



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

Кафедра _____ Гидрологии суши _____

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Максимальный сток рек
бассейна р. Северная Двина**

Исполнитель _____ Поливода София Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ К.Г.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

_____ Малышева Наталья Геннадьевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

_____ (подпись)

_____ канд. геогр. наук.
(ученая степень, ученое звание)

_____ Сикан Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«20» 06 2017г.

Санкт-Петербург
2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	6
1.1 Географическое положение.....	6
1.2 Геологическое строение и рельеф	8
1.3 Почвы и растительность	10
1.4 Климат	11
2 УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК БАССЕЙНА Р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА	17
3 ОЦЕНКА СТАЦИОНАРНОСТИ И ОДНОРОДНОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	19
3.1 Исходные данные	19
3.2 Оценка значимости линейных трендов.....	20
3.3 Проверка рядов на однородность	24
4 РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ И СЛОЕВ СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В ПУНКТАХ НАБЛЮДЕНИЙ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕТИ	30
4.1 Оценка статистических характеристик и их погрешностей	30
4.2 Расчет максимальных расходов и слоев весеннего половодья различной обеспеченности.....	41
4.3 Районирование соотношения C_s/C_v весеннего половодья.....	45
4.4 Исследование пространственной изменчивости характеристик слоя весеннего половодья	47
5 РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВО-	

	ДЛЯ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ	50
5.1	Оценка районного показателя редукции n	52
5.2	Расчет переходных коэффициентов μ	54
5.3	Расчет коэффициента K_0 , характеризующего дружность весеннего половодья.....	57
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	60
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	63
	ПРИЛОЖЕНИЯ	65
	Приложение А – Основные гидрографические характеристики исследуемых рек в створах гидрологических постов	66
	Приложение Б – Эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей максимальных расходов и слоев весеннего половодья	67

ВВЕДЕНИЕ

В настоящем дипломном проекте выполнен расчет максимальных расходов воды и слоев стока весеннего половодья рек бассейна р. Северная Двина.

Для решения поставленной задачи были использованы данные по 17 гидрологическим постам, три из которых находятся на р. Северная Двина, а 14 принадлежат бассейну р. Пинега. Продолжительность наблюдений на стационарных постах гидрологической сети составляет от 14 до 133 лет и включает данные по 2010 год. Площади водосбора составляют от 592 до 348000 км².

Река Пинега является правым притоком Северной Двины и территориально относится к ФГБУ «Северное УГМС».

В процессе исследований был выполнен детальный статистический анализ рядов максимальных расходов воды и слоёв стока весеннего половодья. В том числе приведена проверка однородности рядов, выполнен анализ линейных трендов, рассчитаны статистические характеристики и их погрешности, а так же проведен подбор аналитических кривых обеспеченностей.

Дипломный проект содержит пять глав, введение, заключение, список использованных источников из 15 наименований и 2 приложения.

В первой главе приведена физико-географическая и климатическая характеристики данной территории.

Во второй главе приводятся условия формирования и особенности формирования максимального стока рек бассейна р. Северной Двины.

В третьей главе выполнена оценка значимости линейных трендов и однородности рядов максимального весеннего стока.

В четвертой главе приведены расчеты максимальных расходов и слоев стока половодья различной обеспеченности в пунктах наблюдений гидрометрической сети и проведено районирование соотношения C_s/C_v весеннего поло-

водья, также изучена пространственная изменчивость характеристик слоя весеннего половодья.

Пятая глава посвящена разработке региональной методики для расчёта максимальных расходов воды весеннего половодья малоизученных и неизученных водных объектов. Для решения поставленной задачи была выполнена оценка районных показателей редукции для данной территории, исследованы переходные коэффициенты μ , учитывающие неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды, а также рассчитаны коэффициенты K_0 , характеризующие дружность весеннего половодья.

В заключении в обобщенном виде представлены результаты проведенного исследования и анализ разработанной региональной методики для расчета максимальных расходов весеннего половодья рек бассейна р. Северная Двина.

