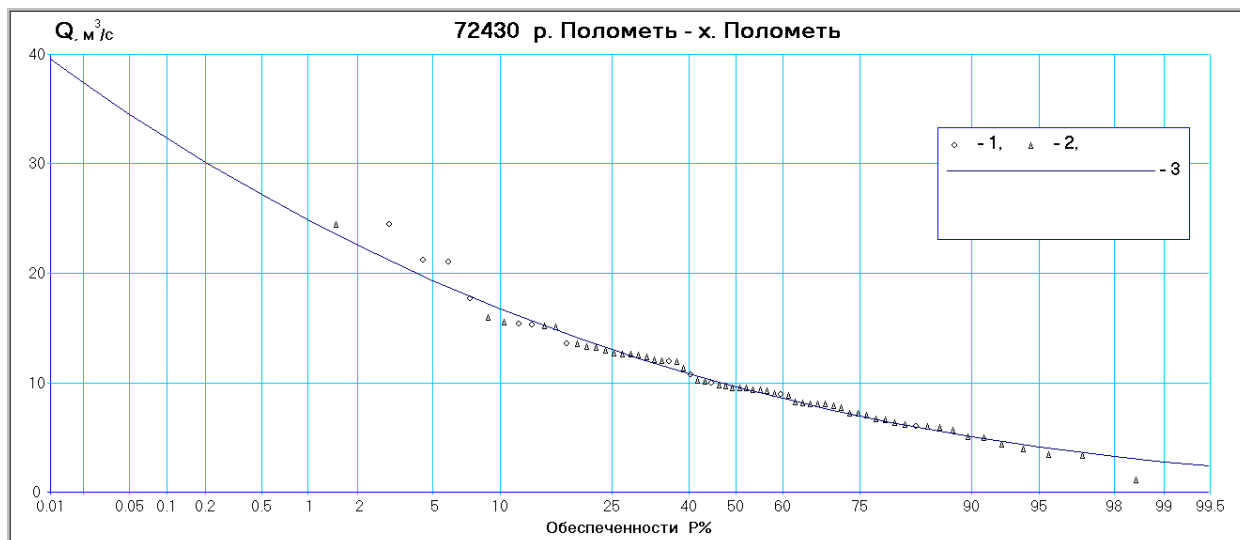


Рисунок А.1 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (3) кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды (2-продлённый ряд)