1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Географическое положение

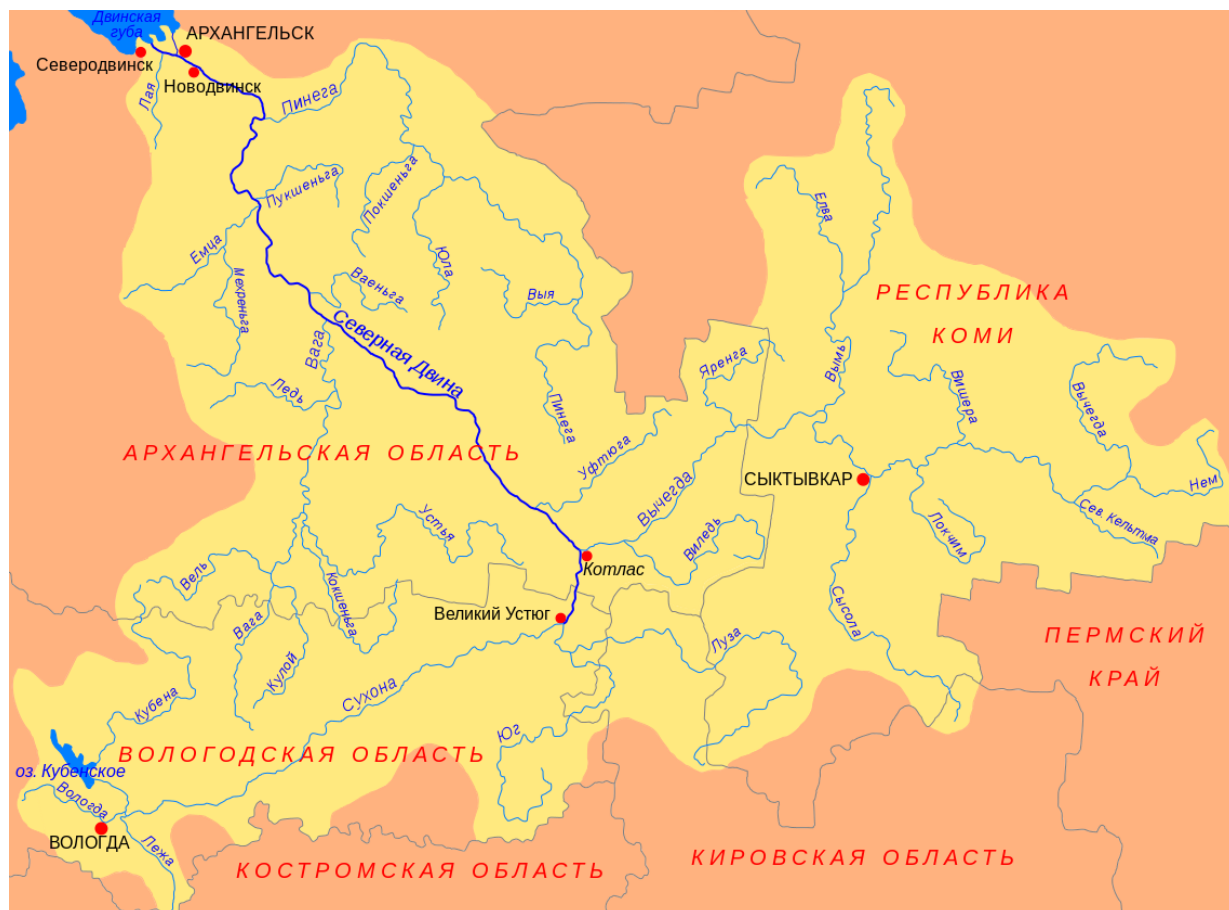


Рисунок 1.1 – Бассейн реки Северная Двина

Рассматриваемая территория, обычно называемая Северным краем (Рисунок 1.1), занимает северо-восточную окраину Европейской территории России. На севере омывается Белым и Баренцевым морями. С запада на восток простирается от г. Каргополя до Уральских гор и включает в себя бассейны рек Онеги, Северной Двины, Мезени, Печоры и Кары, а также многих сотен малых рек, впадающих в Белое и Баренцево моря.

Описываемая территория представляет собой огромную лесистую равнину, почти ничем не защищенную от западных и северо-западных ветров, с которыми связано поступление влажных воздушных масс. Для нее характер-

ны избыточное увлажнение и относительно однообразные природные условия, коренным образом меняющиеся только вблизи полярного круга, где тайга уступает место лесотундре и тундре, да у восточных ее пределов, где равнина сменяется возвышенностями западного Урала.

Река Пинега, один из главных притоков реки Северная Двина, протекает по направлению с юго-востока на северо-запад, долгое время, держа курс параллельно руслу Северной Двины, и, в месте соединения с рекой Кулой, в районе населенного пункта Пинега, резко поворачивает на юго-запад по направлению к Двине. Впадает в Северную Двину на 137 км от устья (98 км выше г. Архангельска). В месте впадения расположен населенный пункт Усть-Пинега. Она является наиболее мощной водной артерией Северо-Двинского бассейна. Река берёт начало на возвышенном правом берегу Северной Двины слиянием рек Белой и Чёрной на высоте 135,1 м над уровнем моря, в 56 км южнее д. Согры. Протекает главным образом по широкой пойменной долине.

Бассейн реки Пинега расположен между 61°56' и 64°08' северной широты и 41°25' и 47°35' восточной долготы. Его площадь равна 42 000 км². Протяженность реки Пинега от истока до устья составляет 779 км. Бассейн реки вытянут в северо-западном направлении почти на 350 км, имеет ширину до 160 км и протяженность водораздельной линии около 1200 км. На востоке бассейн граничит с бассейном реки Мезень, на севере с бассейном реки Кулой, на юге и западе с бассейнами мелких правобережных притоков реки Северная Двина. Река Пинега протекает по территории Верхне-Тоемского, Каргопольского, Холмогорского, Пинежского районов Архангельской области.

Гидрографическая сеть развита равномерно. На протяжении своего течения река принимает большое количество притоков. Главные из них: слева – Выя, Юла, Покшеньга, Пюла, Шуйга, Нижняя Поча, Юбра, Охтома, Сура, Сия, Угзеньга, Паленьга; справа – Илеша, Нюхча, Шоча, Ёжуга, Чуплега, Явзора, Тиньга, имеет протоку Вонга.

1.2 Геологическое строение и рельеф

В тектоническом отношении территория бассейна приурочена к Восточно-Европейской платформе, фундамент которой представлен гранитно-метаморфическими комплексами архейско-протерозойскими возраста.

По характеру рельефа территория района подразделяется на Мезенскую низменность в северной части района и Двинско-Мезенский водораздел в Среднем и Верхнем Пинежье, в южной части района. Река протекает по территории Беломорско-Кулойского плато. Рельеф отличается разнообразием.

В геологическом строении принимают участие породы различного возраста и состава. Наиболее широко развиты осадочные породы палеозоя. В каменноугольном и начале пермского периода почти на всей территории района в морских условиях образовались известняки, доломиты, гипсы и ангидриты.

Юго-восточная часть бассейна реки Пинега расположена на возвышенной равнине-плато. Северо-западная часть ниже впадения реки Покшеньга находится в пределах Мезенско-Кулойской низменности. Абсолютные отметки на плато преимущественно 160-200 м, в пределах низменности 50-100 м. К низменности плато образует скат, очень пологий, следующий почти в меридиональном направлении на широте с. Карпогоры. Плато рассечено древней сточной ложбиной, по дну которой и заложена современная долина реки Пинега. Ширина ложбины быстро возрастает по мере приближения к краю плато, достигая при впадении р. Сура 15-20 км, близ впадения р. Юла 30 км, а у с. Карпогоры 35-40 км. На крайнем северо-западе бассейн ограничен уступом Беломорско-Кулойского плато, сильно сполосленным, но местами ещё достаточно крутым, чтобы оправдать своё наименование – «Красные горы».

Водораздел орографически выражен достаточно четко только в пределах возвышенной равнины и по уступу Беломорско-Кулойского плато, где он нередко проходит вдоль увалистых гряд и по вершинам холмов. Наиболее понижен водораздел на границе с бассейном р. Кулой и особенно в районе

с. Пинеги, где междуречье пересечено сквозной долиной. Перешеек между р. Пинега и истоком р. Кулой понижен настолько, что в многоводные весенние половодья часть пинежской воды сбрасывается в р. Кулой.