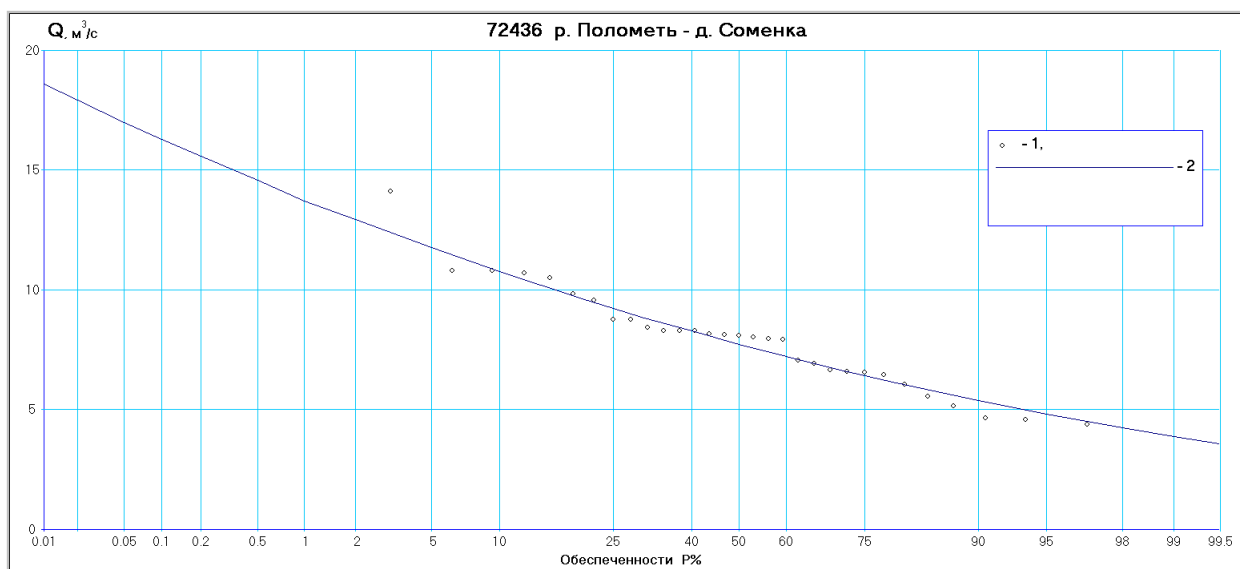


Рисунок А.2 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды

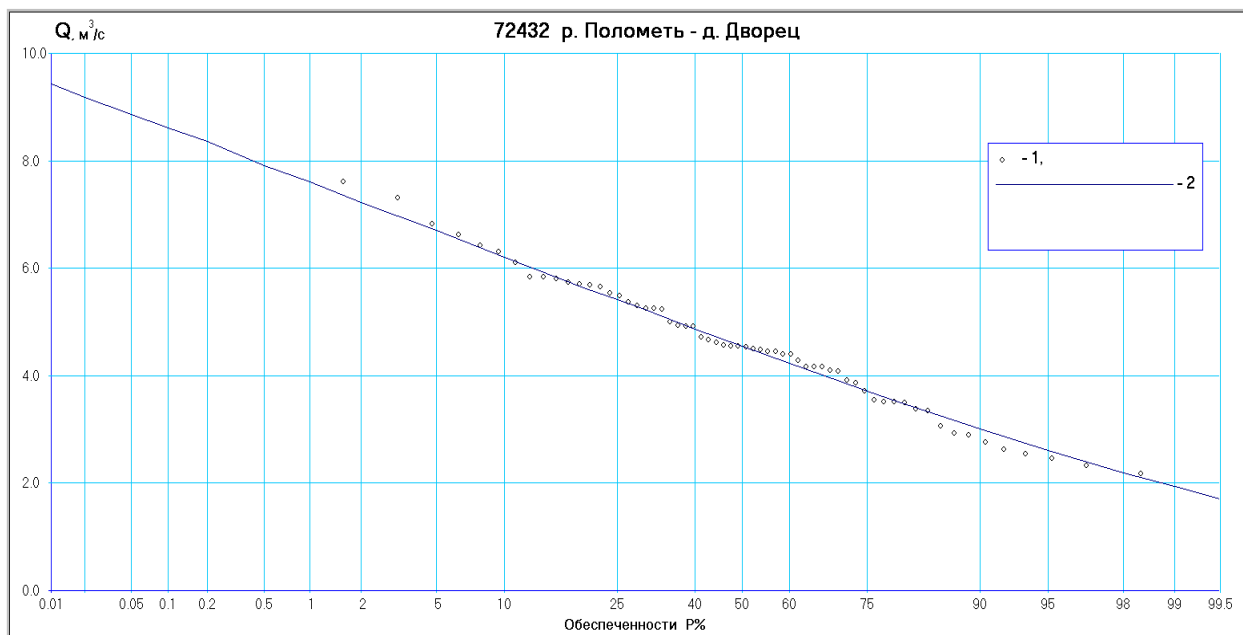


Рисунок А.3 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды

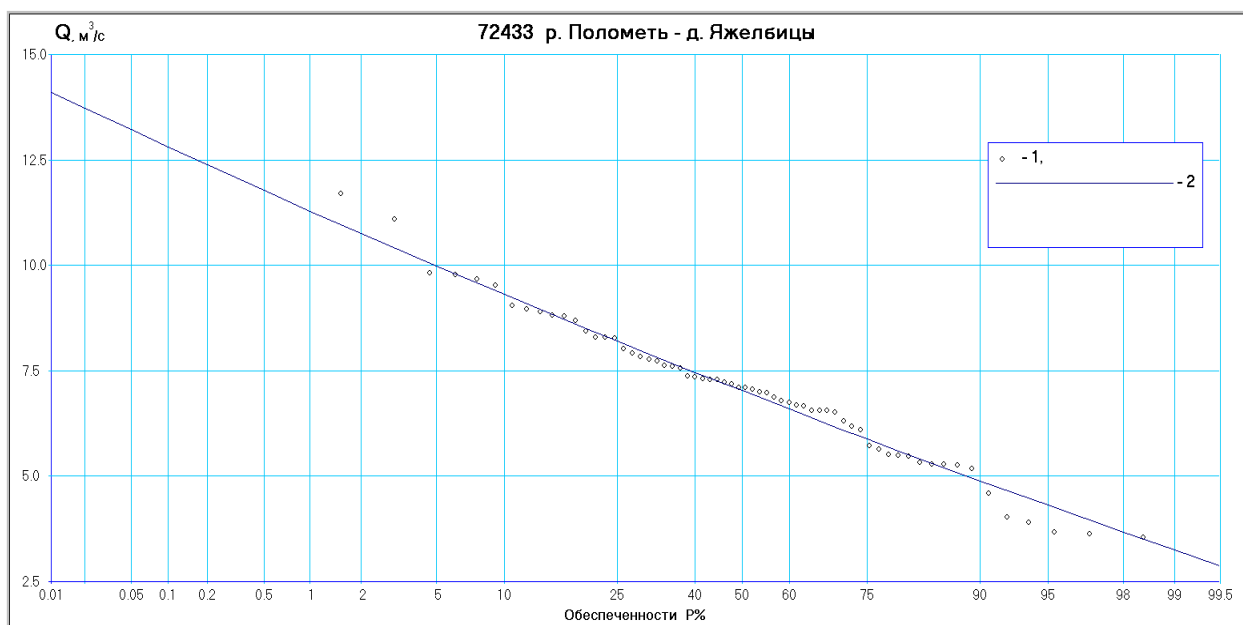


Рисунок А.4 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды

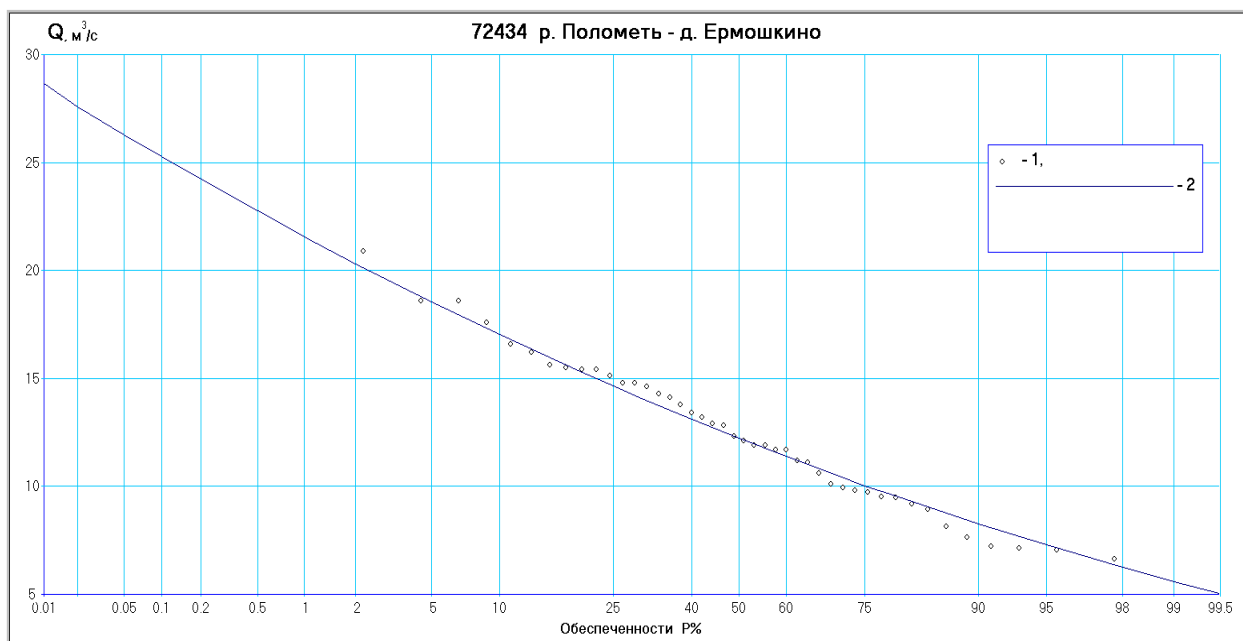


Рисунок А.5 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды

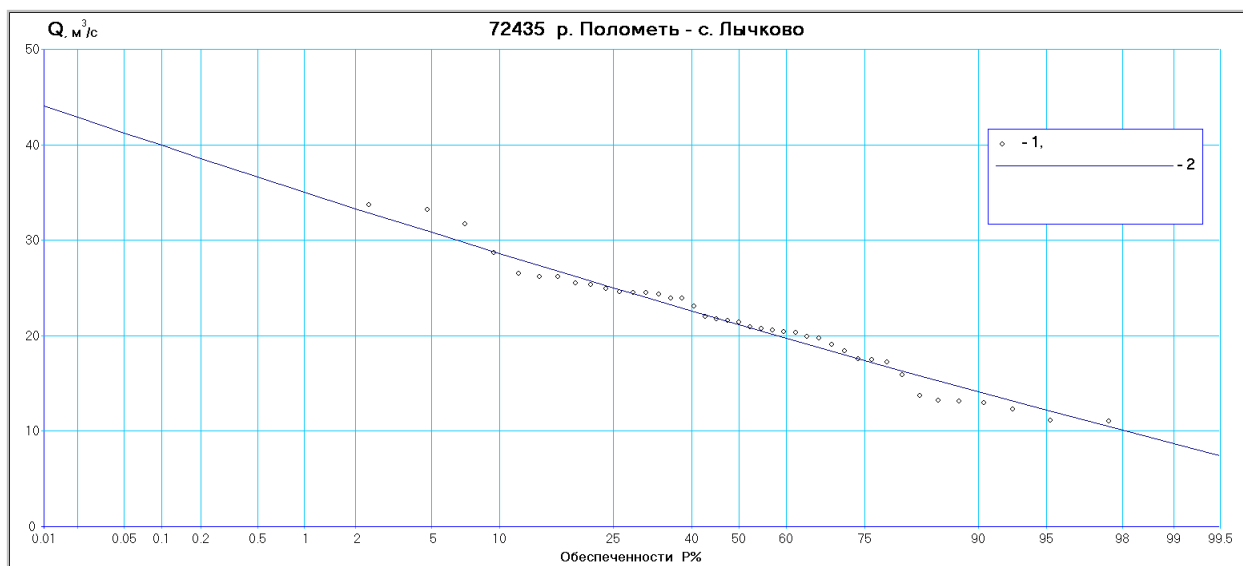


Рисунок А.6 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды

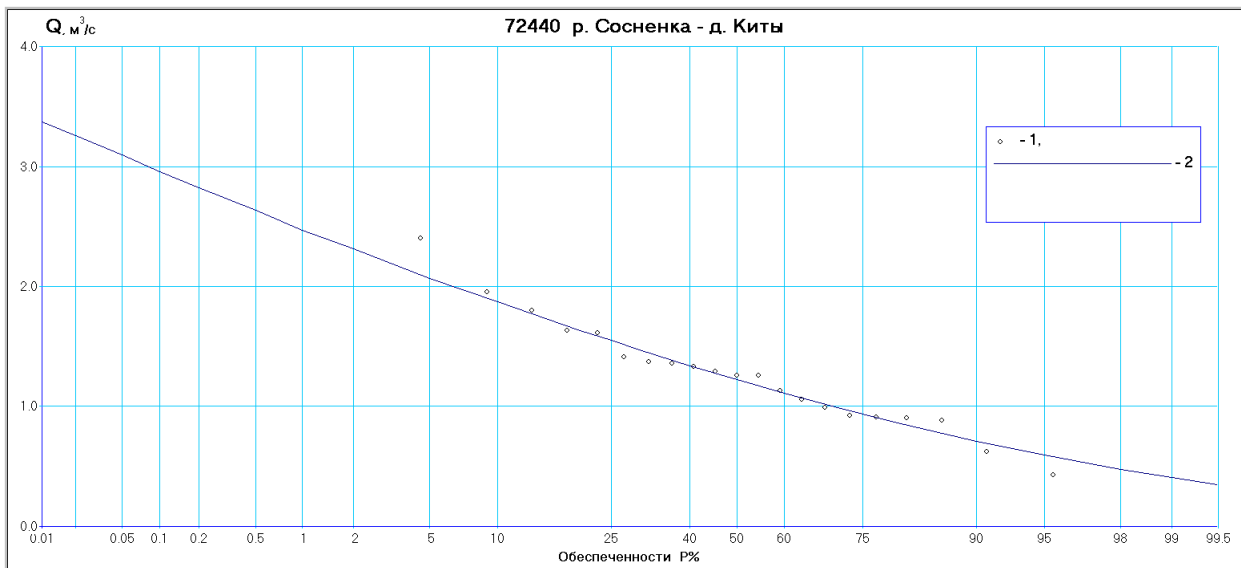


Рисунок А.7 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды

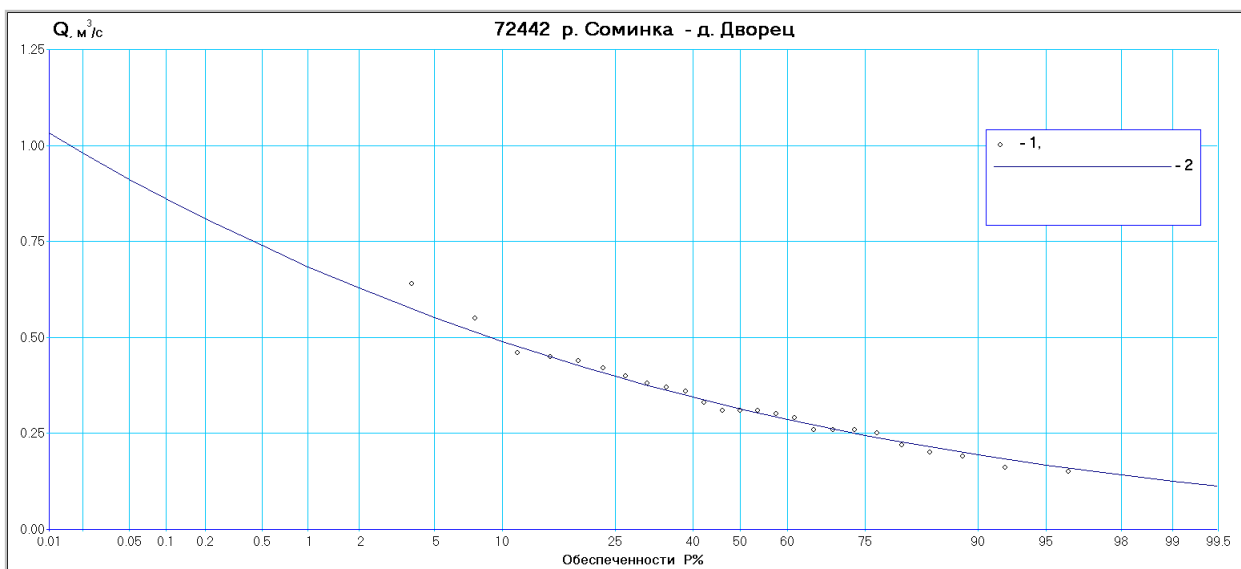


Рисунок А.8 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды

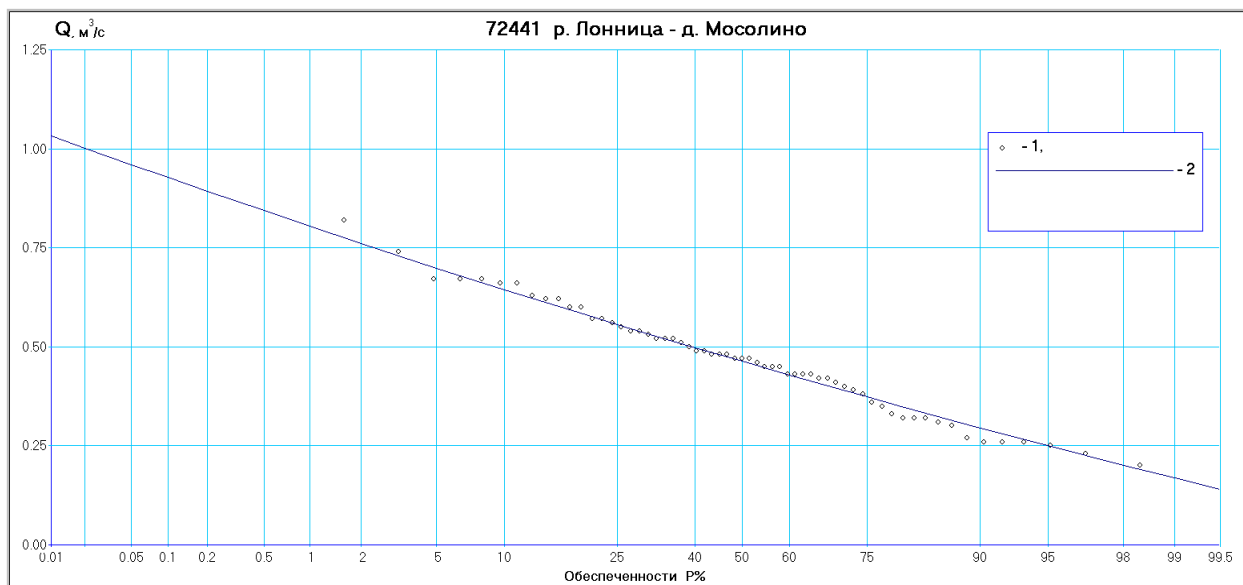


Рисунок А.9 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды

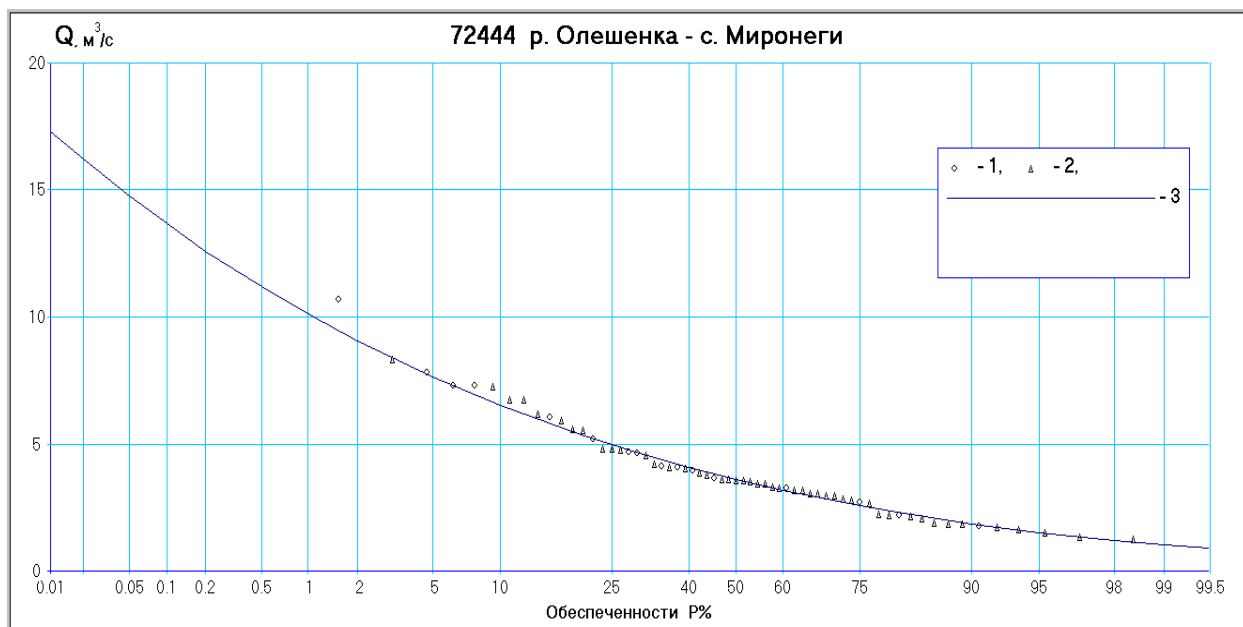


Рисунок А.10 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (3) кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды (2-продлённый ряд)

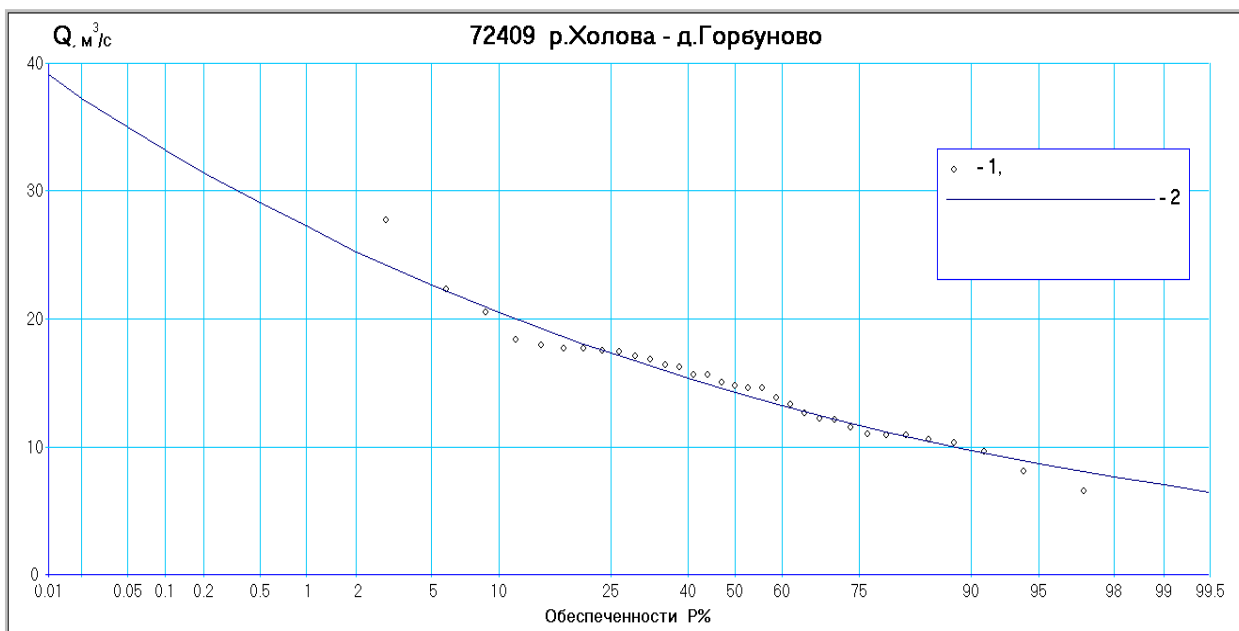


Рисунок А.11 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды

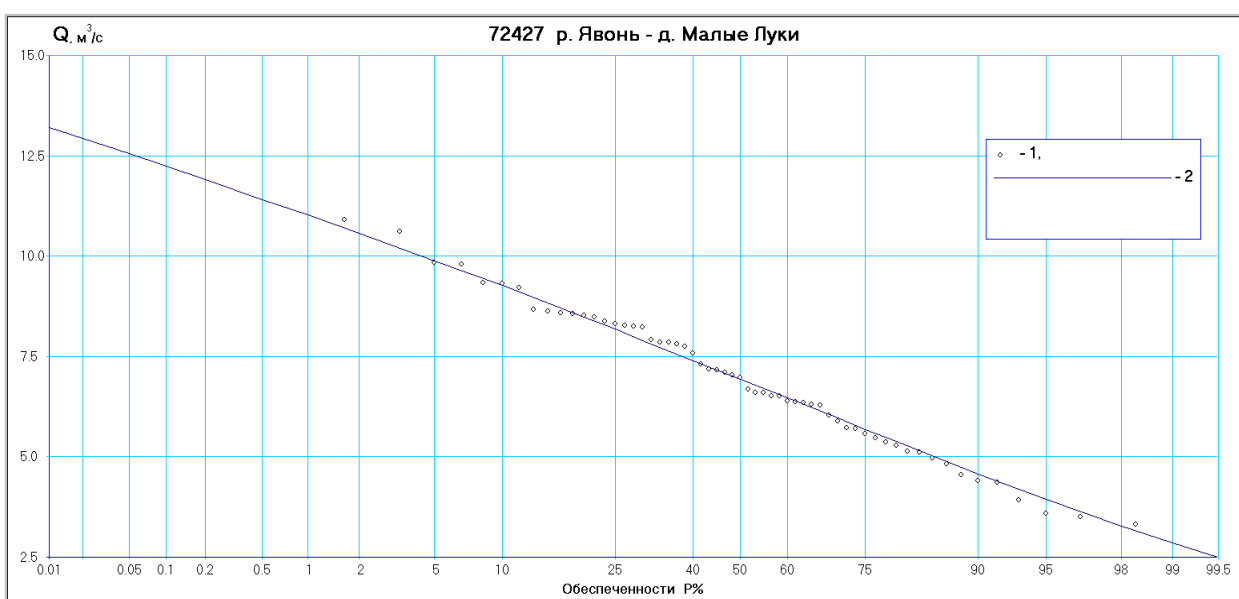


Рисунок А.12 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ЭМПИРИЧЕСКИЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ И СЛОЁВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

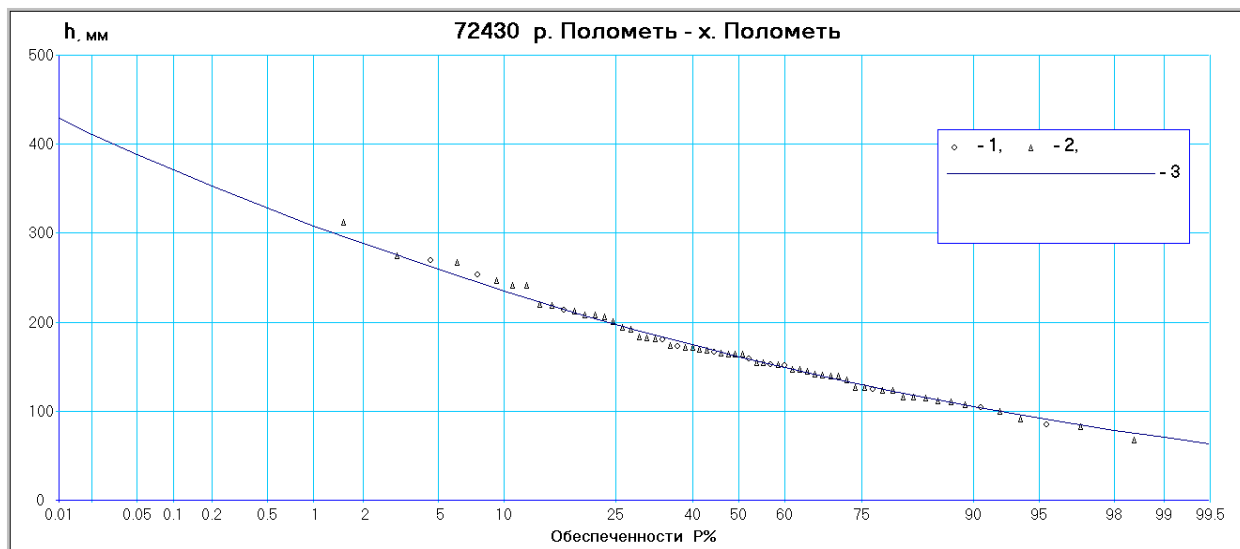


Рисунок Б.1 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля.
(3) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья (2
– продлённый ряд)

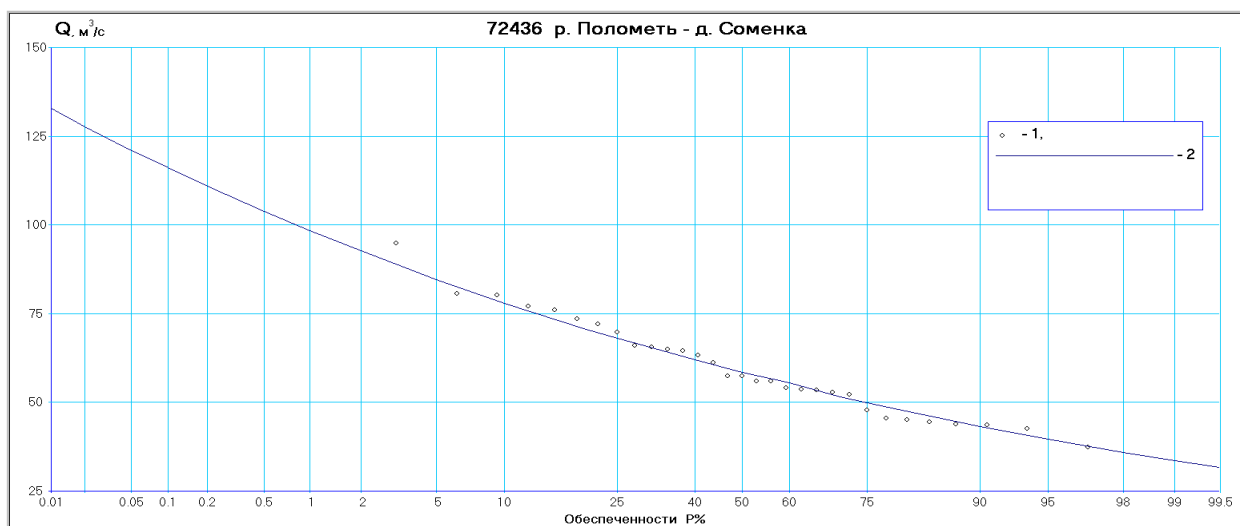


Рисунок Б.2 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля
(2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья

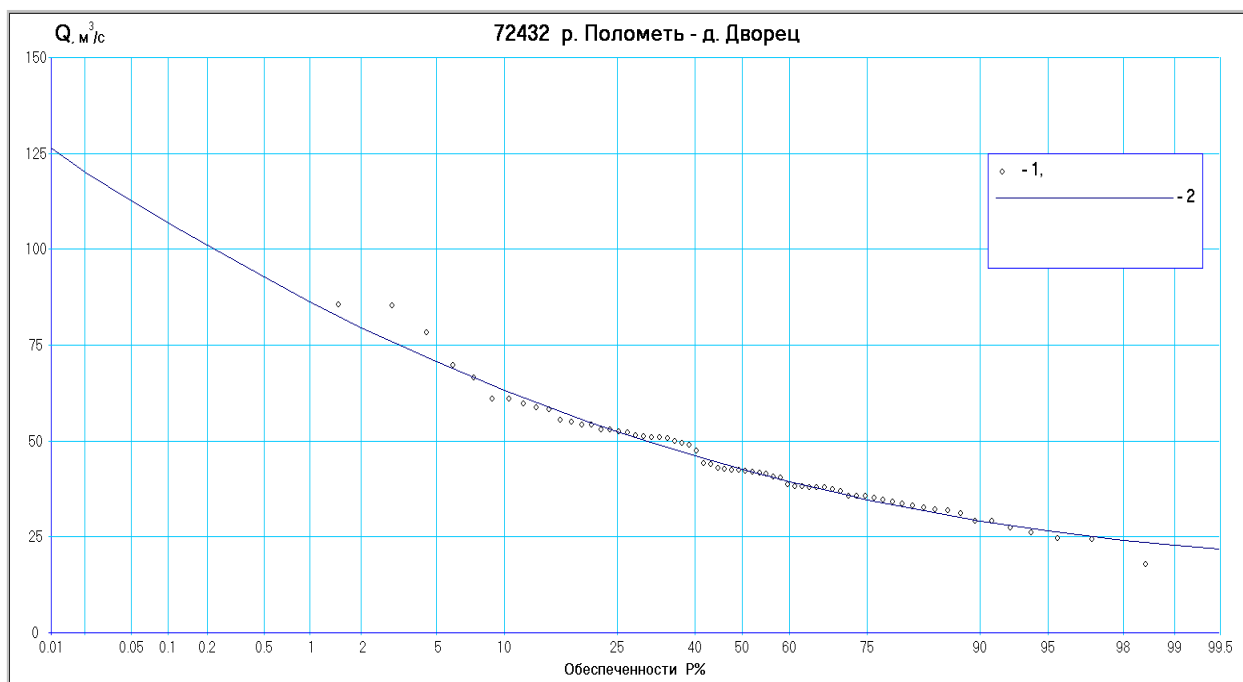


Рисунок Б.3 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья

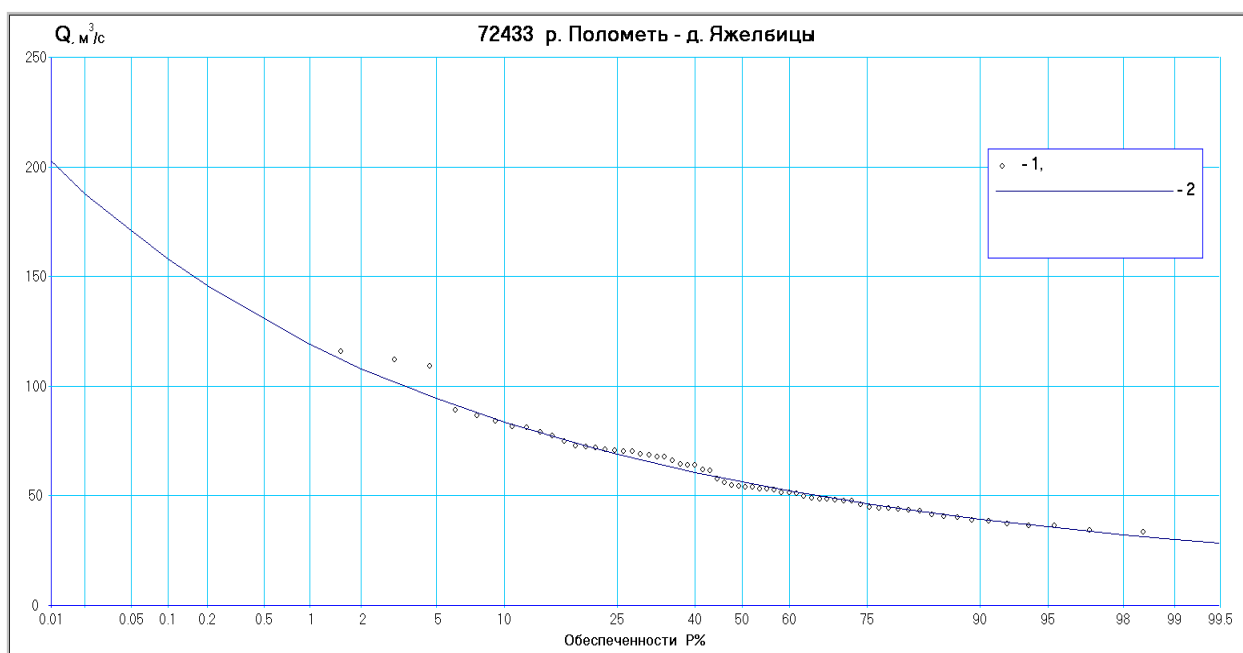


Рисунок Б.4 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья

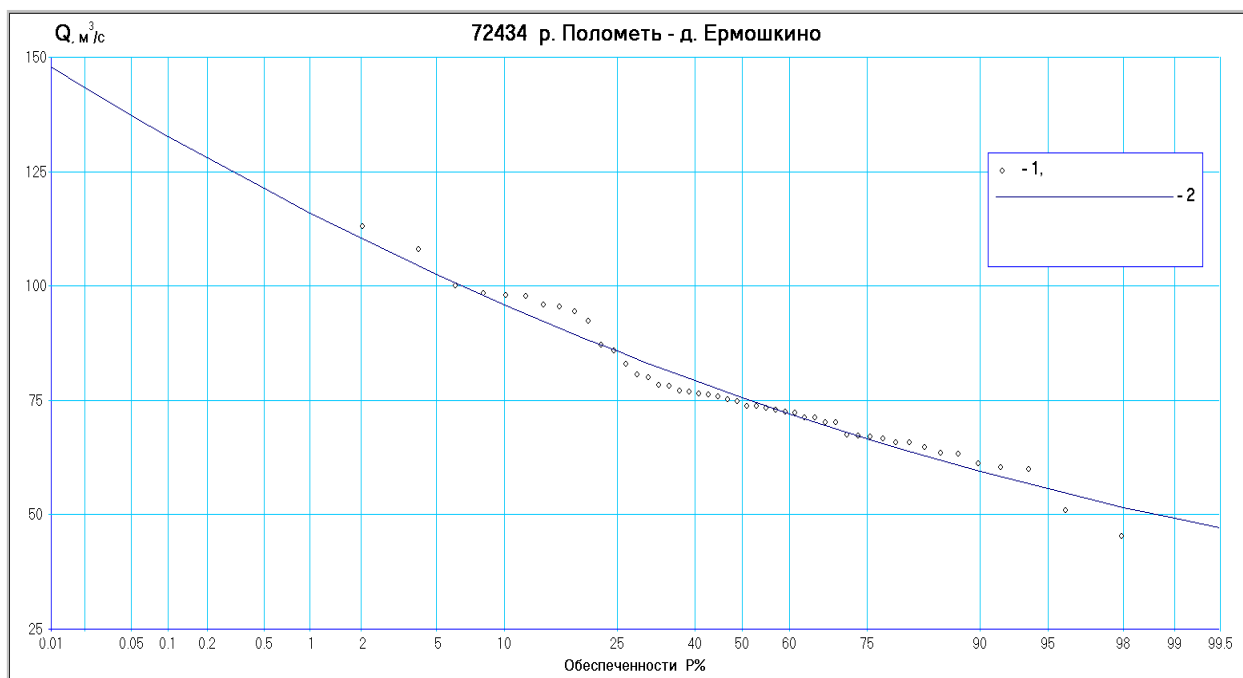


Рисунок Б.5 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья

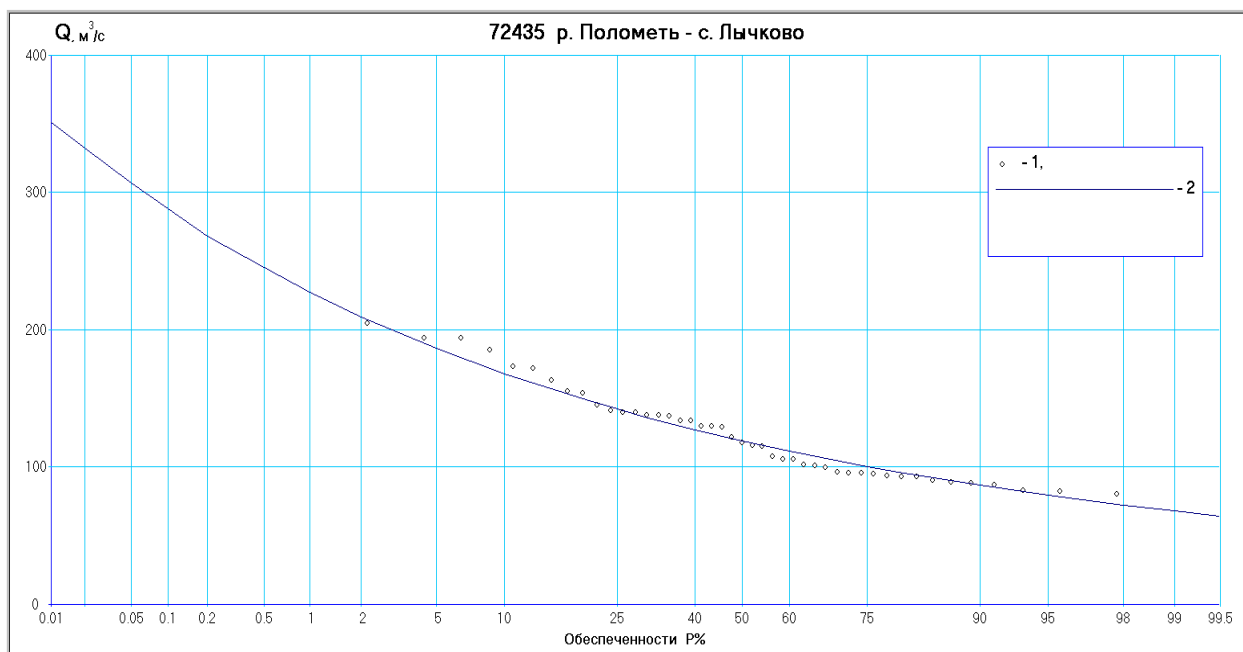


Рисунок Б.6 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья

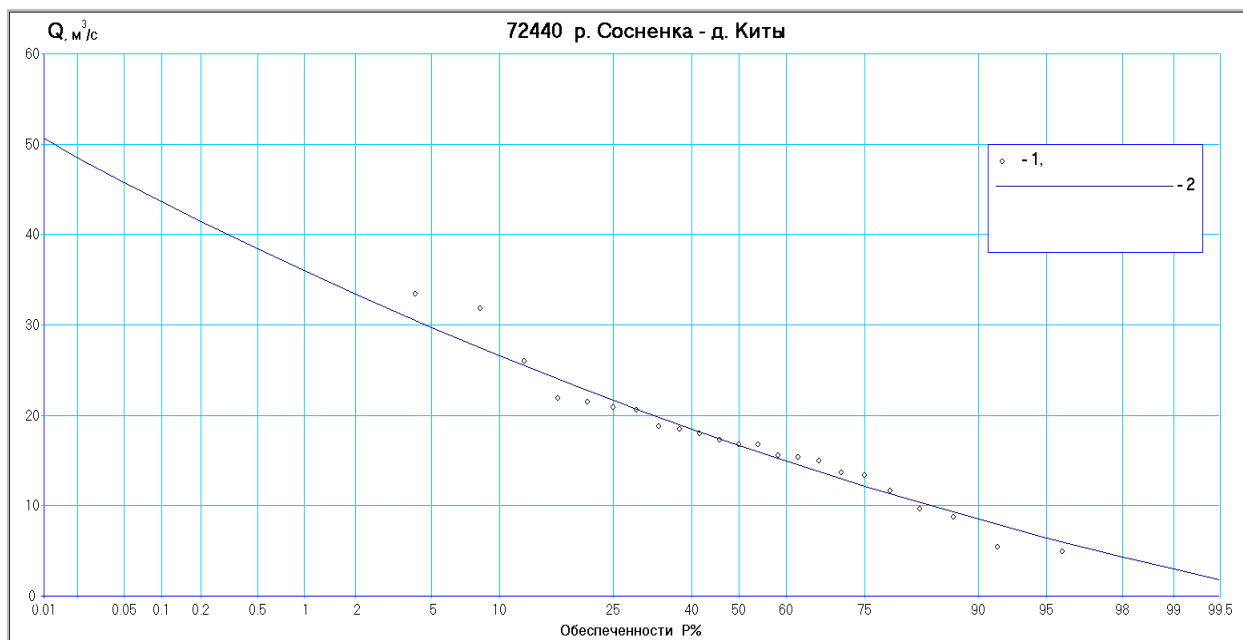


Рисунок Б.7 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья.

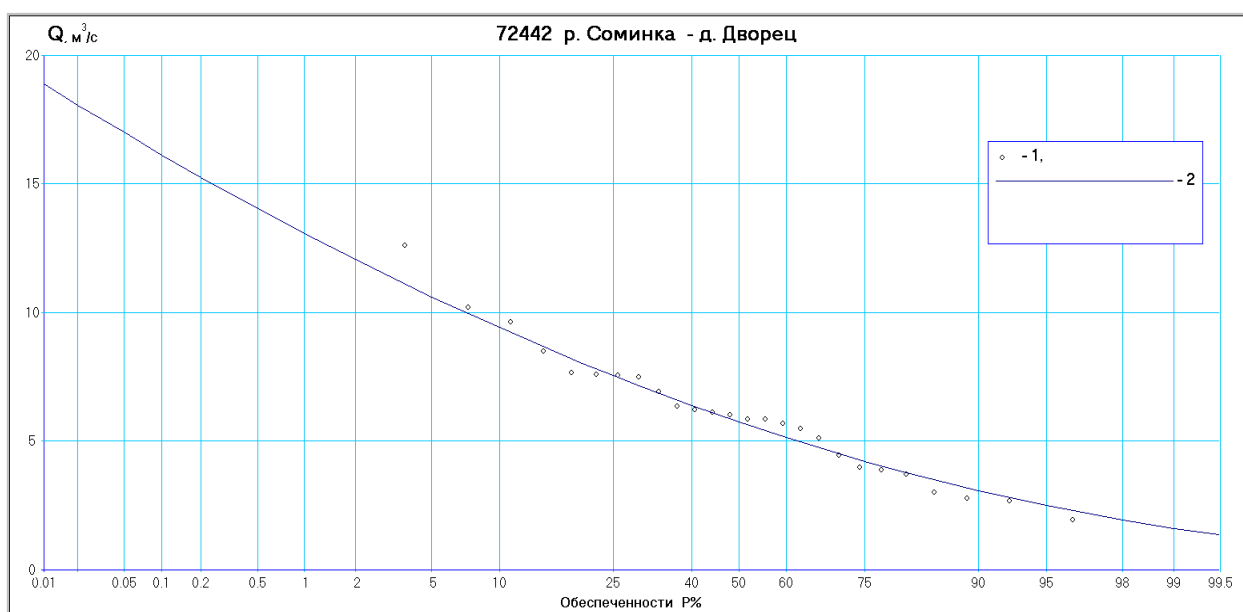


Рисунок Б.8 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья.

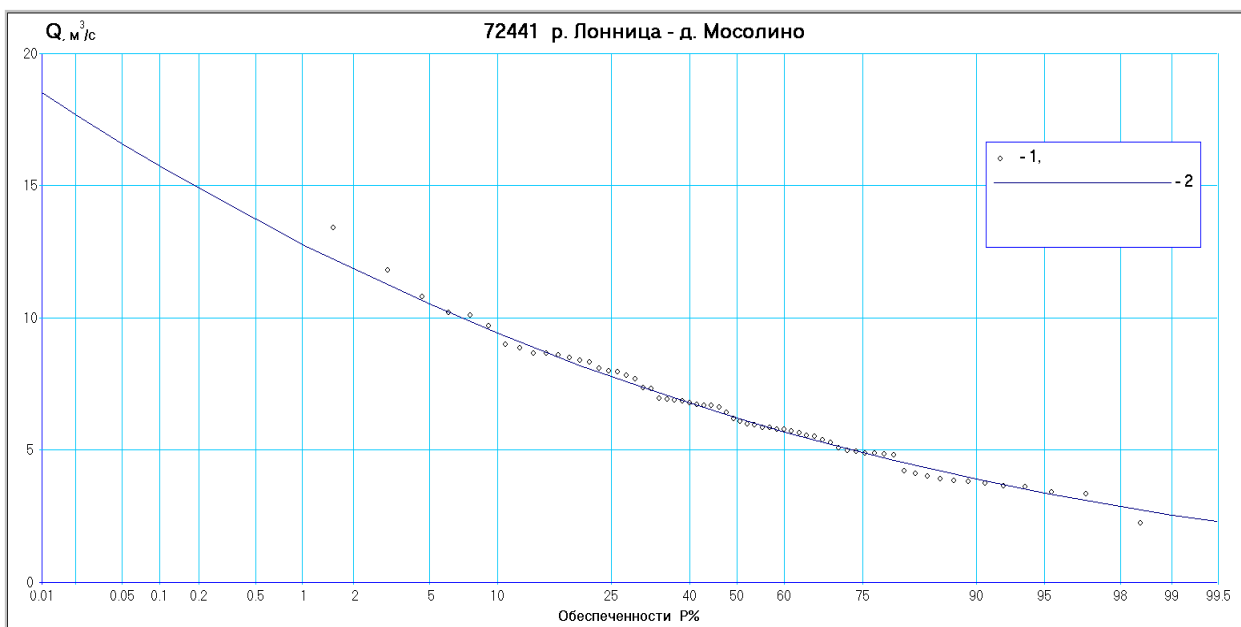


Рисунок Б.9 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья.

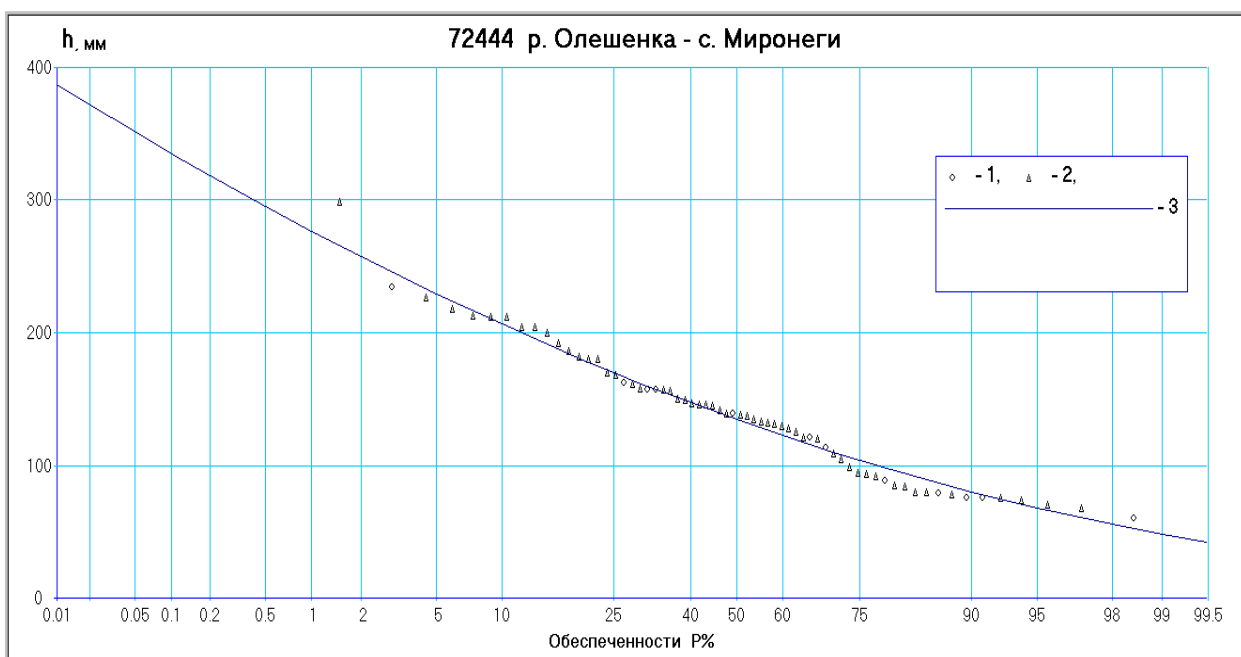


Рисунок Б.10 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья (2 – продлённый ряд)

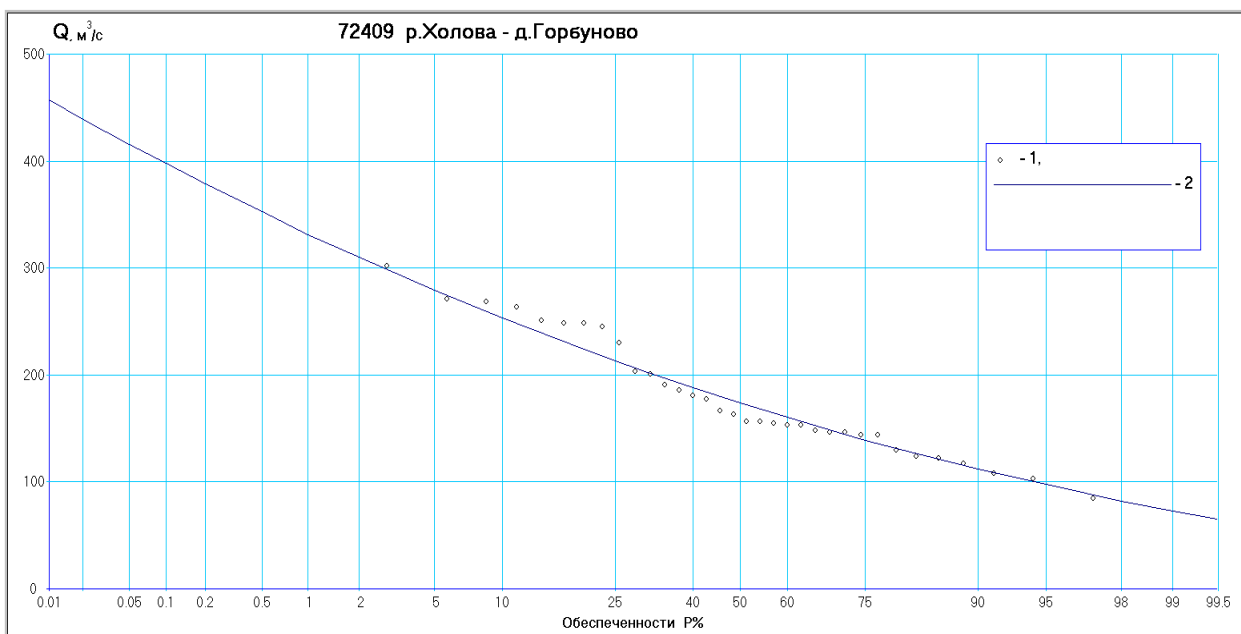


Рисунок Б.11 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья.