Наибольший интерес представляют карстовые ландшафты, возраст которых – 350 млн. лет. На территории бассейна реки Пинеги существует огромное множество пещер, количество их превышает 450. Возраст пещер достигает сотен тысяч лет. В большинстве пещер имеются подземные реки, озера и водопады. Глубина пещер колеблется от 10 до 30 м.

Для реки Пинега свойственны достаточно широкие пойменные долины с террасированными склонами. Долина слегка извилистая, общее ее направление близкое к меридиональному, ширина поверху от 1,5 до 5,0 км, преимущественно 2-3 км. Наиболее широка она на повороте у впадения р. Нюхча – достигает до 20 км. В низовьях долина сужается.

Поперечный профиль долины, из-за террасированности ее склонов, сложный. В зависимости от степени развития тех или иных террас общее его очертание напоминает то трапецеидальный, то сильно распластаный V-образный профиль.

Пойма, переходящая с берега на берег, сплошная. Ширина её на протяжении первых 50 км от истока преимущественно 100-200 м, на последующих 30 км и ниже впадения р. Охтома 300-600 м. В отдельных расширениях, встречающихся на всем протяжении участка, она достигает 800-1500 м.

Русло умеренно-разветвленное, извилистое, меандры почти непрерывно сменяют друг друга, лишь изредка прерываясь, сравнительно прямолинейными участками реки длиной 1-3 м. Ширина русла варьируется в пределах 400-600 м. Особенно заметно ширина русла начинает возрастать после впадения рек Юла и Шарда.

Имеются пороги и песчаные перекаты, расположенные неравномерно по длине реки. Среднее и нижнее течения насыщены различными образованиями: осерёдками, побочными и косами.

В низовьях реки Пинеги развиты горные известняки с окаменелостями, в средней части её течения преобладают пермские формации, состоящие из пластов красных глин, песчаников, гипса и отчасти известняков.

На территории бассейна обнаружено немало полезных ископаемых в виде месторождений болотных железных руд, гипса, известняка, точильного и жернового камня, и соляные ключи.

1.3 Почвы и растительность

Господствующее положение в почвенном покрове рассматриваемой территории занимают подзолистые почвы. Эти почвы характеризуются неблагоприятными водно-физическими и агрохимическими свойствами: избыточно-увлажненные, имеют кислую реакцию среды, бедны питательными веществами, содержат в себе повышенное количество закисного железа, вредного для произрастания культурных растений. В основе своей они глинистые или суглинистые, по дну Пинежской ложбины. В верховьях бассейна и на правом берегу в его низовьях местами песчаные или супесчаные.

Река Пинега протекает по зоне тайги, подзоне северной тайги. Бассейн реки лежит в зоне хвойных лесов, представленных сосной и елью, но нередко также и лиственные леса (лесистость – 87 %). На карстовых участках встречаются лиственничные и сосново-лиственничные леса. В северо-западной части бассейна произрастают коренные леса из сибирской лиственницы, возрастом 200-300 лет. Леса преимущественно густые, зрелые или перестойные, захламленные валежником, нередко переувлажненные или в той или иной степени заболоченные. Всего насчитывается более 500 видов растений, наибольший интерес из которых представляют эндемичные растения (имеющие ограниченный ареал) и реликты. Многие реликтовые растений произрастают на территории бассейна ещё с окончания ледникового периода, около 60 видов занесены в Красную книгу России.

Вдоль рек располагаются заросли ивняка, ольховники. Около каждого населённого пункта имеются сосновые боры со значительными запасами грибов, ягод. По берегам рек распространены пойменные луга, которые часто отделены от русла реки узкой полосой ольшаников с черёмухой и смородиной. Травостой на таких лугах густой и богатый по видовому составу. Луговая растительность занимает незначительные площади.

Немногим менее одной четверти площади бассейна занято болотами. Болота преимущественно сфагновые, с редкой угнетенной сосной, на плато они небольшие, неглубокие и легко проходимые. По дну Пинежской ложбины и на низменности, напротив, образуют крупные массивы, достигающие многих сотен и даже тысяч гектаров, имеют глубину свыше 1,5-2 м и, как правило, трудно проходимые. В низовьях реки заболоченность бассейна сравнительно невелика только в районе развития карста, от с. Пинега до впадения р. Угзеньга. Заболоченность бассейна – около 10 %.

1.4 Климат

Пинежский район Архангельской области расположен в зоне умеренно-континентального климата с продолжительной холодной зимой и умеренным тёплым летом. Особенности климата на территории бассейна определяются малым количеством солнечной радиации зимой, воздействием северных морей, и интенсивным западным переносом воздушных масс.

Территория бассейна реки находится под влиянием активной циклонической деятельности и постоянной смены воздушных масс, которые различаются по месту своего формирования, влажности и температуре. Главной причиной изменения широтной зональности в климатических зонах и непостоянства изменений метеорологических элементов является циркуляция. Зимой, приносимый тёплый и влажный воздух сопровождается снегопадами, потеплением, а при оттепелях и дождем. Летом же они приносят прохладный и

влажный воздух, характеризуясь понижением температуры, выпадением обильных дождей, увеличением облачности. Со стороны Сибири зимой нередко приходит континентальный воздух, принося сухую морозную погоду. С юго-востока поступают преимущественно континентальные массы воздуха, охлажденные зимой и прогретые летом.

Циклоны с Чёрного и Средиземных морей вызывают сезонное потепление. При этом процессе, весной, вскрываются реки, а осенью устанавливается солнечная и теплая погода. Поступление континентальных воздушных масс, зимой с востока, а летом с юго-востока приносит зимой очень холодную, а летом теплую сухую погоду. Для территории характерна неустойчивая и непостоянная погода.

Также на распределение температуры воздуха по территории и по сезонам сильно сказывается влияние морей. Летом температура воздуха на побережьях морей ниже, чем в удалении от моря, а зимой – выше.

Ниже дается краткая характеристика основных метеорологических элементов, влияющих на гидрологический режим рассматриваемой территории.

Температура воздуха.