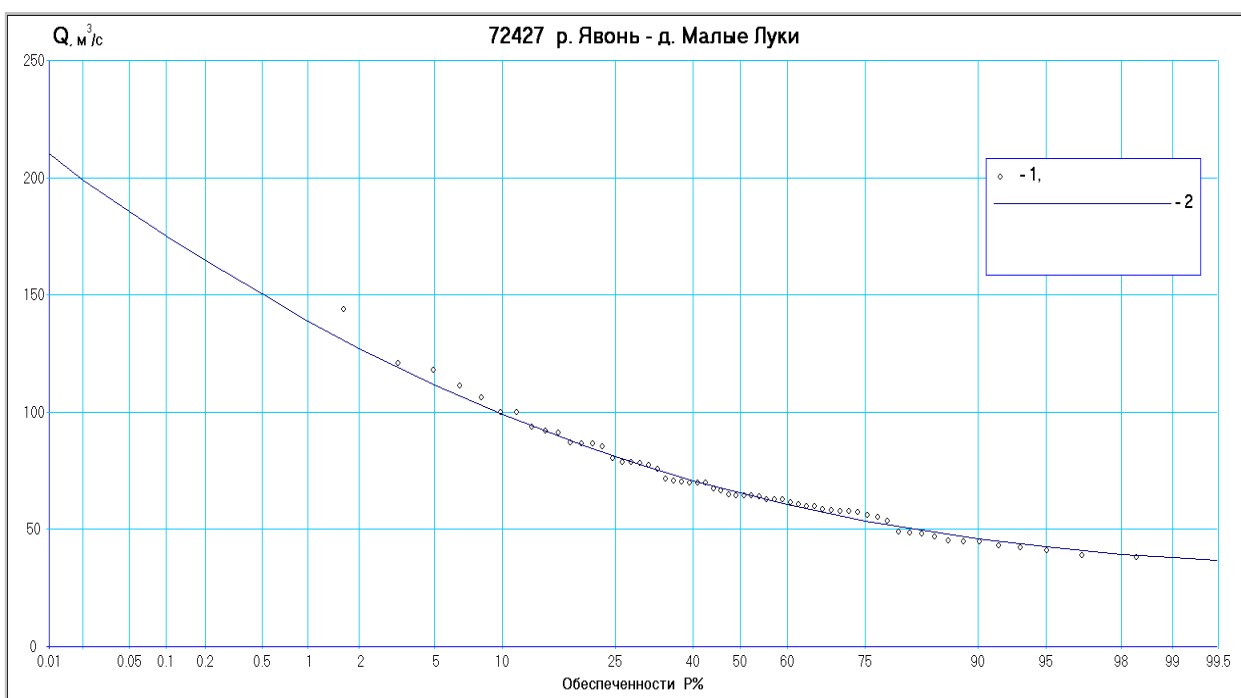


Рисунок Б.12 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья.

ЭМПИРИЧЕСКИЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ СЛОЁВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

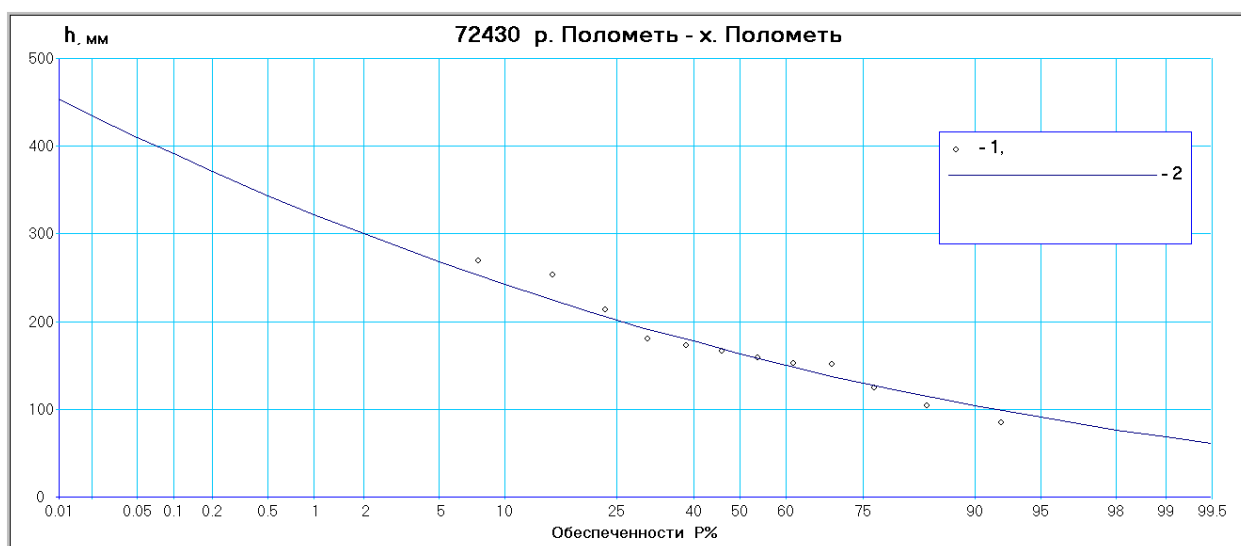


Рисунок Б.13 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей слоёв весеннего половодья.

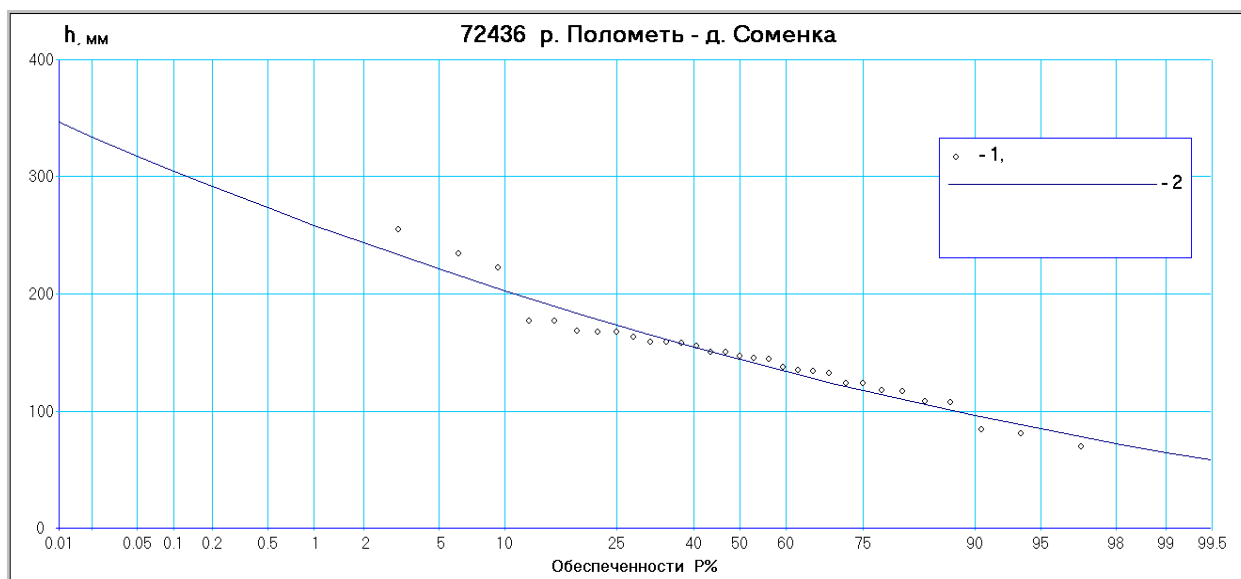


Рисунок Б.14 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей слоёв весеннего половодья.

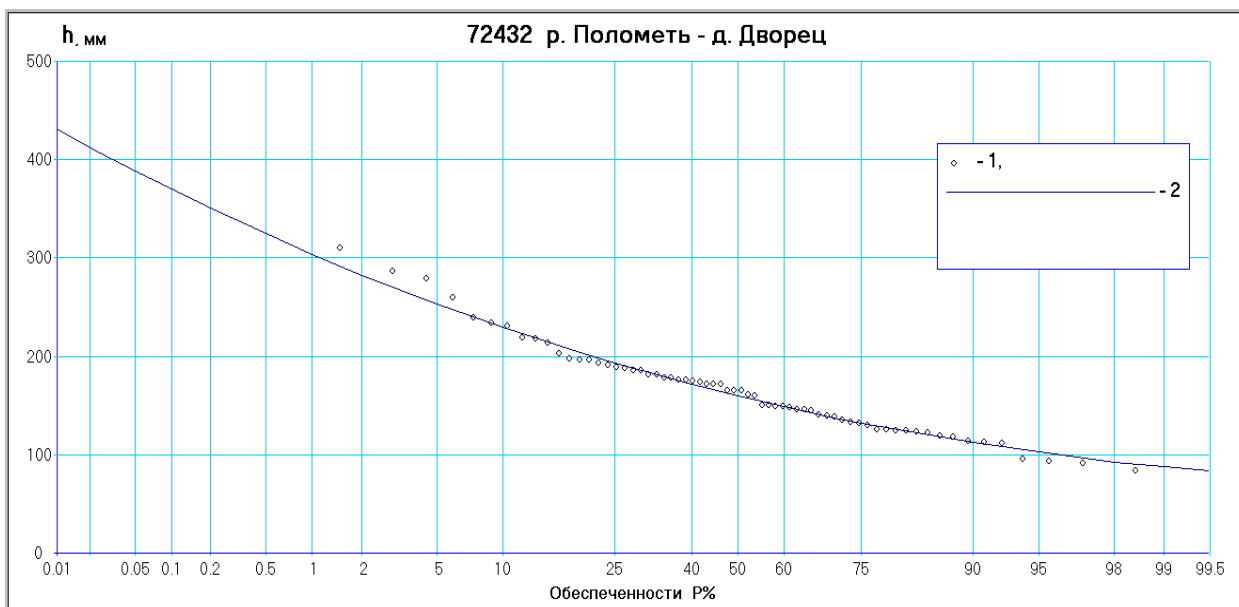


Рисунок Б.15 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей слоёв весеннего половодья.

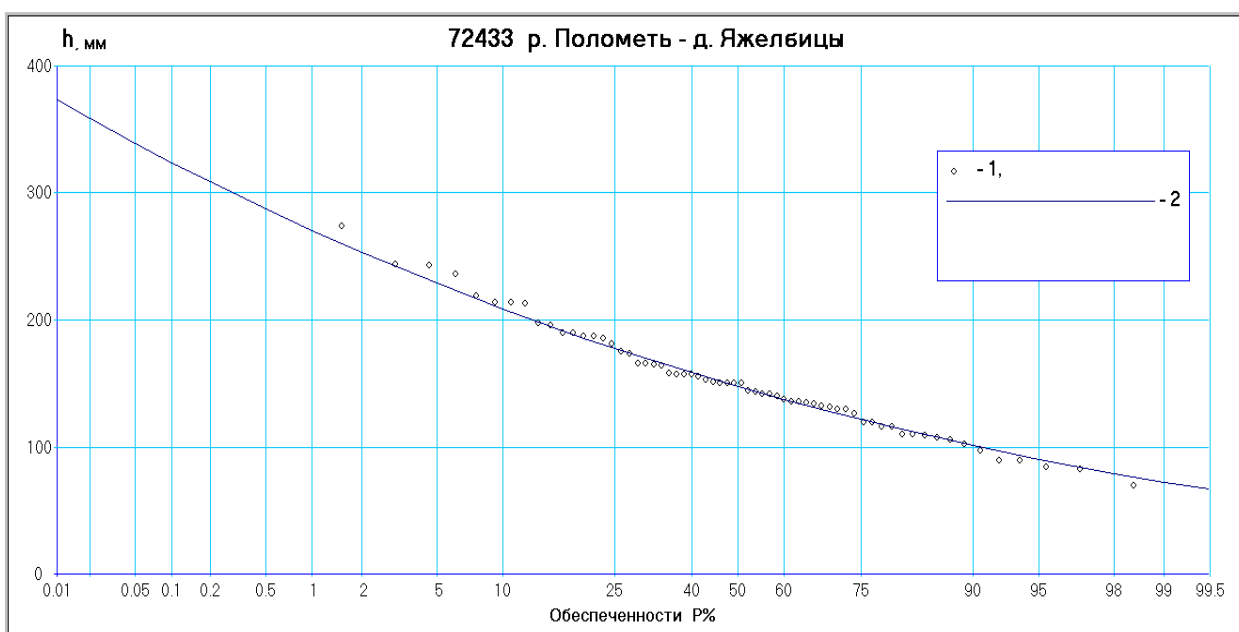


Рисунок Б.16 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей слоёв весеннего половодья.

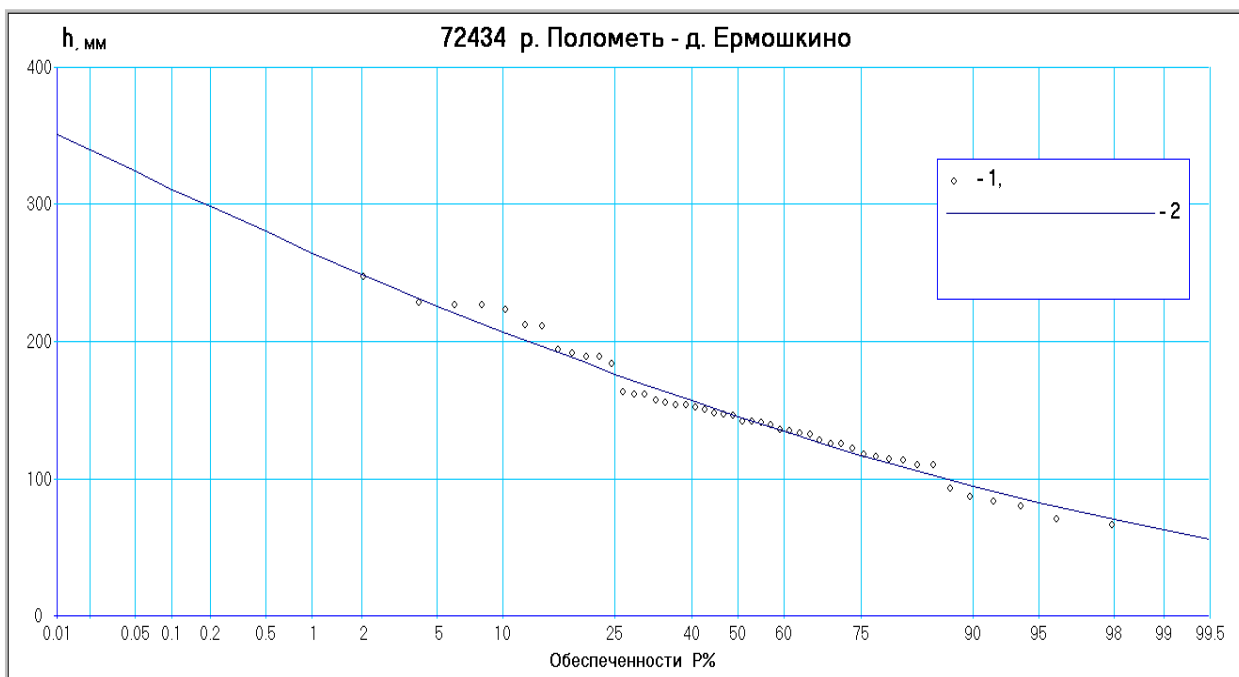


Рисунок Б.17 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей слоёв весеннего половодья.

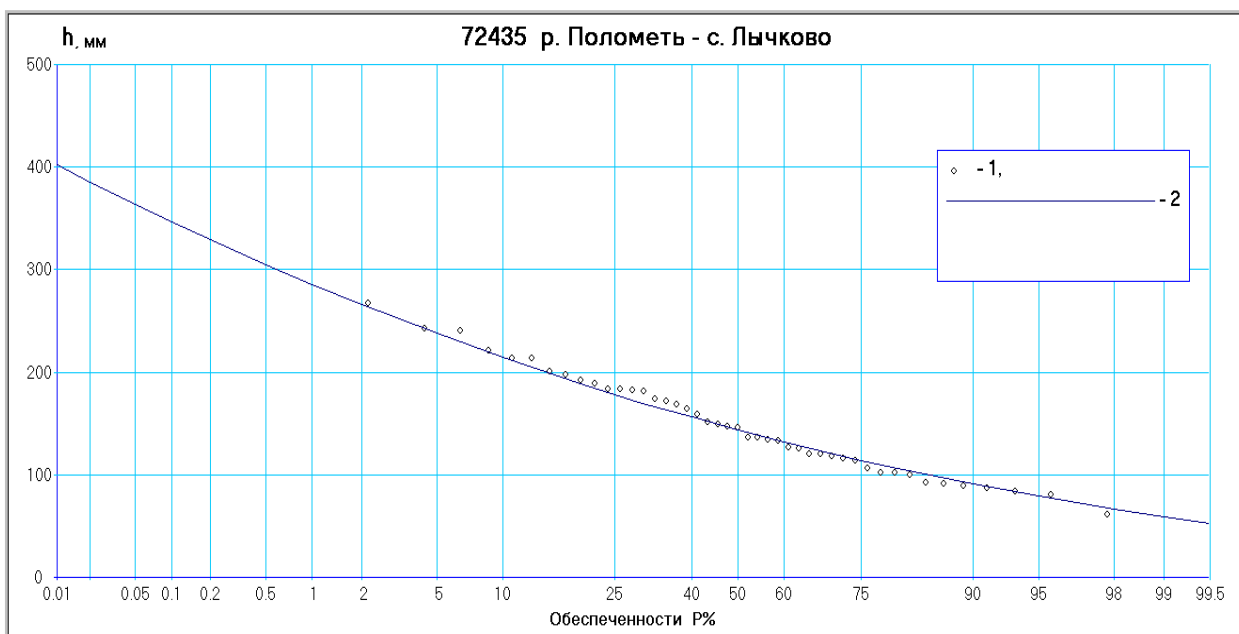


Рисунок Б.18 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей слоёв весеннего половодья.

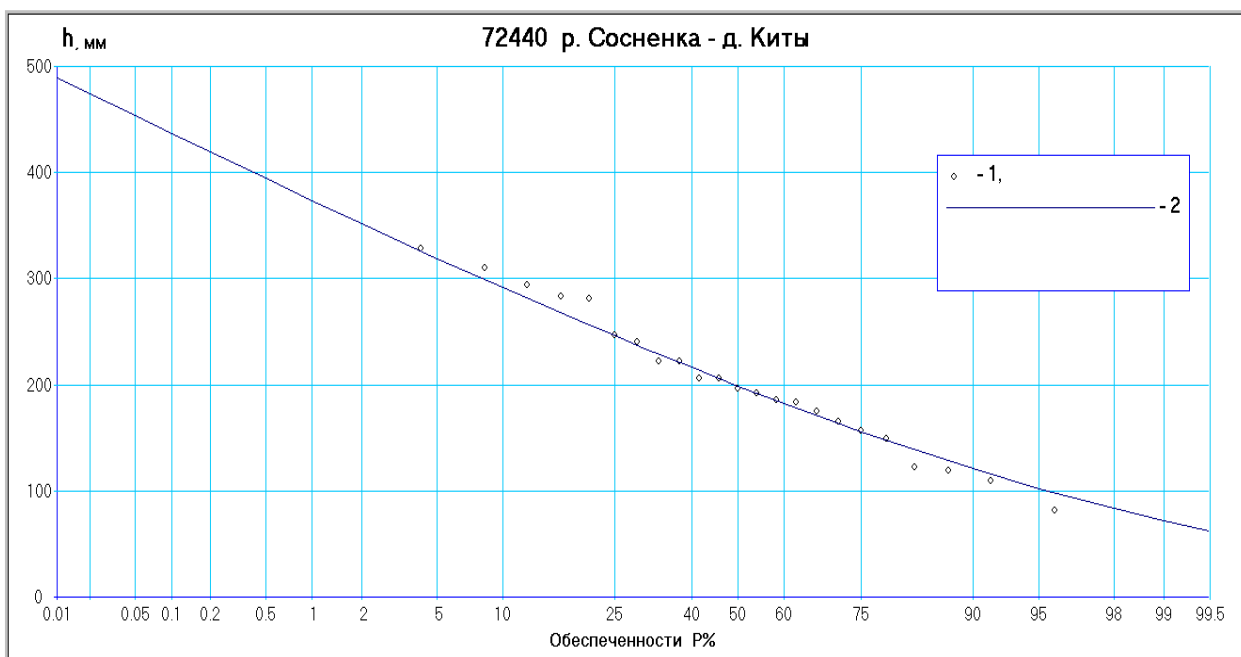


Рисунок Б.19 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей слоёв весеннего половодья.

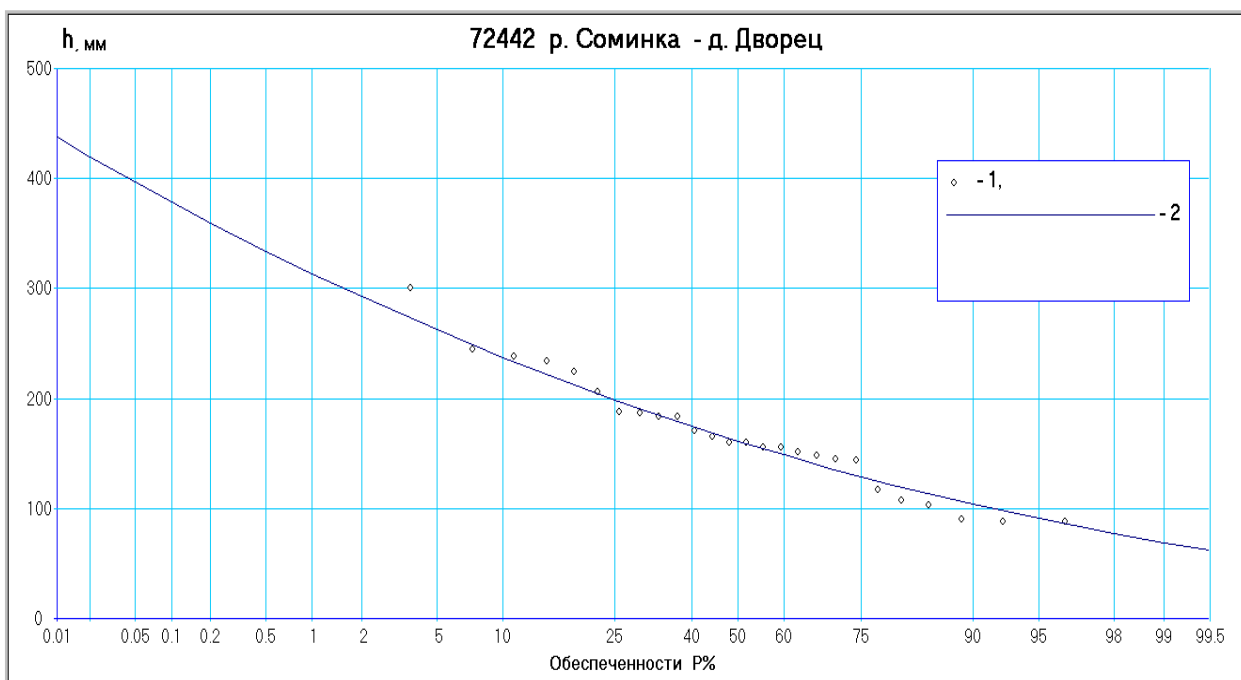


Рисунок Б.20 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей слоёв весеннего половодья.

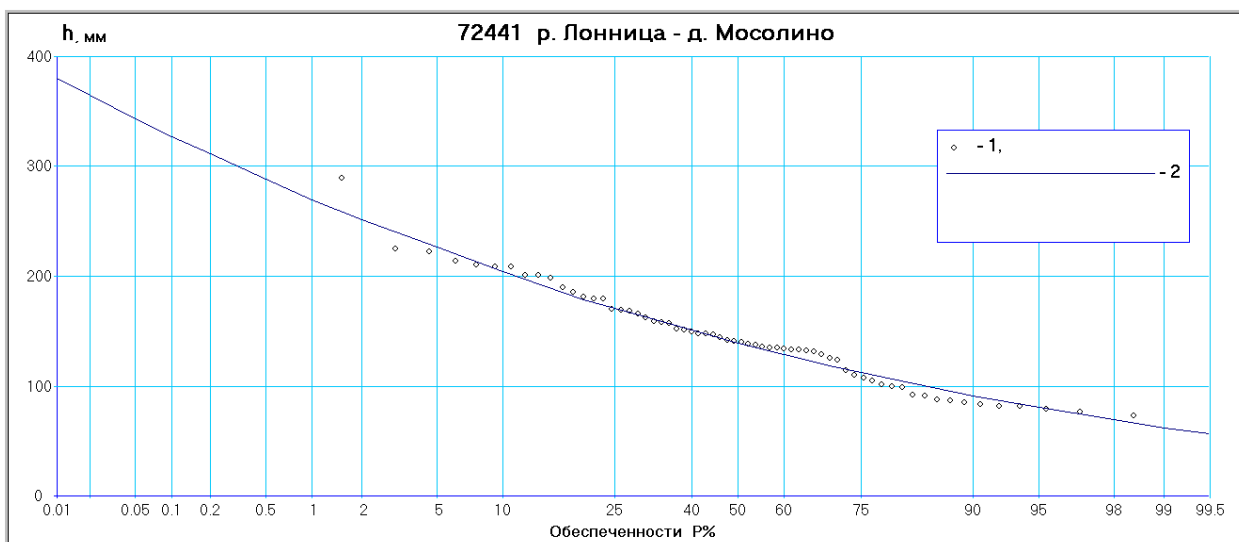


Рисунок Б.21 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей слоёв весеннего половодья.

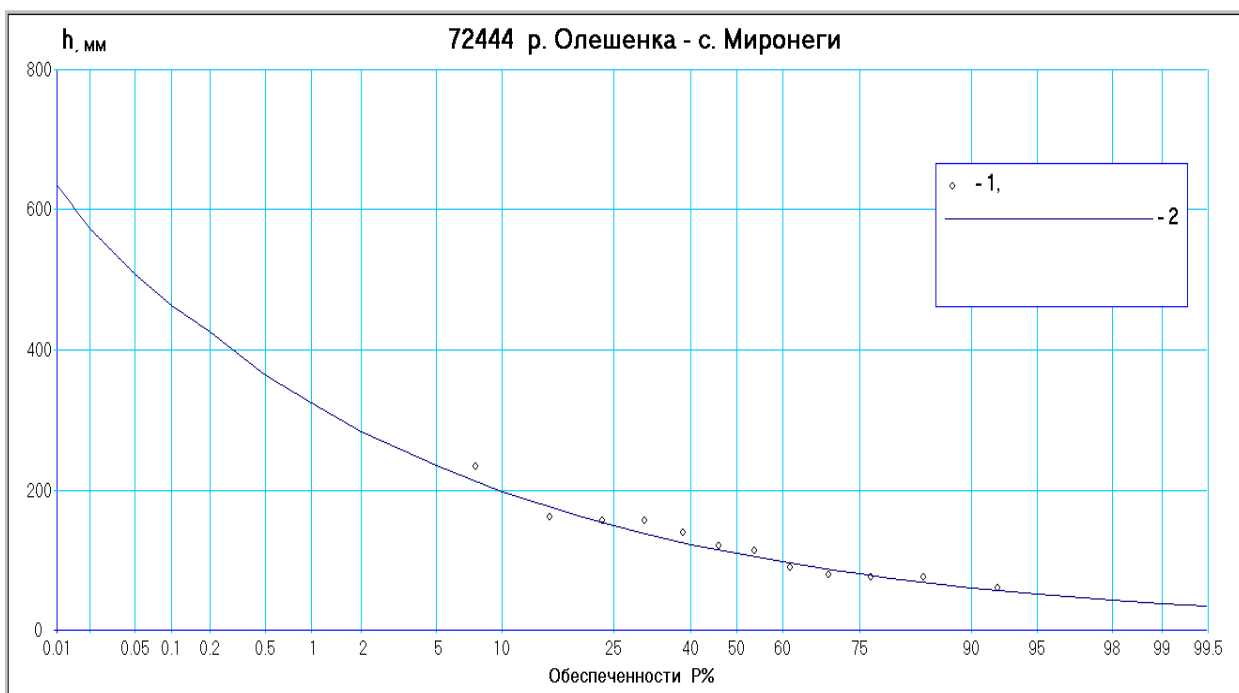


Рисунок Б.22 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей слоёв весеннего половодья.

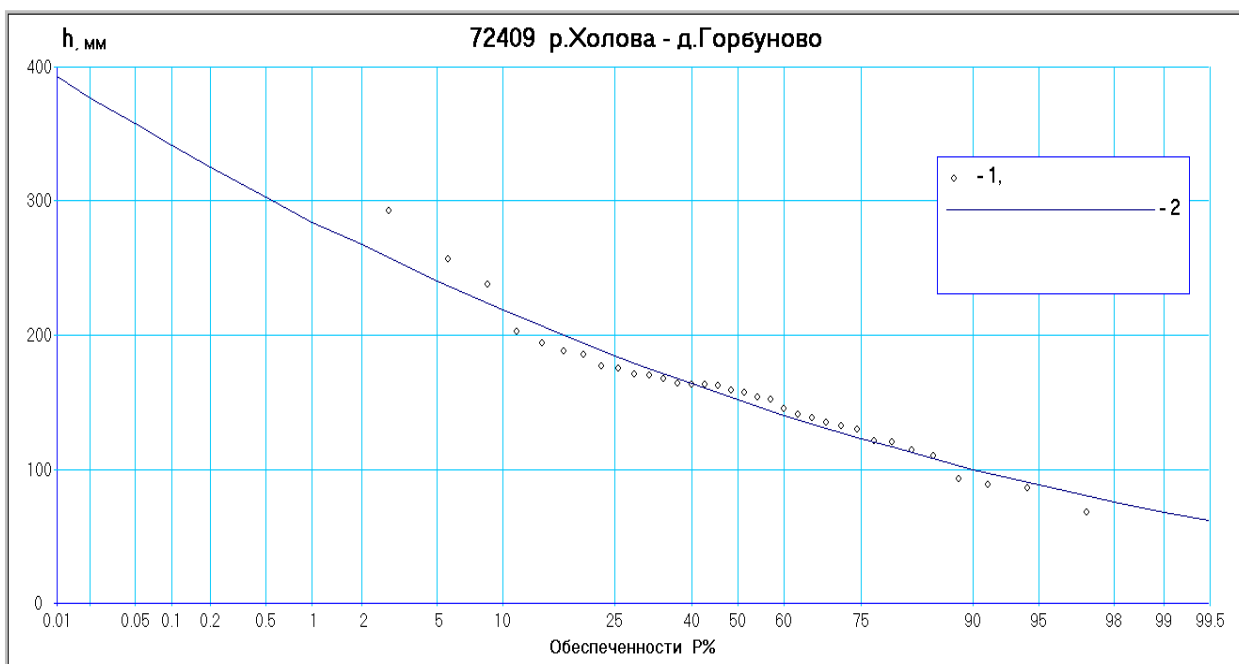


Рисунок Б.23 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей слоёв весеннего половодья.

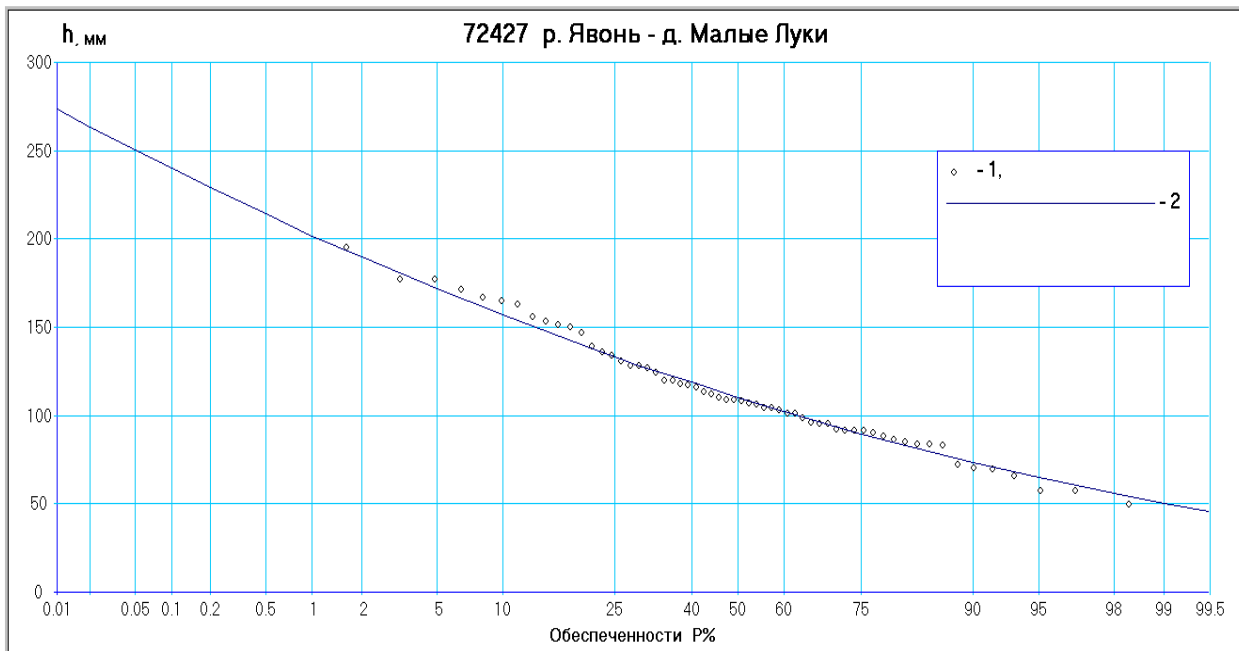


Рисунок Б.24 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей слоёв весеннего половодья.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ЭМПИРИЧЕСКИЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ МИНИМАЛЬНЫХ 30 – СУТОЧНЫХ РАСХОДОВ ЛЕТНЕ - ОСЕННЕЙ МЕЖЕНИ РЕК ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

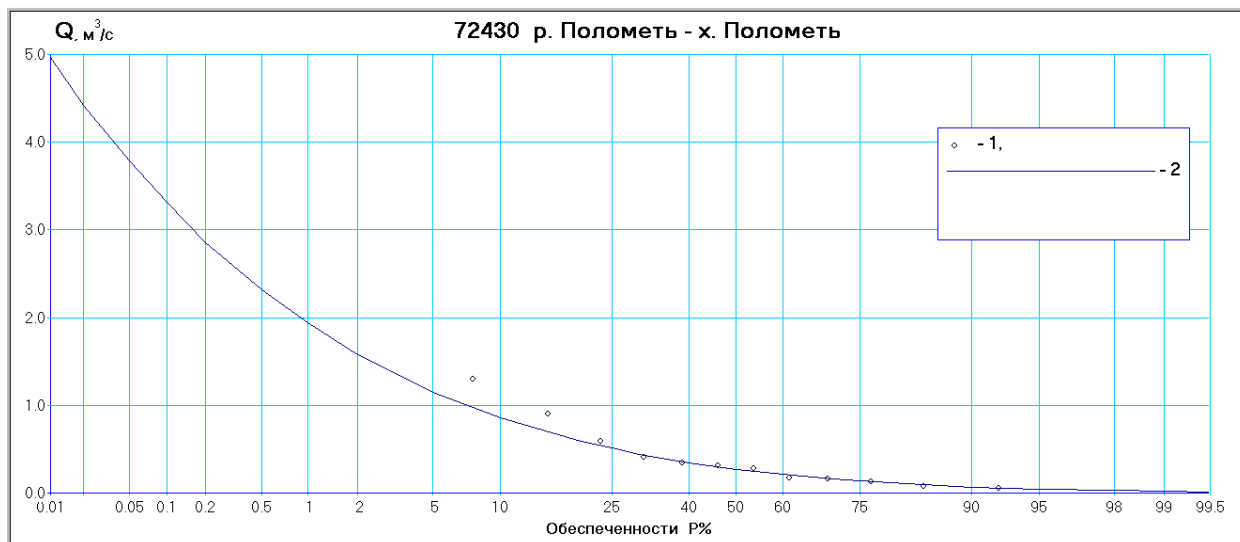


Рисунок В.1 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных 30 - суточных расходов воды

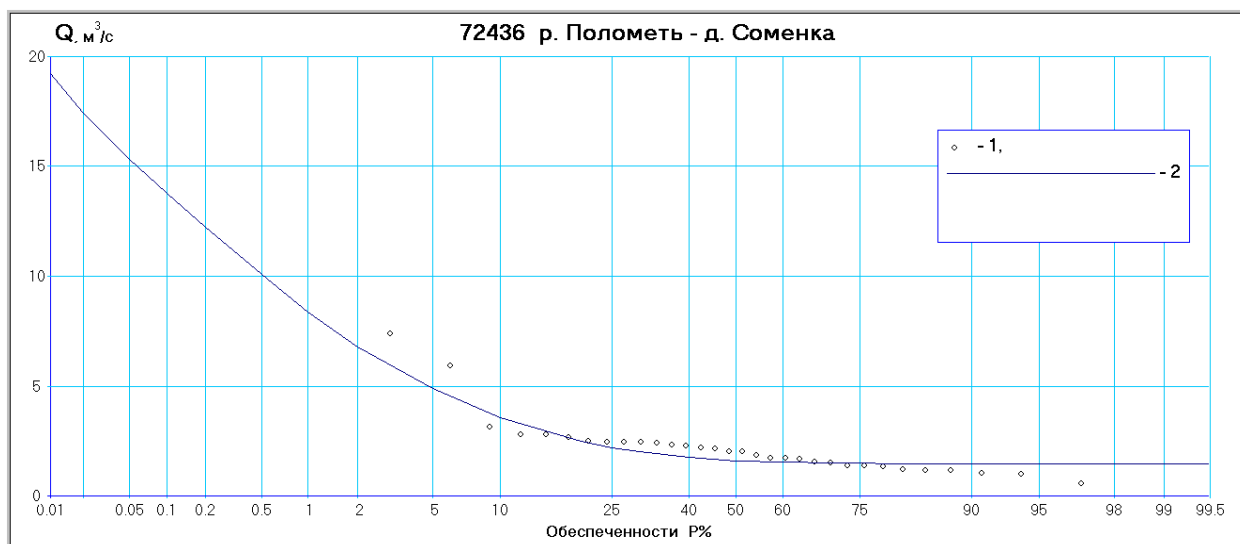


Рисунок В.2 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей минимальных 30 - суточных расходов воды