Таблица 1.1 – Среднемесячная и среднегодовая температура воздуха за многолетний период (t°С)

Станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Карпогоры	-14,5	-13,1	-7,1	-0,2	6,2	12,8	15,9	13,0	7,4	0,8	-6,3	-11,2	0,3
Пинега	-14,1	-13,2	-7,8	-0,7	5,8	12,0	15,4	12,9	7,4	0,7	-5,9	-11,3	0,2
Сура	-15,0	-13,7	-7,8	0,0	6,5	13,1	16,2	13,4	7,5	0,9	-6,1	-11,9	0,2

Средняя годовая температура воздуха на севере по данным станции Пинега 0,2°. Южнее, по данным станции Карпогоры, средняя температура за год равна 0,3°, а на станции Сура – 0,2°.

Самый холодный месяц – январь. Средняя температура воздуха в этот месяц изменяется от $-14,0^{\circ}$ до $-15,0^{\circ}$. Самый теплый месяц – июль. Средняя температура воздуха меняется в пределах $15,0^{\circ}$ – $16,2^{\circ}$.

В особо суровые зимы средняя суточная температура воздуха понижается до $-45,0^{\circ}$. Абсолютный минимум температуры воздуха ($-53,0^{\circ}$) отмечался в январе 1973 года. Абсолютный максимум наблюдался в июле 1972 года и составил $36,0^{\circ}$.

Зимний сезон, характеризуемый периодом с температурой воздуха ниже нуля, начинается в первой – второй декаде октября. Каждую зиму случаются дни с оттепелями. В связи с ослаблением действия Атлантики количество и продолжительность их уменьшаются к концу зимы. В ноябре оттепели задерживают установление устойчивого снежного покрова. Температура воздуха при оттепелях повышается до 2° – 5° выше нуля, выпадает дождь. Всё это способствует уплотнению и оседанию снежного покрова.

Начало весны, характеризующееся переходом температур воздуха через ноль градусов, приходится на вторую – третью декаду апреля в юго-западных районах, и на первую декаду мая на северо-востоке. При прорывах масс холодного воздуха с севера возможны возвраты морозов.

Лето, период с температурой воздуха 10° , на большей части территории наступает в третьей декаде мая – первой декаде июня. В любой из летних месяцев при вторжении арктических воздушных масс возможны заморозки.

Осень на юго-западе наступает в первой декаде сентября, а на северо-востоке – во второй декаде августа. Во второй половине сентября уже возможны морозы до -2° , -4° . В отдельные годы заморозки возможны в июле и августе. В октябре отдельные прорывы арктического воздуха сопровождаются понижением температуры до -10° , -15° . Для этого времени года характерна облачная погода с осадками и частыми усилениями ветра.

Осадки.

Территория бассейна реки получает значительное количество атмосферных осадков. Годовая сумма их составляет 570-630 мм. Особенности распределения осадков по территории определяются рельефом. На наветренных склонах возвышенностей происходит увеличение осадков, а на подветренных их уменьшение. Годовое количество осадков превышает возможное испарение, поэтому увлажнение района избыточное.

В течение года осадки выпадают неравномерно. Большая их часть приходится на теплый период. Самые обильные осадки в июле – августе, суточные максимумы достигают 70-80 мм. Минимум осадков наблюдается в феврале (20-30 мм). Летом осадки в основном ливневого характера и нередко сопровождаются грозами. Осенью преобладают длительные осадки обложного характера и слабой интенсивности. В отдельные годы грозы случаются даже в октябре. Зимой часты метели.

Ниже на рисунках представлены хронологические графики суммарных осадков за холодный период года по данным метеостанций Пинега, Карпогоры и Сура, по 2010 год включительно.

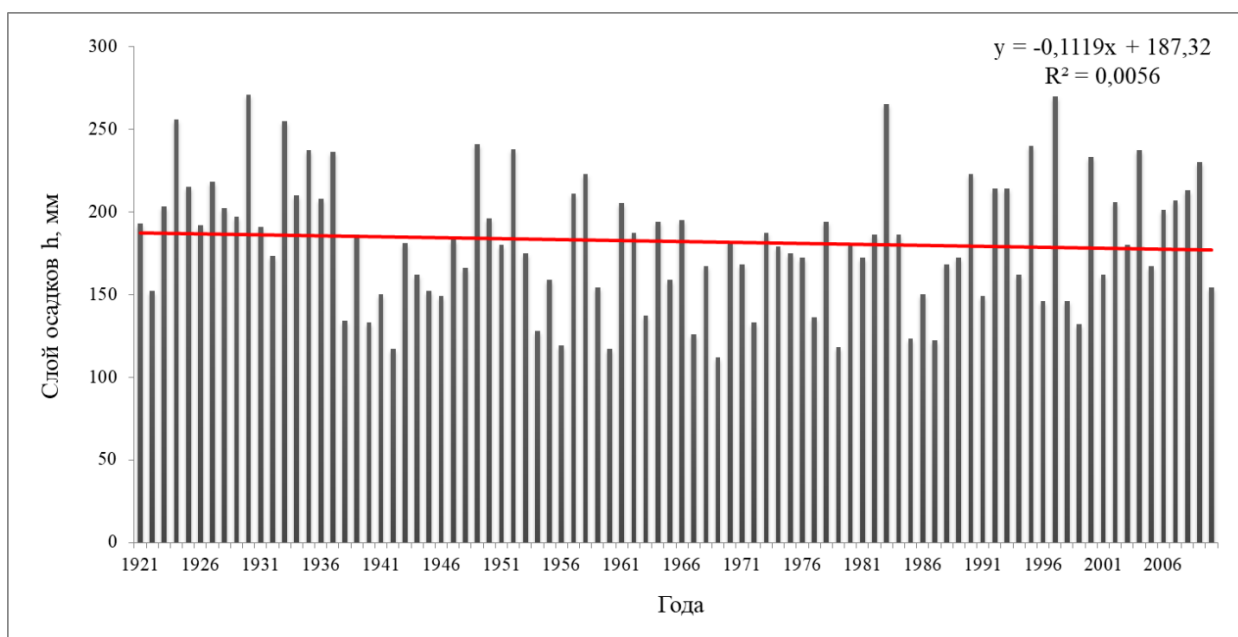


Рисунок 1.2 – График суммарных осадков за холодный период с ноября по март, с 1921 по 2010 годы. По данным метеостанции Пинега.

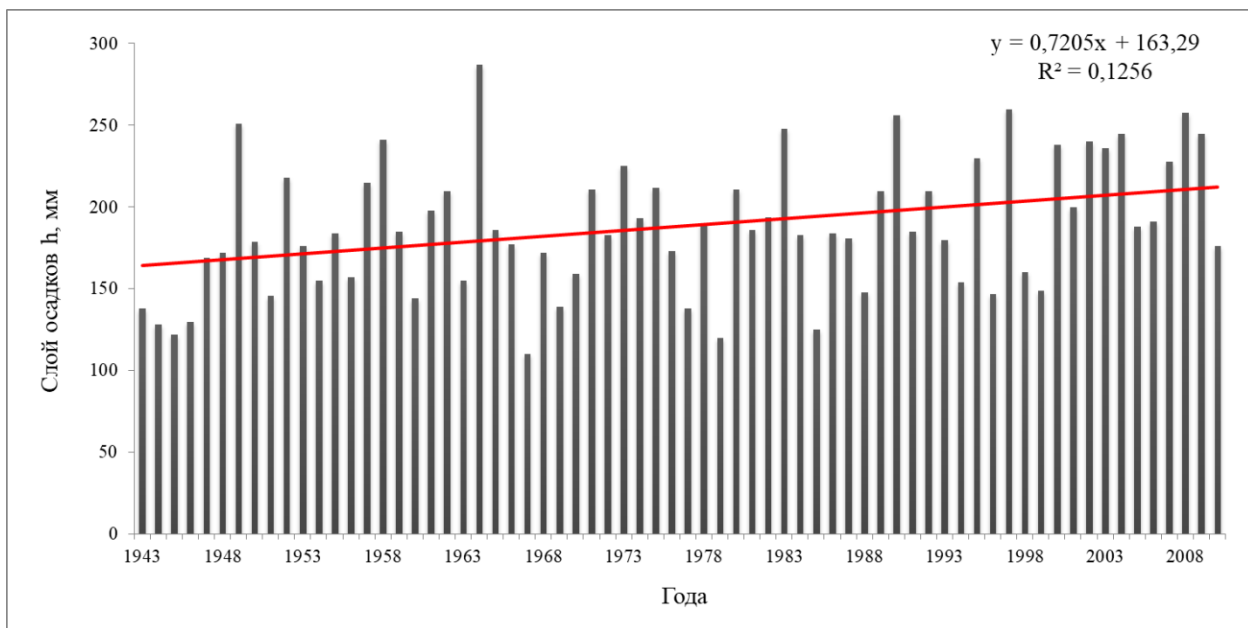


Рисунок 1.3 – График суммарных осадков за холодный период с ноября по март, с 1943 по 2010 годы. По данным метеостанции Карпогоры.

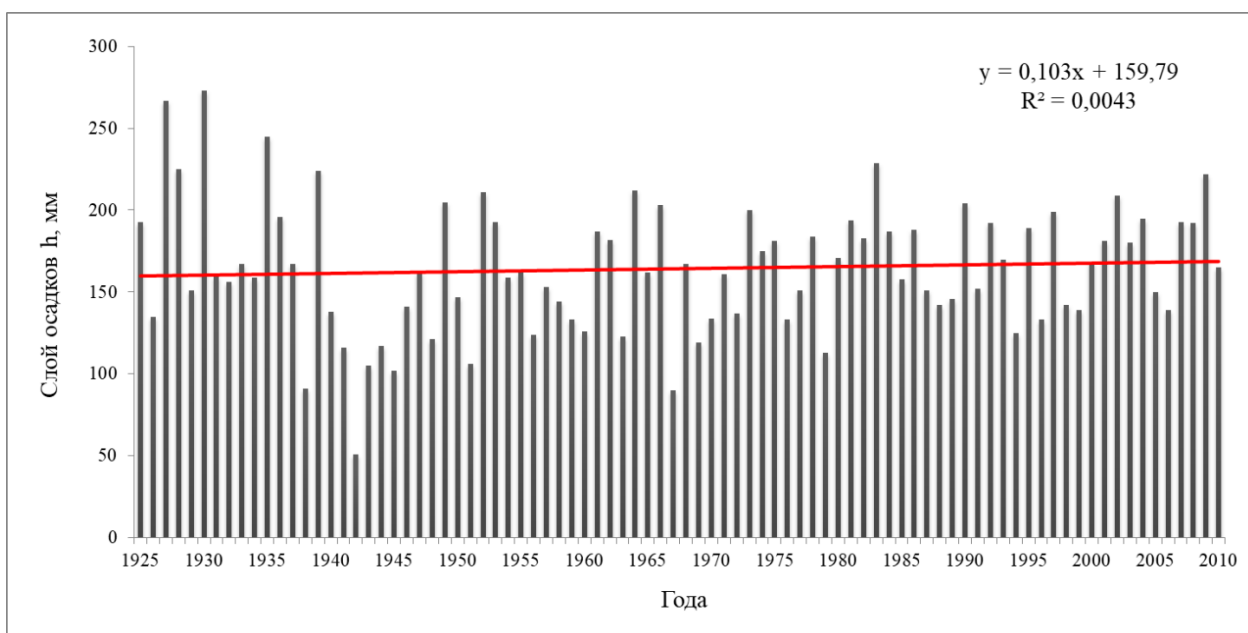


Рисунок 1.4 – График суммарных осадков за холодный период с ноября по март, с 1925 по 2010 годы. По данным метеостанции Сура.

Анализ показал, что положительный тренд, наблюдающийся по данным метеостанции Карпогоры для суммарных осадков холодного периода года, является значимым.

Снежный покров появляется в начале октября. Первый снег обычно стаивает при оттепелях. Устойчивый снежный покров образуется в третьей декаде октября – первой декаде ноября и сходит в первой декаде мая. Снег лежит в среднем около 180 дней.

Максимальной высоты снежный покров достигает во второй - третьей декаде марта. На защищенных лесом участках он составляет 75-85 см.

Влажность воздуха.

Воздух влажный во все сезоны года. Средняя годовая относительная влажность воздуха возрастает от 77 - 80%. Максимальное её среднее месячное значение приходится на холодный период года. Самые влажные месяцы октябрь и ноябрь, когда относительная влажность воздуха достигает 90%. Наименее влажные май и июнь, относительная влажность в эти месяцы составляет около 70%. Число дней с относительной влажностью воздуха ниже 30 % незначительно: 10 - 16.