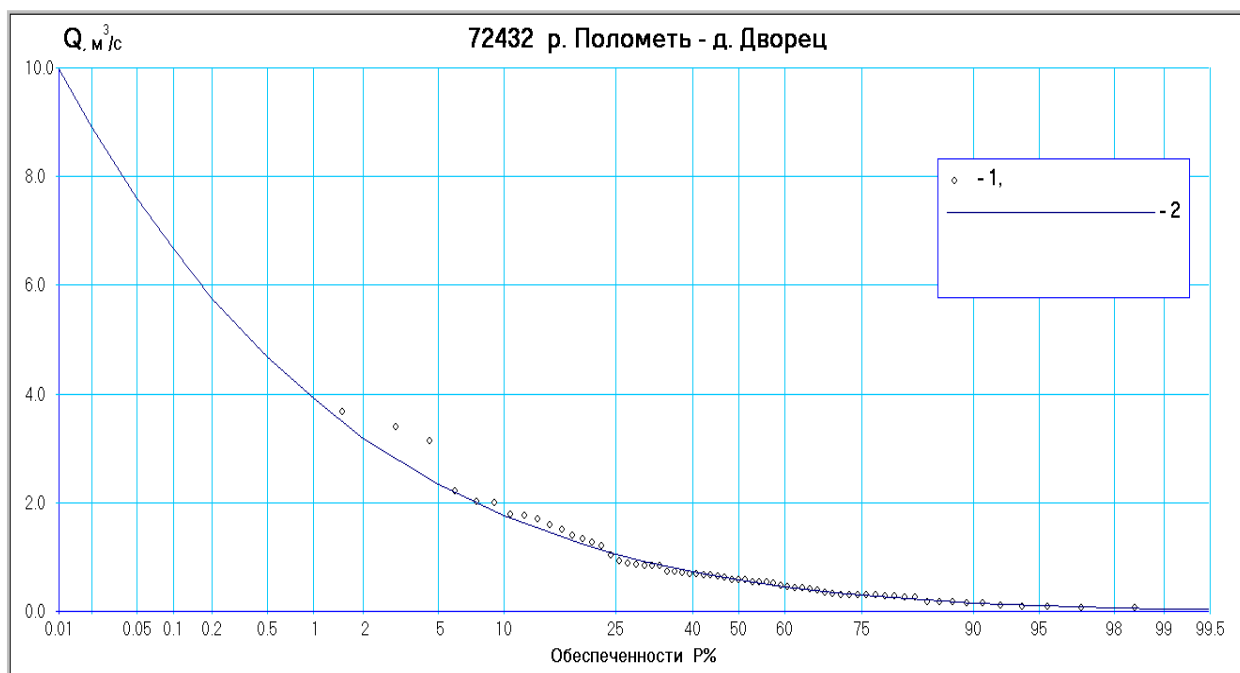


Рисунок В.3 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных 30 - суточных расходов воды

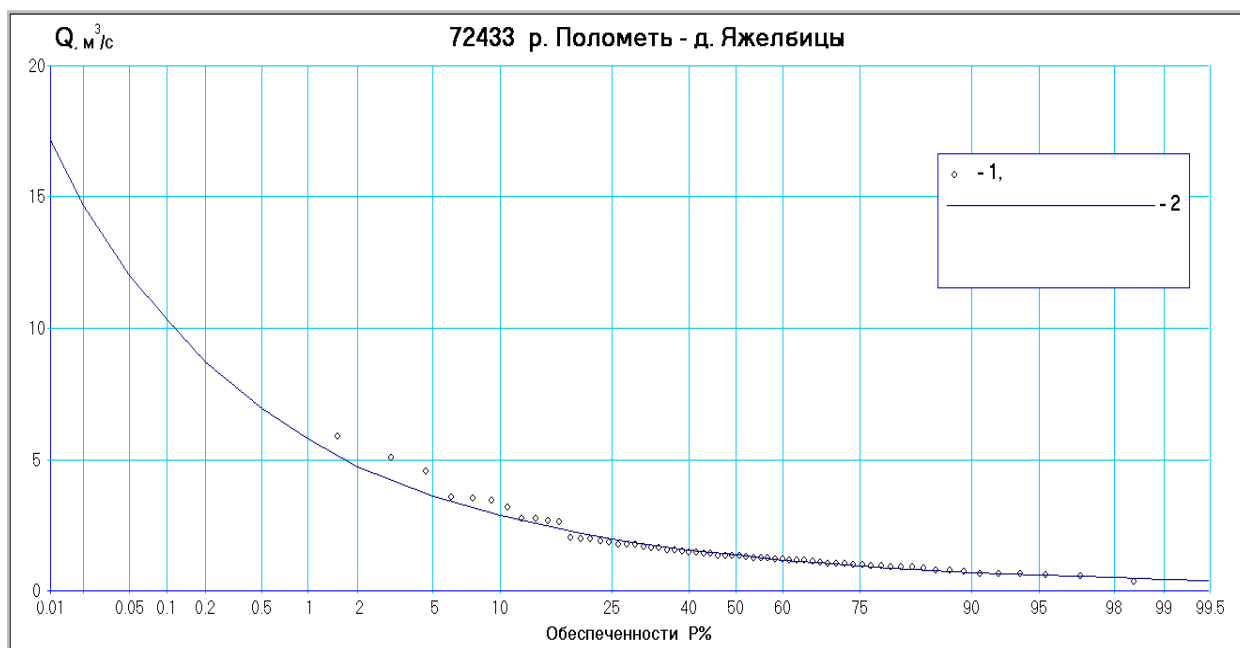


Рисунок В.4 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных 30 - суточных расходов воды

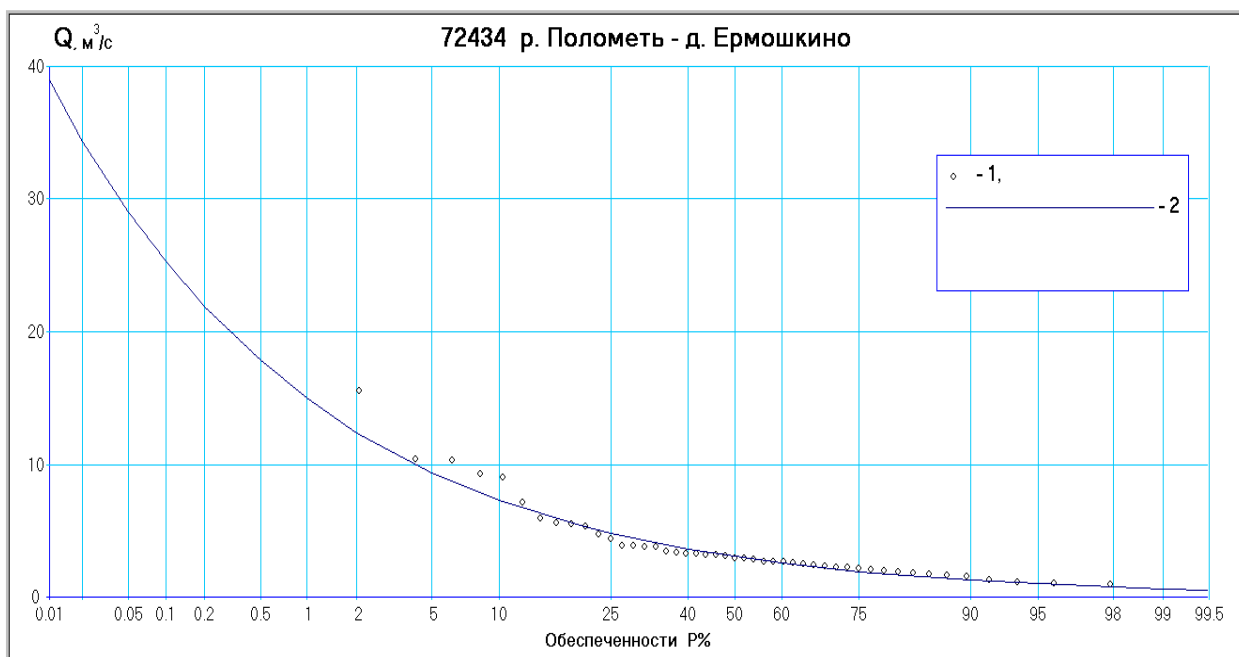


Рисунок В.5 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных 30 - суточных расходов воды

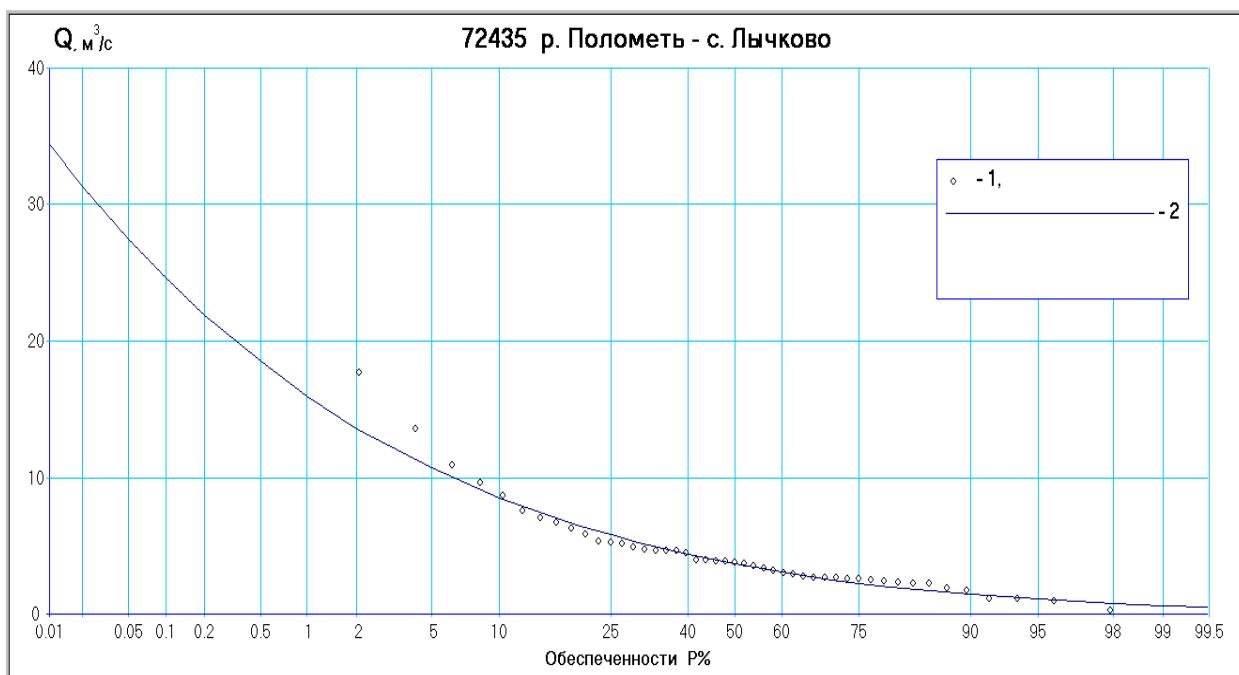


Рисунок В.6 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных 30 - суточных расходов воды

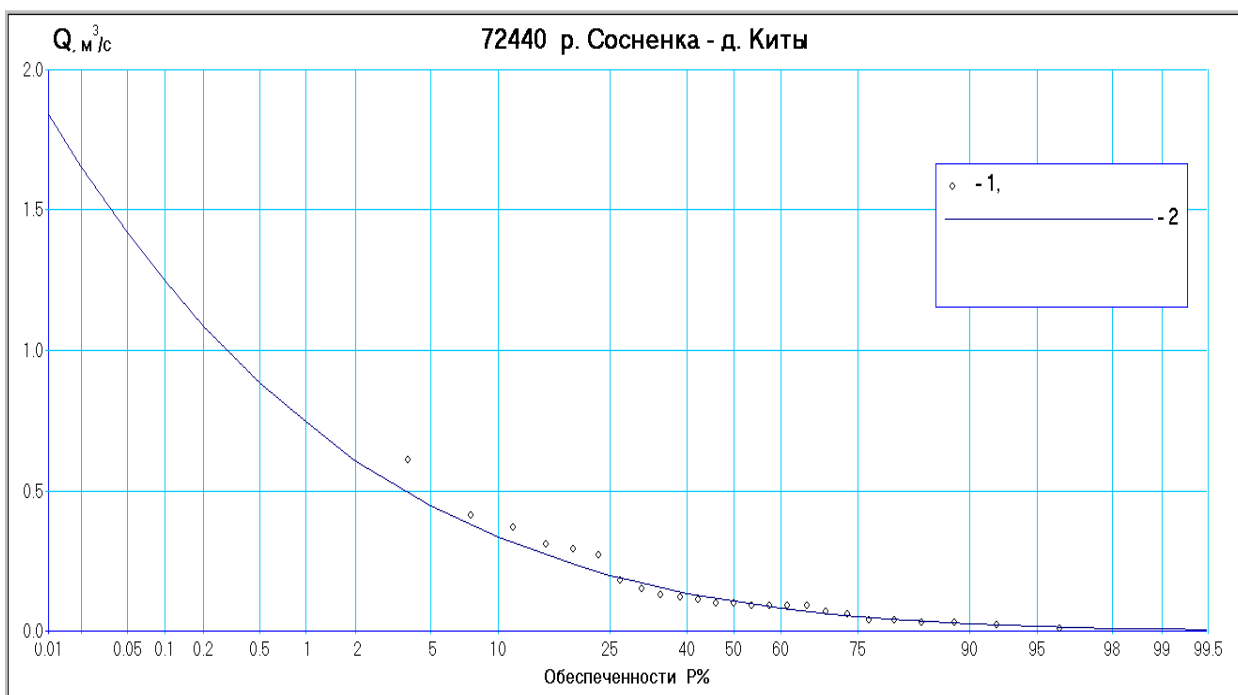


Рисунок В.7 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных 30 - суточных расходов воды

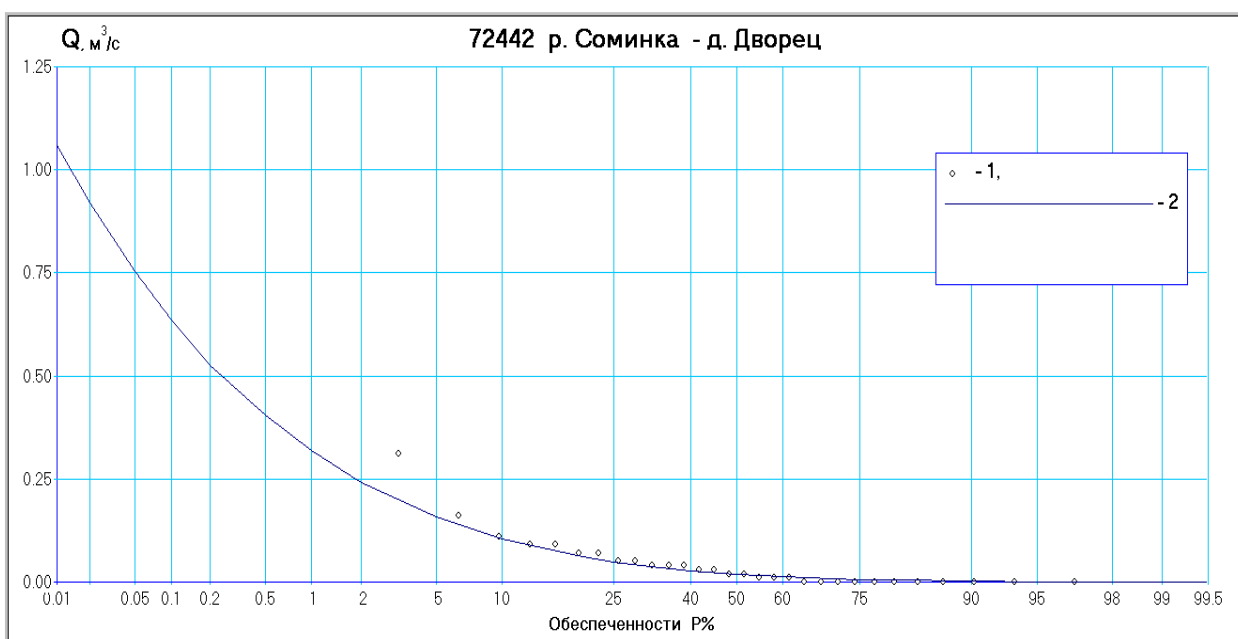


Рисунок В.8 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных 30 - суточных расходов воды

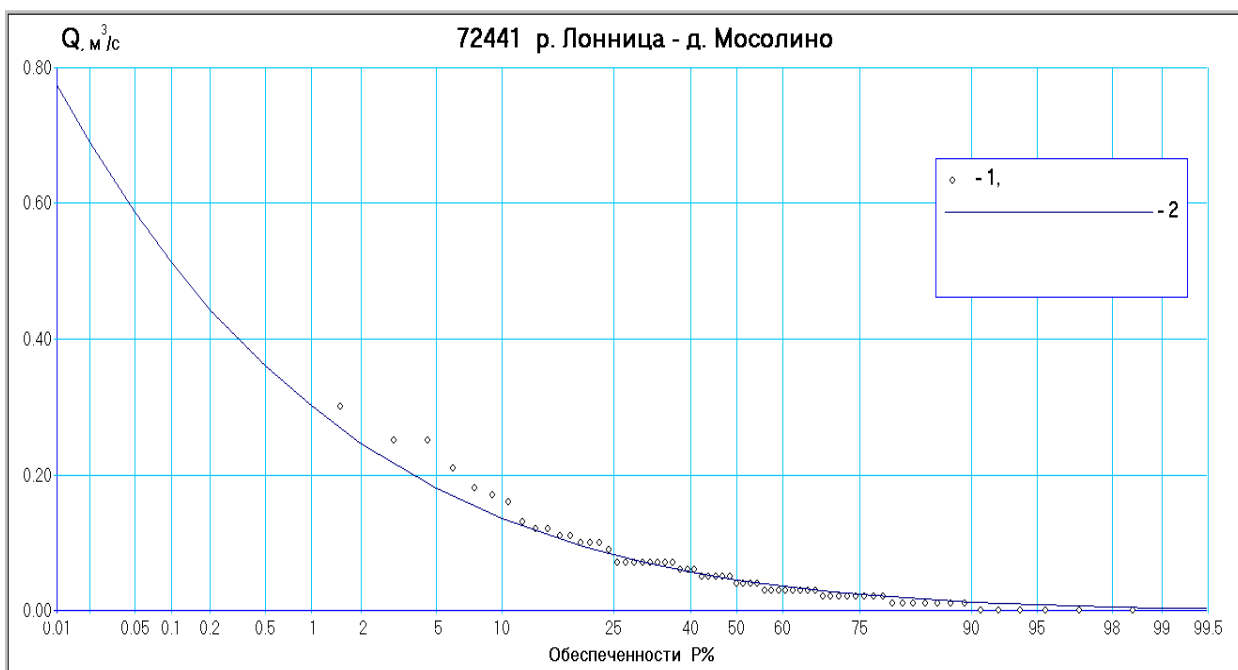


Рисунок В.9 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных 30 - суточных расходов воды