Дефицит влажности наибольшим бывает в июне – июле и составляет в среднем 6,0-7,5 мб. Минимальные средние месячные его значения приходятся на зиму (0,2-0,5 мб).

Ветер.

Направление ветра имеет четко выраженный годовой ход. Преобладающие ветра с осени до начала весны южные и юго-западные, а с мая по август – северные и северо-восточные ветры. В переходные периоды направление ветра неустойчиво.

Средняя годовая скорость ветра уменьшается по мере удаления от морей. Она изменяется от 0,7 м/сек до 3,5 м/сек. Наибольшие средние месячные скорости имеют место в зимнее время года. В отдельных случаях, скорость ветра при порывах превышает 40 м/сек. Наименьшие средние месячные скорости характерны для теплого периода.

2 УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК БАССЕЙНА Р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА

Формирование максимального стока в бассейне реки Пинега происходит во время весеннего половодья, являясь основной фазой водного режима рек бассейна Пинеги. В основном формирование высоких половодий определяется величиной снежного покрова и снегозапасов, а также дружностью снеготаяния.

Половодье обычно начинается в середине – третьей декаде апреля, на северо-востоке в начале мая. Пик весеннего половодья проходит на реках большей части территории в начале – середине мая. Продолжительность весеннего половодья обычно составляет 1,5 - 2 месяца. На половодье приходится 40-60% годового стока воды (до 70-80% в годы с многоводной весной).

Основным фактором формирования весеннего половодья является снежный покров, а также максимальные снегозапасы, которые в будущем определяют размеры весеннего стока. Продолжительная зима способствует созданию мощного снежного покрова, что приводит к затяжному процессу снеготаяния. Как правило, половодье проходит с резким подъёмом и замедленным спадом. Задержка спада обычно происходит из-за того, что снег под пологом леса тает медленно, а также из-за возврата холодов во время снеготаяния и выпадением дождей, поддерживающих высокую водность рек в период после схода снежного покрова.

Вследствие сложного режима стока в течение периода половодья, выражающегося в наличии, помимо основного пика, ряда второстепенных пиков, а также из-за значительного участия дождей в формировании спада весеннего половодья связь максимальных расходов с полным объёмом весеннего стока относительно слабая. Поскольку дождевые осадки оказывают небольшое влияние на формирование максимума половодья, более тесной оказывается

связь максимального расхода с объёмом снегового стока. Наивысший уровень обычно наступает одновременно с максимальным расходом половодья.

Гидрограф, как правило, однопиковый. Величина среднего слоя стока за период половодья около 190 мм. Наибольшая часть от общего стока за весну приходится на талые воды и составляет 60-70%, тогда как дождевой сток составляет 10-30%, а грунтового 5-10%.

Во второй - третьей декаде марта снежный покров достигает максимальной высоты. Средняя величина снежного покрова составляет 45-60 см. На лесных участках он составляет 75-85 см, и на 10-20 см меньше на открытых участках. Количество дней со снежным покровом в среднем составляет 170-200.

Запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния в лесу 150-200 мм, на полях и болотах 130-180 мм. Увеличение максимального стока на территории, происходит в среднем на 60-80 л/сек. км² на каждые 100 м высоты.

В лесной зоне плотность снега равна 0,22-0,26, в тундре 0,32-0,35.

Распределение среднего слоя весеннего стока на территории бассейна реки в значительной степени повторяет распределение снегозапасов перед началом снеготаяния, отражая при этом и некоторые местные особенности формирования стока.

Весенний сток малых водотоков в значительно большей степени зависит от местных физико-географических условий, чем сток средних и крупных рек.

3 ОЦЕНКА СТАЦИОНАРНОСТИ И ОДНОРОДНОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

3.1 Исходные данные

В настоящей работе исследовались ряды максимальных расходов и уровней весеннего половодья по 14 гидрологическим постам рек бассейна р. Пинега, а также по 3 постам, находящимся на р. Северная Двина.

Использовались посты с диапазоном площадей от 592 до 348000 км².

Основные гидрографические характеристики исследуемых рек в створах гидрологических постов приводятся в приложении А.

Схема расположения постов и метеостанций представлена на рисунке 3.1.

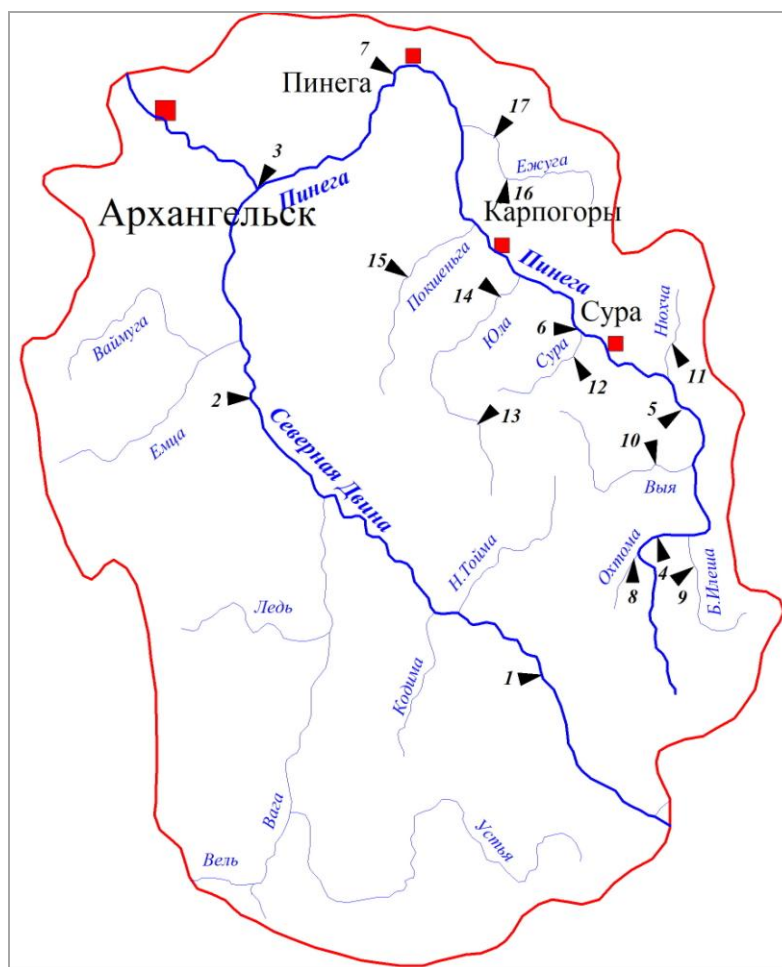


Рисунок 3.1 – Схема гидрографической сети бассейна реки Северная Двина

3.2 Оценка значимости линейных трендов

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

Для оценки линейных трендов использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции (R) для зависимости $Q_{\max} = f(t)$,