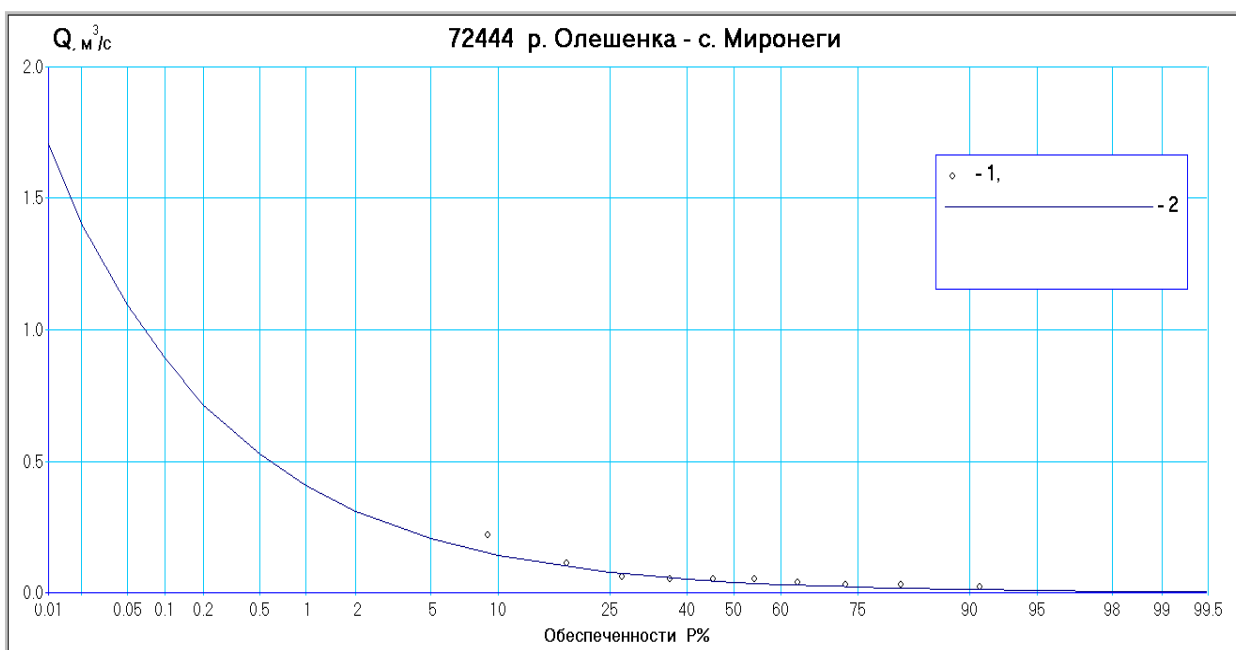


Рисунок В.10 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных 30 - суточных расходов воды

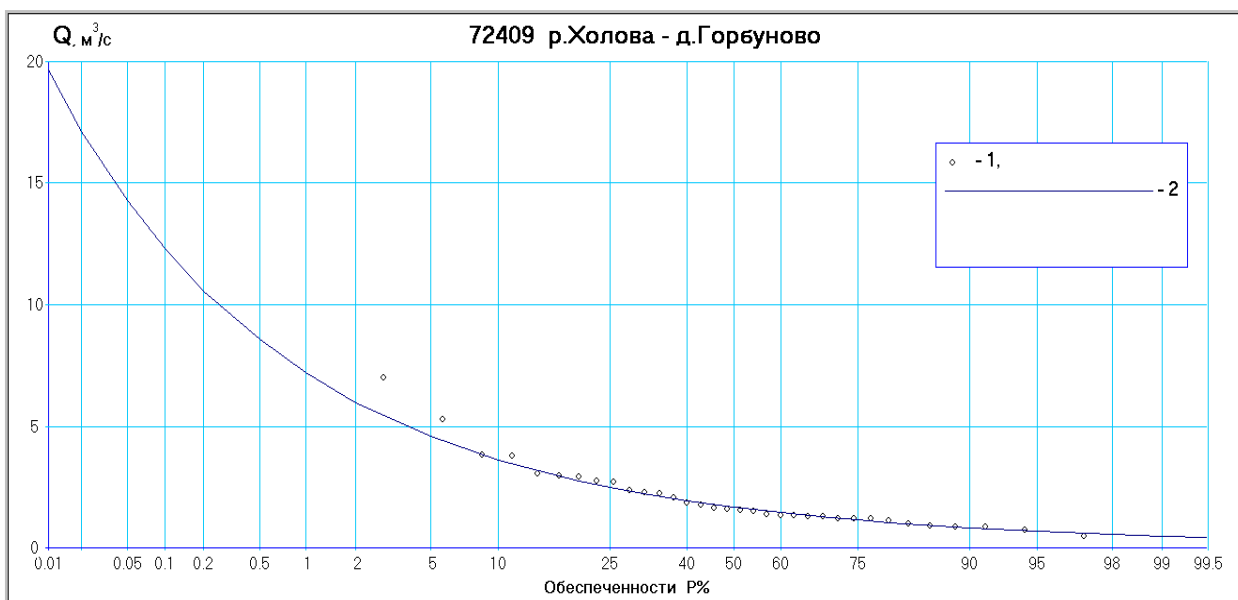


Рисунок В.11 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных 30 - суточных расходов воды

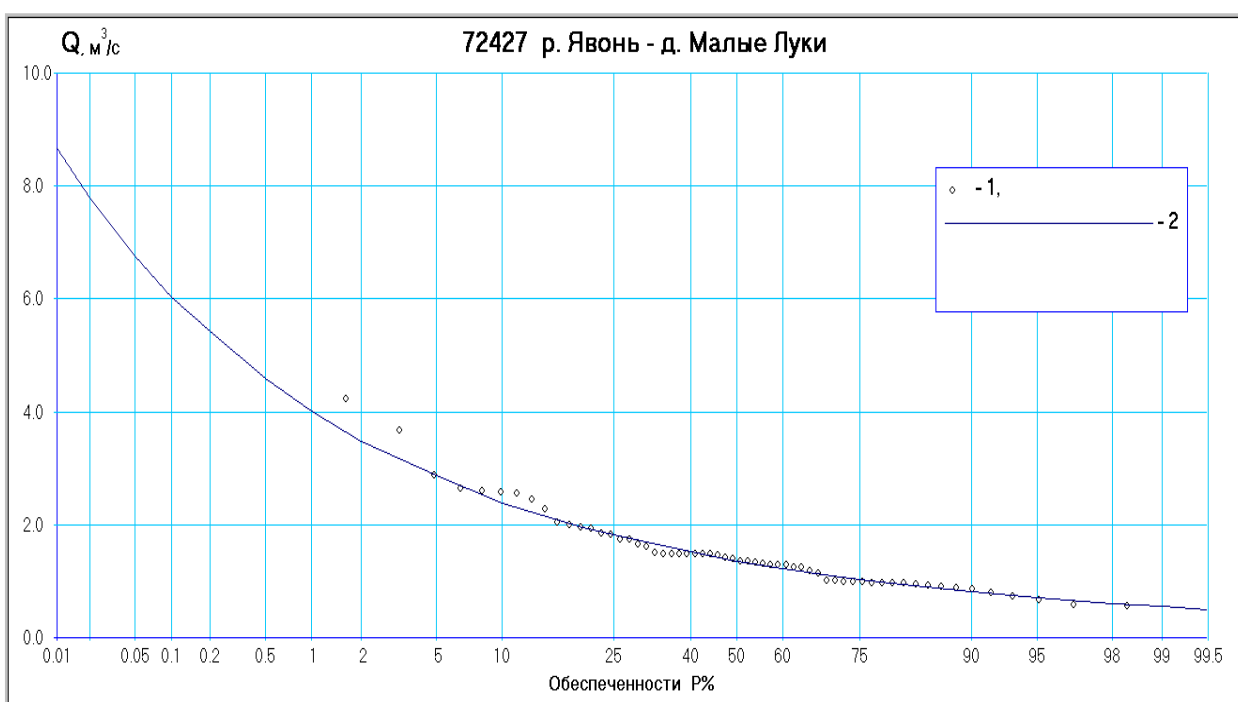


Рисунок В.12 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных 30 - суточных расходов воды

ЭМПИРИЧЕСКИЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ
МИНИМАЛЬНЫХ СУТОЧНЫХ РАСХОДОВ ЛЕТНЕ - ОСЕННЕЙ МЕЖЕНИ РЕК
ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

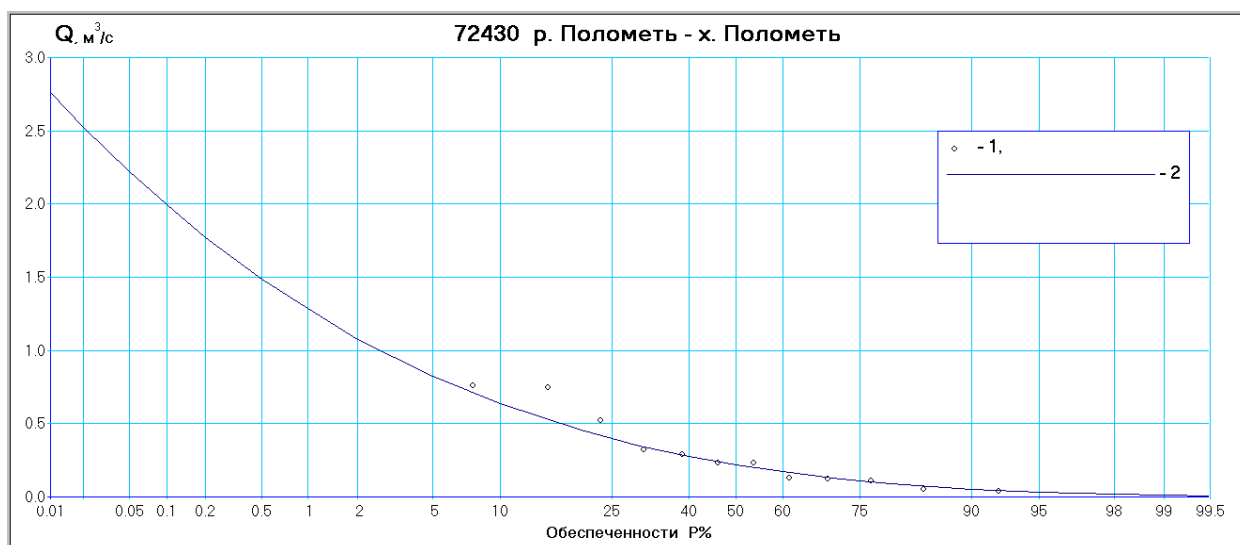


Рисунок В 13 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных суточных расходов воды

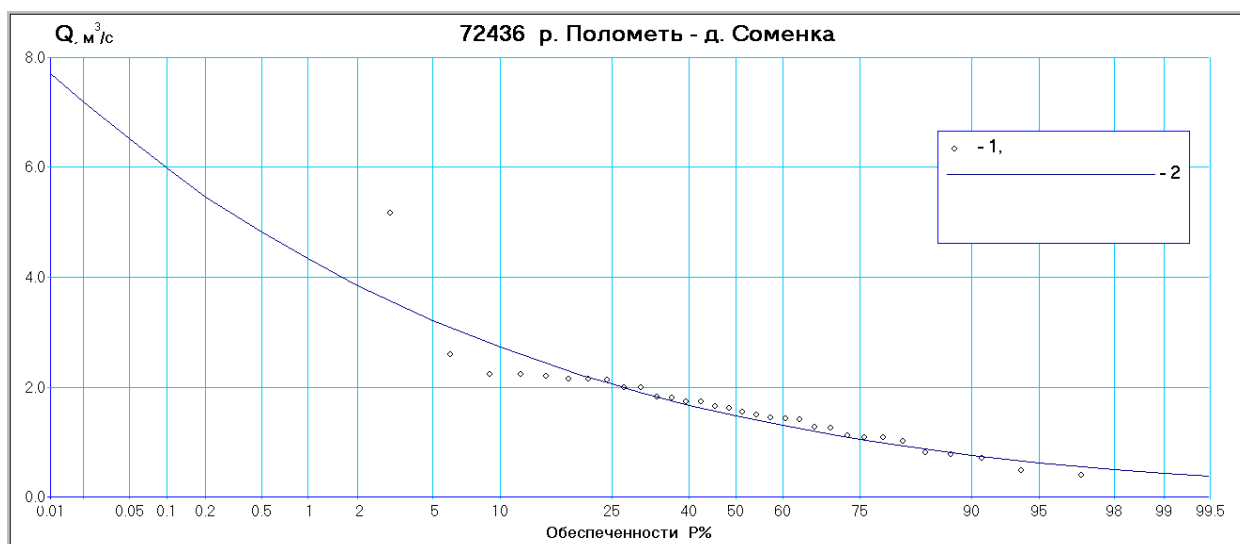


Рисунок В 14 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных суточных расходов воды

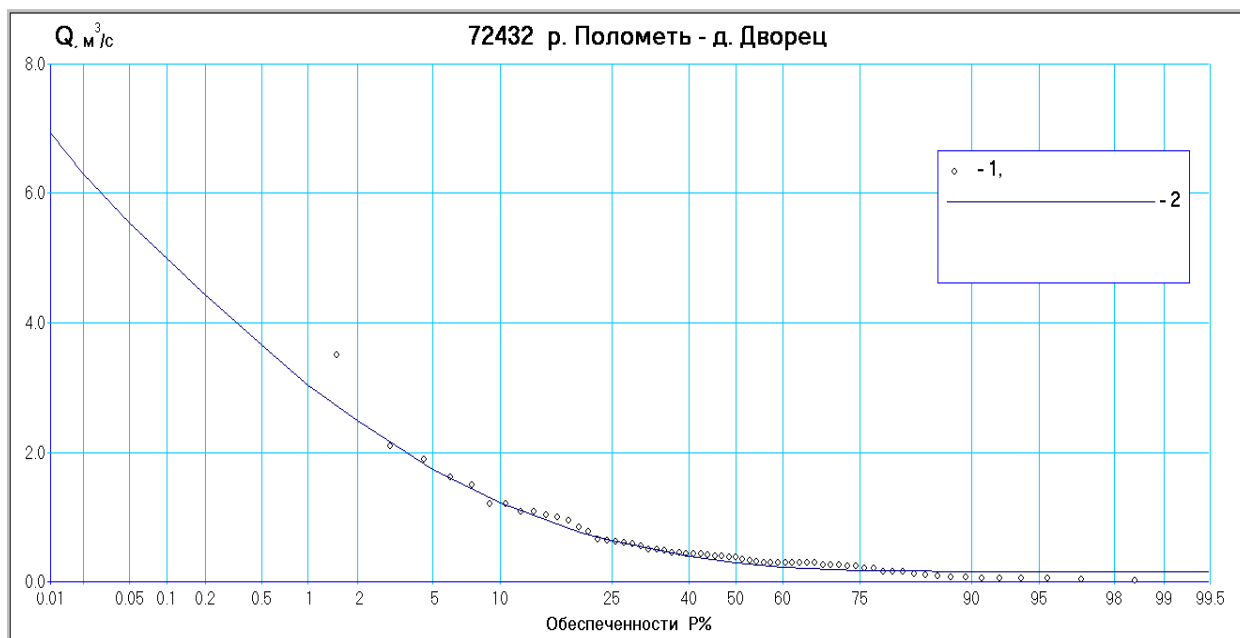


Рисунок В 15 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей минимальных суточных расходов воды

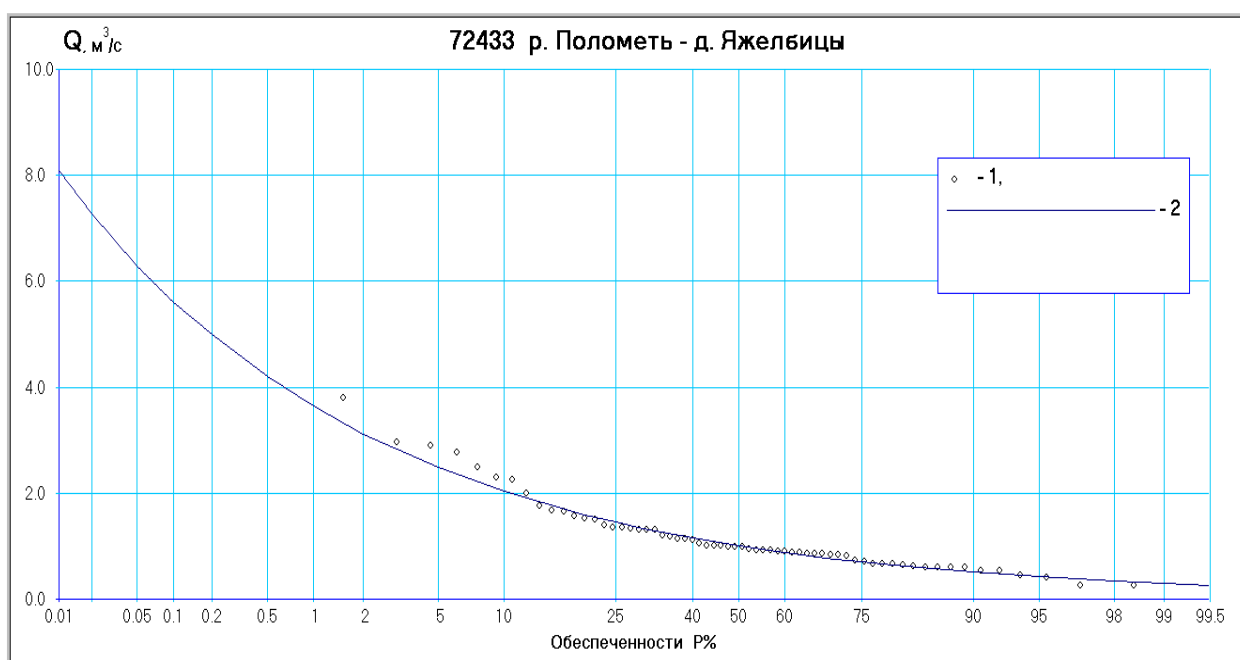


Рисунок В.16 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных суточных расходов воды

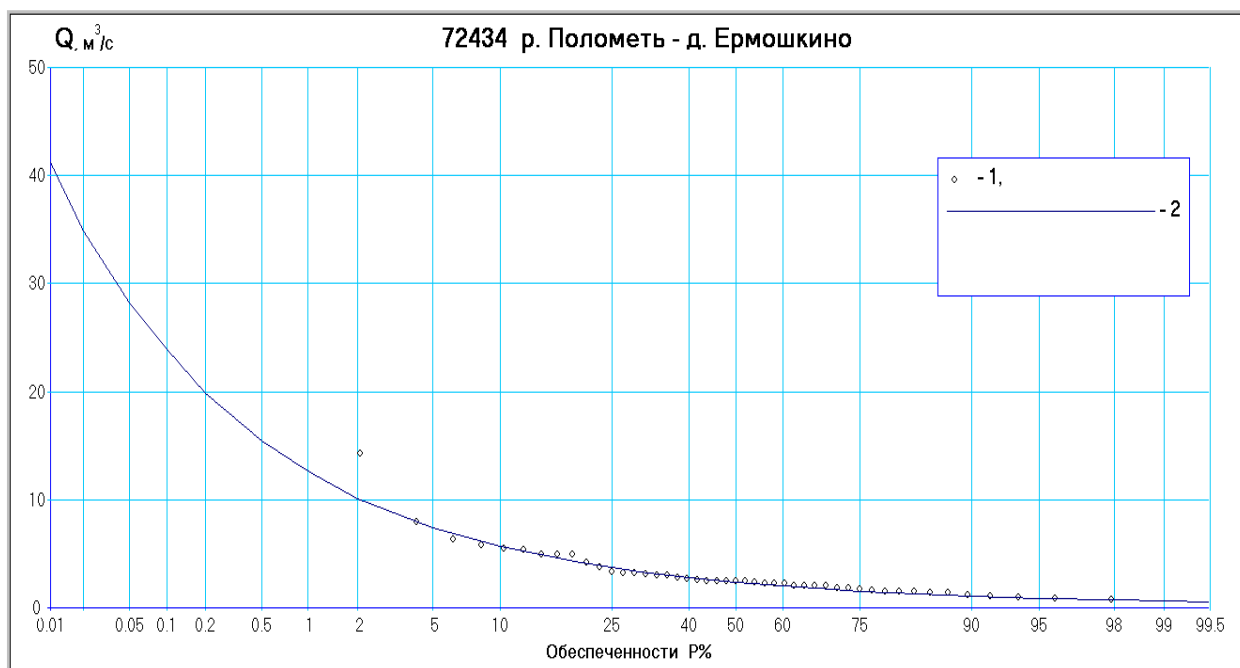


Рисунок В.17 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных суточных расходов воды

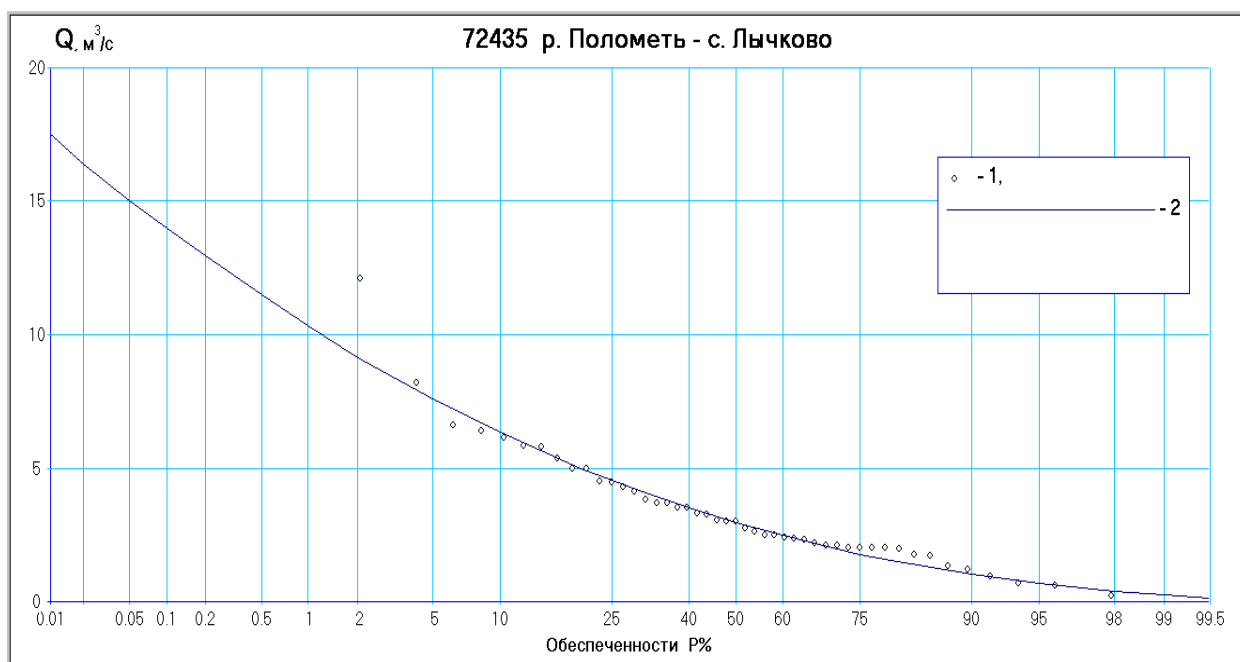


Рисунок В.18 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей минимальных суточных расходов воды

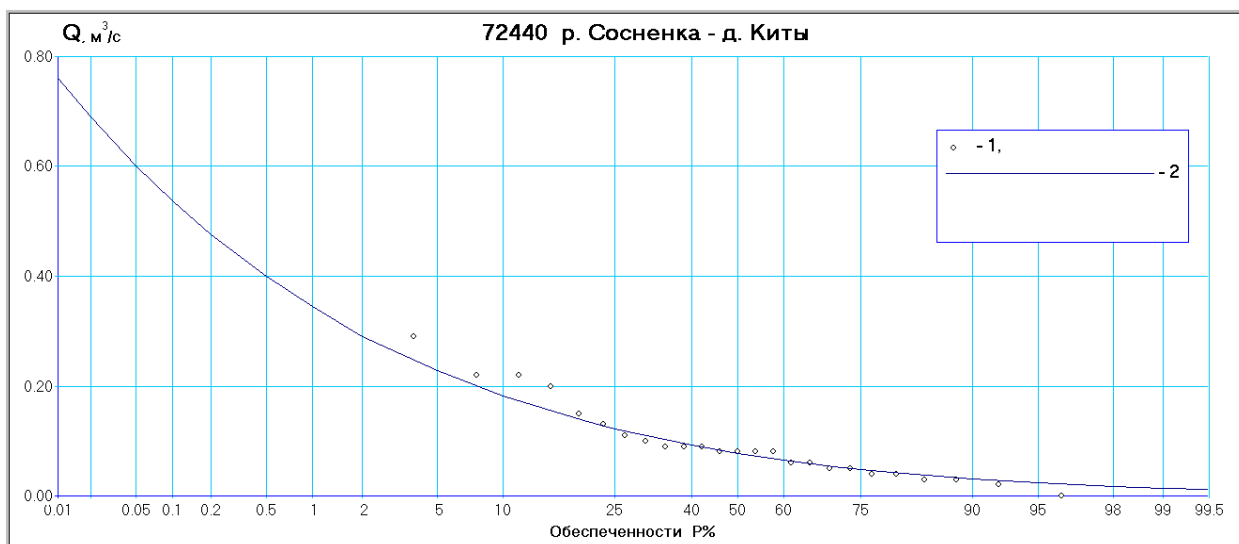


Рисунок В.19 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных суточных расходов воды

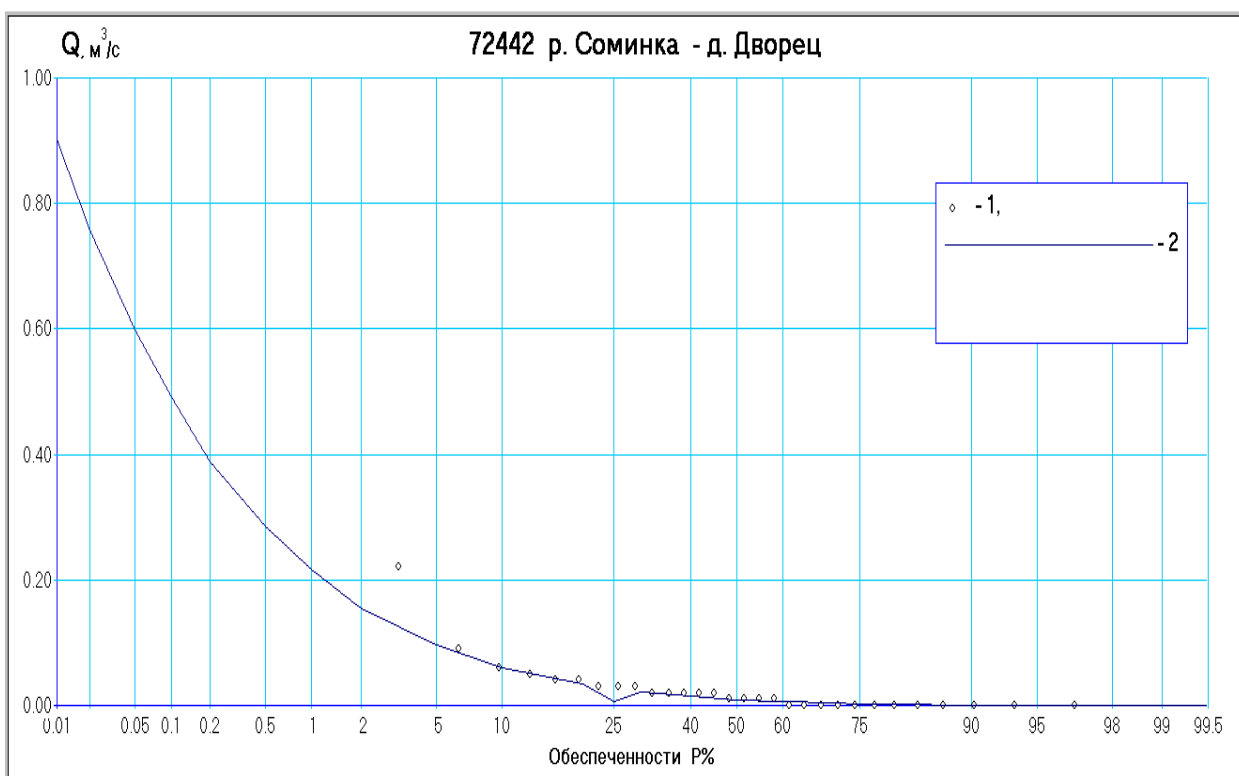


Рисунок В.20 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных суточных расходов воды

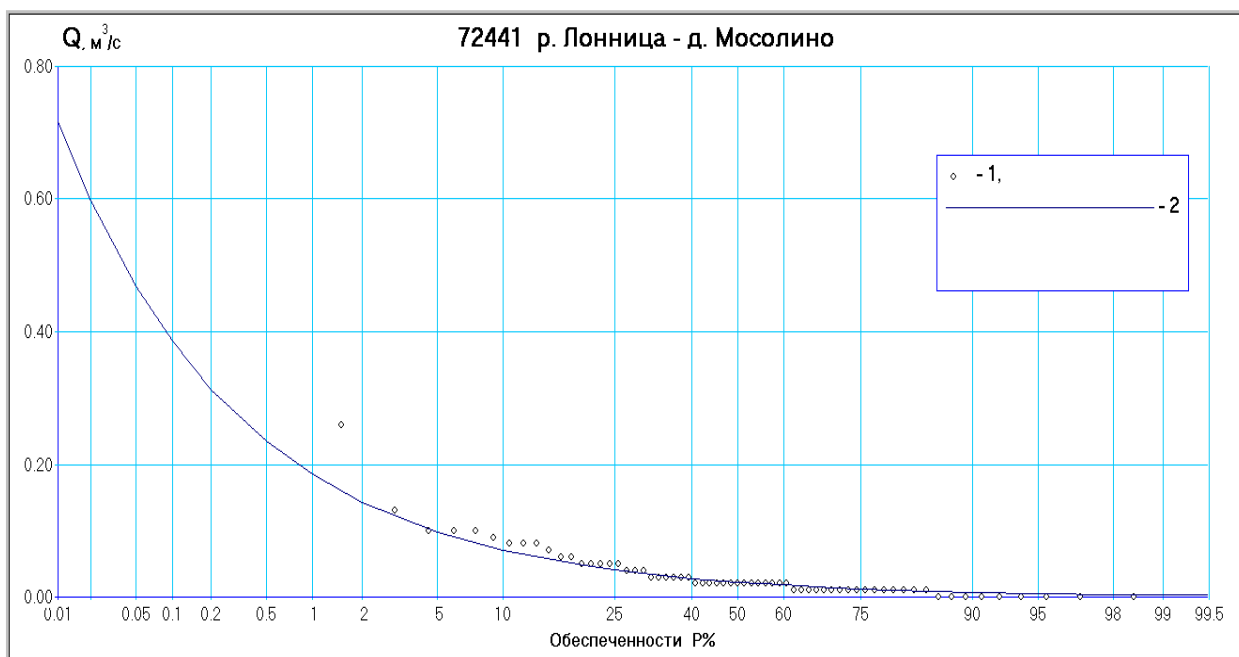


Рисунок В.21 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных суточных расходов воды

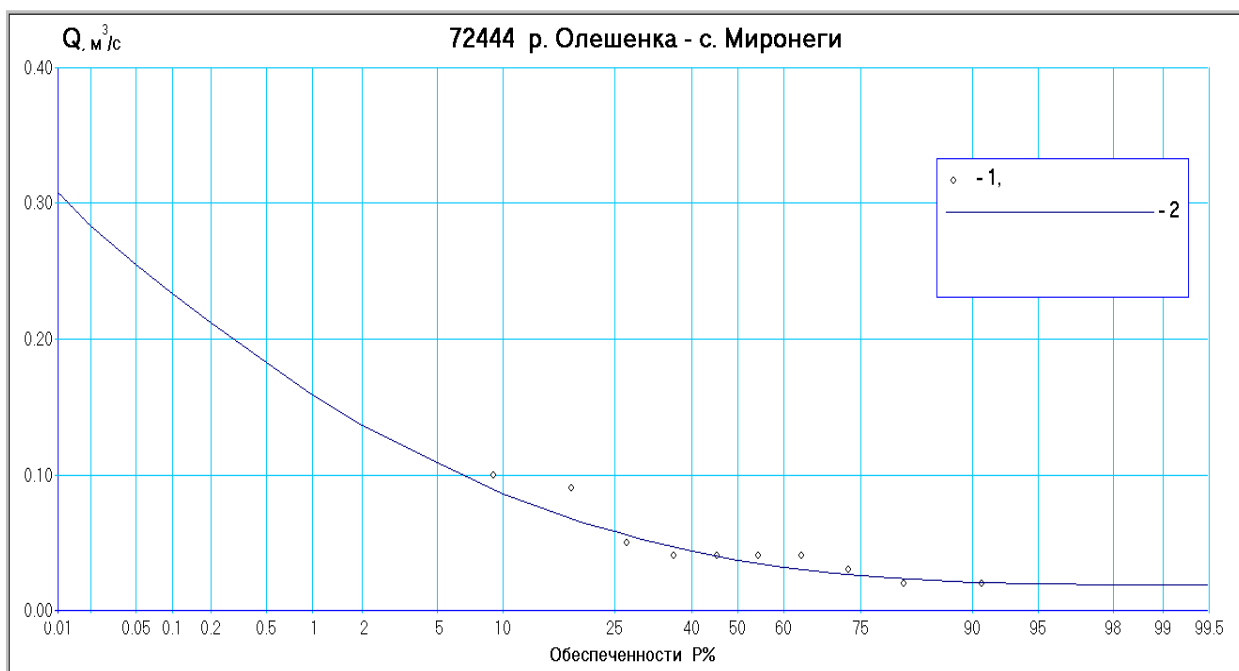


Рисунок В.22 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей минимальных суточных расходов воды

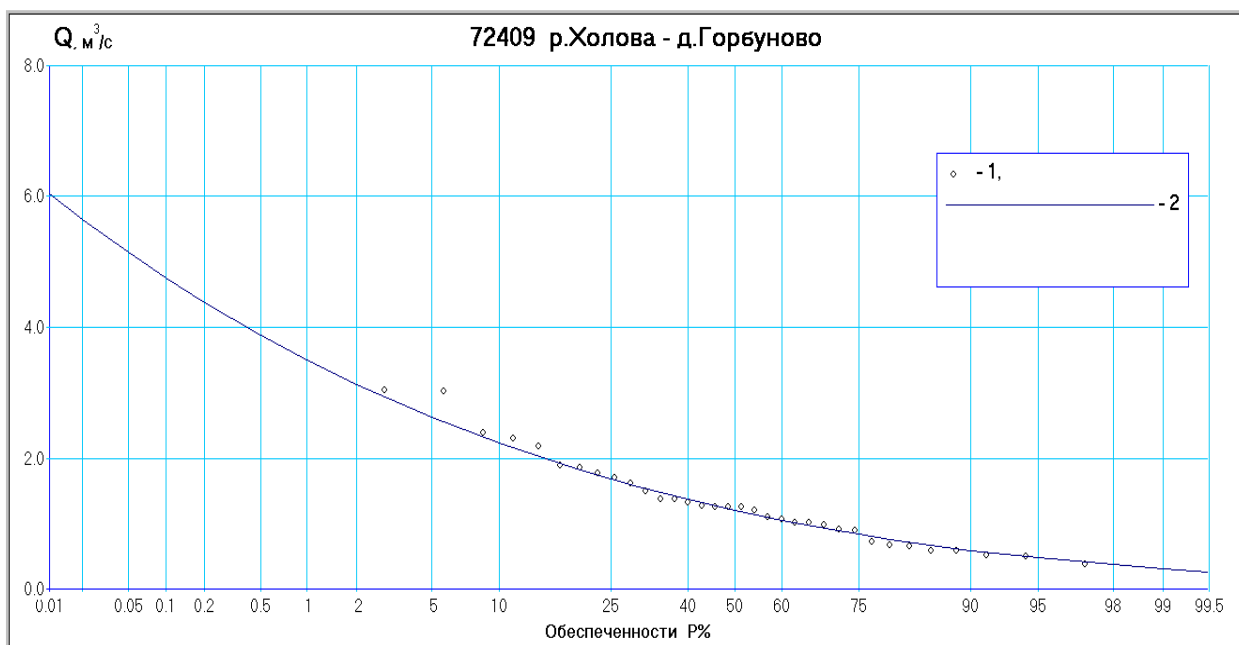


Рисунок В.23 – Эмпирическая (1) и аналитическая Крицкого – Менкеля (2) кривые обеспеченностей минимальных суточных расходов воды

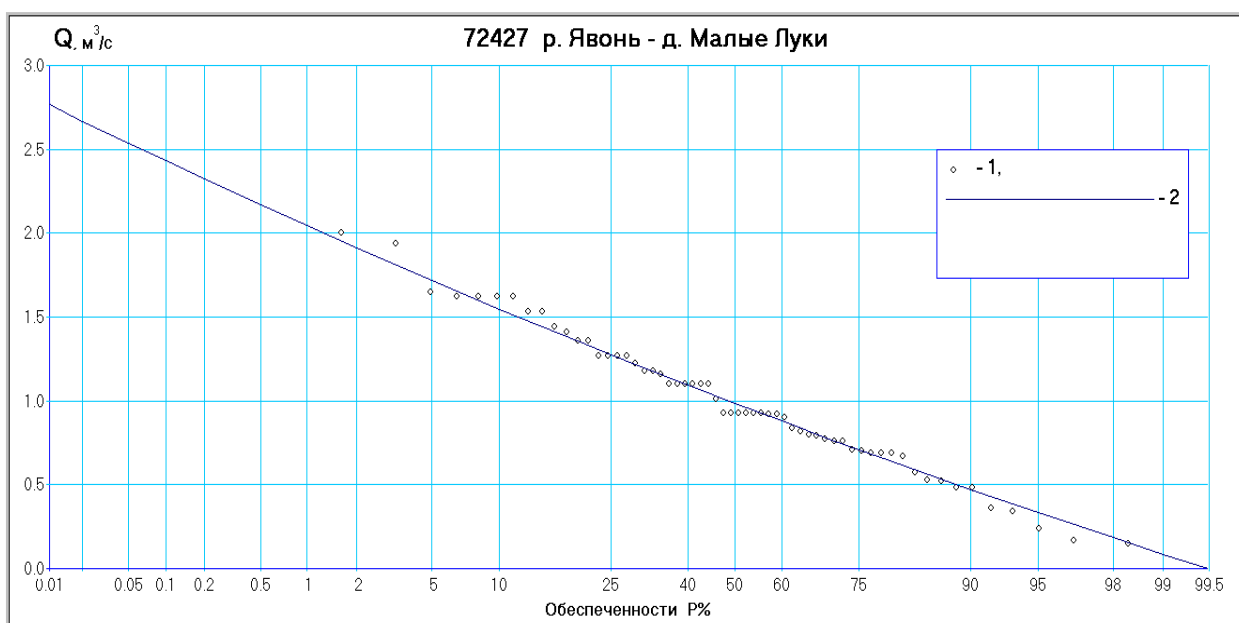


Рисунок В.24 – Эмпирическая (1) и аналитическая Пирсона III (2) кривые обеспеченностей минимальных суточных расходов воды