Гипотеза об отсутствии тренда не опровергалась, если выполнялось условие:

$$|R| < t_{2\alpha} \sigma_R \quad (3.1)$$

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

σ_R – стандартная ошибка коэффициента корреляции, определяемая по формуле:

$$\sigma_R = \frac{1 - R^2}{\sqrt{n - 1}} \quad (3.2)$$

Результаты проверки представлены в таблице 3.2 для максимальных расходов весеннего половодья и для слоев стока весеннего половодья – таблица 3.3. Сводные данные по проверке рядов на значимость линейных трендов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты оценки значимости линейных трендов рядов максимальных расходов и слоев стока весеннего половодья

рек бассейна р. Северная Двина

Вид стока	общее число случаев	Число случаев со значимостью трендов	
		абсолютное	относительное, %
Максимальные расходы весеннего половодья	17	0	0
Слои стока за половодье	17	0	0

Таблица 3.2 – Оценка значимости линейных трендов в рядах максимальных расходов весеннего половодья рек бассейна р. Северная Двина

№ п/п	Код поста	Река - створ	Площадь водосбора, км ²	Длина ряда, n	Параметры тренда			Значимость тренда при $2\alpha = 5\%$
					R	σ_R	$t_{2\alpha}\sigma_R$	
1	70066	р. Северная Двина – д. Абрамково	220000	133	0,058	0,087	0,173	нет
2	70072	р. Северная Двина – д. Звоз	285000	71	0,060	0,119	0,238	нет
3	70801	р. Северная Двина – с. Усть-Пинега	348000	130	0,083	0,087	0,175	нет
4	70328	р. Пинега – д. Согры	3120	58	0,008	0,132	0,265	нет
5	70329	р. Пинега – пос. Северный	10200	37	0,112	0,165	0,329	нет
6	70331	р. Пинега – д. Засурье	17100	52	0,040	0,140	0,280	нет
7	70334	р. Пинега – с. Кулогоры	36700	93	0,089	0,103	0,207	нет
8	70339	р. Охтома – пос. Ламбас	592	37	0,108	0,165	0,329	нет
9	70340	р. Большая Илеша – пос. Красное	1620	37	0,065	0,166	0,332	нет
10	70579	р. Выя – д. Гаврилово	2440	60	0,056	0,130	0,260	нет
11	70343	р. Нюхча – изба Широкая	895	27	0,064	0,195	0,391	нет
12	70345	р. Сура – д. Гора	1060	36	0,081	0,168	0,336	нет
13	70346	р. Юла – д. Пачиха	4390	51	0,162	0,138	0,275	нет
14	70347	р. Юла – д. Каренжиха	4510	32	0,261	0,167	0,335	нет
15	70348	р. Покшеньга – пос. Сылога	2780	51	0,156	0,138	0,276	нет
16	70350	р. Ежуга – пос. Сюзьма	1800	61	0,046	0,129	0,258	нет
17	70351	р. Ежуга – пос. Широкое	1970	37	0,087	0,165	0,331	нет

Таблица 3.3 – Оценка значимости линейных трендов в рядах слоев стока
весеннего половодья рек бассейна р. Северная Двина

№ п/п	Код поста	Река - створ	Площадь водо- сбора, км ²	Длина ряда, п	Параметры тренда			Значи- мость тренда при $2\alpha = 5\%$
					R	σ_R	$t_{2\alpha}\sigma_R$	
1	70066	р. Северная Двина – д. Абрамково	220000	93	0,041	0,104	0,208	нет
2	70072	р. Северная Двина – д. Звоз	285000	70	0,112	0,119	0,238	нет
3	70801	р. Северная Двина – с. Усть-Пинега	348000	129	0,114	0,087	0,174	нет
4	70328	р. Пинега – д. Согры	3120	58	0,042	0,132	0,264	нет
5	70329	р. Пинега – пос. Северный	10200	37	0,046	0,166	0,333	нет
6	70331	р. Пинега – д. Засурье	17100	52	0,109	0,138	0,277	нет
7	70334	р. Пинега – с. Кулогоры	36700	93	0,057	0,104	0,208	нет
8	70339	р. Охтома – пос. Ламбас	592	37	0,173	0,162	0,323	нет
9	70340	р. Большая Илеша – пос. Красное	1620	37	0,109	0,165	0,329	нет
10	70579	р. Выя – д. Гаврилово	2440	60	0,081	0,129	0,259	нет
11	70343	р. Нюхча – изба Ши- рокая	895	27	0,108	0,194	0,388	нет
12	70345	р. Сура – д. Гора	1060	36	0,022	0,169	0,338	нет
13	70346	р. Юла – д. Пачиха	4390	52	0,116	0,138	0,276	нет
14	70347	р. Юла – д. Каренжиха	4510	32	0,037	0,179	0,359	нет
15	70348	р. Покшеньга – пос. Сылога	2780	50	0,059	0,142	0,285	нет
16	70350	р. Ежуга – пос. Сюзьма	1800	28	0,054	0,192	0,384	нет
17	70351	р. Ежуга – пос. Широкое	1970	37	0,088	0,165	0,331	нет

Как показал анализ, для рядов максимальных расходов и слоев стока ве-
сеннего половодья случаев со значимостью тренда не зафиксировано.

Ниже представлены хронологические графики с линией тренда для рядов максимальных расходов воды и слоев весеннего половодья (Рисунок 3.2, 3.3).

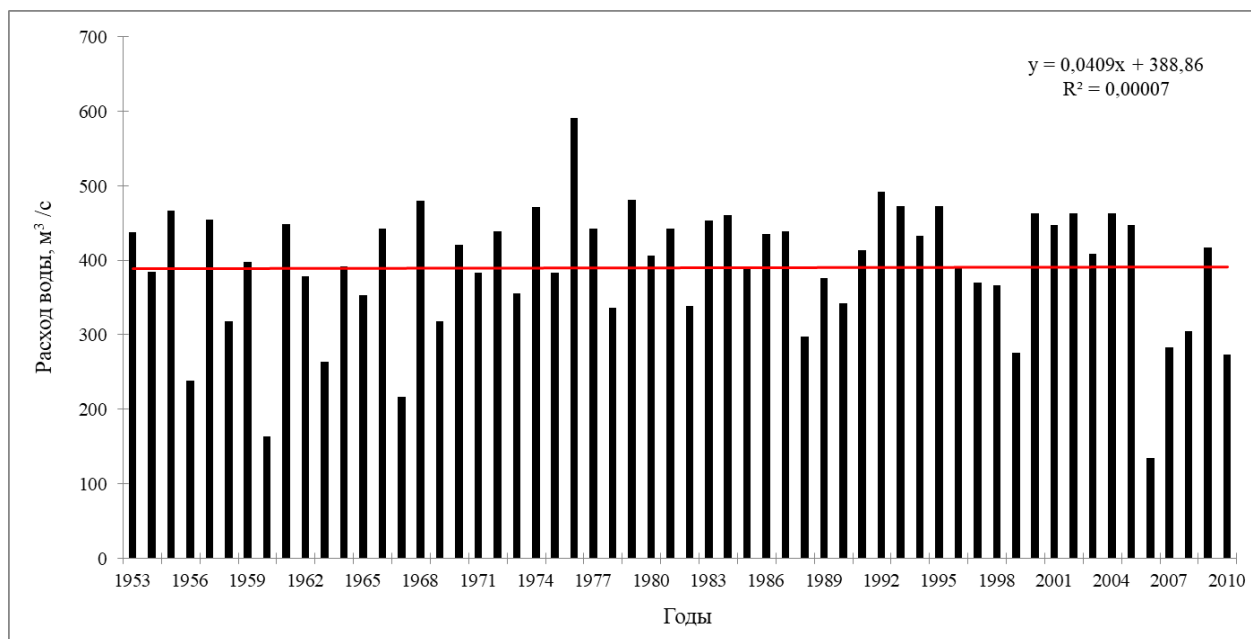


Рисунок 3.2 – Хронологический график максимальных расходов воды
весеннего половодья для р. Пинега – д. Согры

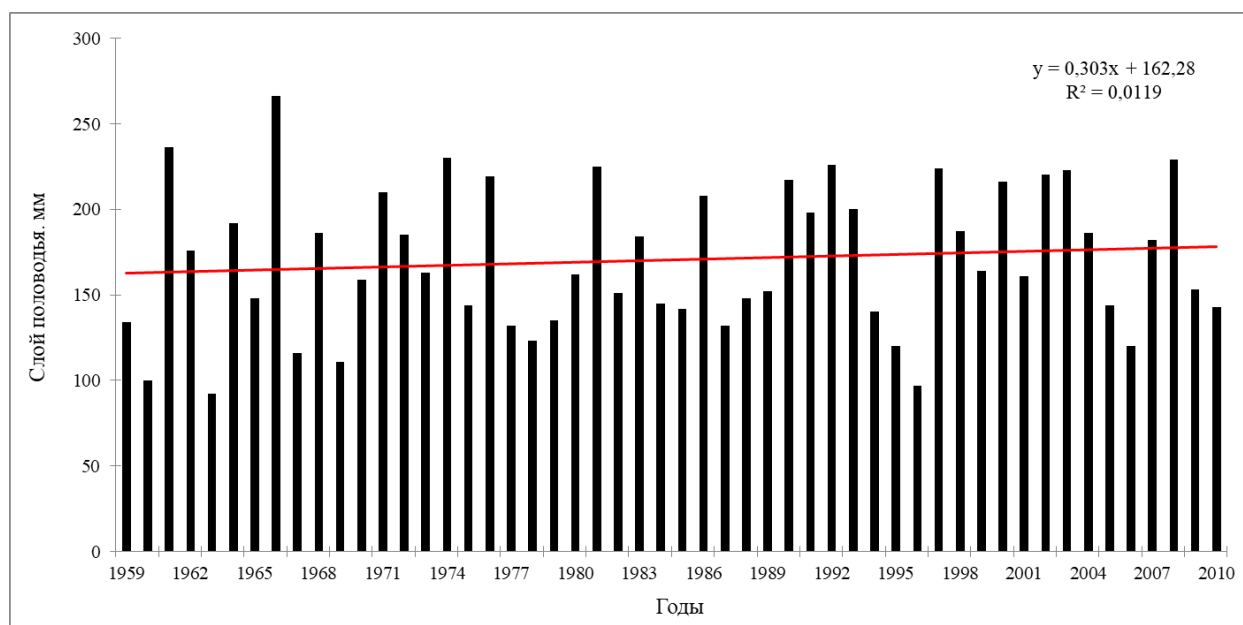


Рисунок 3.3 – Хронологический график слоев весеннего половодья
для р. Пинега – д. Засурье

3.3 Проверка рядов на однородность

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:

$$F^* = \frac{D_1^*}{D_2^*} \quad (3.3)$$

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 [8], 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 выполнялось условие:

$$F^* < F_{2\alpha} \quad (3.4)$$

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

$$t^* = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \quad (3.5)$$

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:

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (3.6)$$

Критическое значение статистики Стьюдента определялось по таблицам, опубликованным в [8], 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 выполнялось условие:

$$|t^*| < t_{2\alpha} \quad (3.7)$$

Результаты проверки рядов на однородность представлены ниже. Для максимальных расходов весеннего половодья – таблица 3.6, для слоев стока весеннего половодья – таблица 3.7. Сводные данные по проверке рядов на однородность приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Сводные данные по проверке на однородность рядов максимальных расходов и слоев весеннего половодья рек бассейна р. Северная Двина

Вид стока	общее число случаев	Число случаев опровержения гипотезы об однородности			
		по критерию Фишера		по критерию Стьюдента	
		абсолютное	относительное, %	абсолютное	относительное, %
Максимальные расходы весеннего половодья	17	1	6	0	0
Слои стока за половодье	17	0	0	0	0

Из таблицы 3.4 видно, что гипотеза об однородности рядов слоев стока весеннего половодья не опровергается по критериям Фишера и Стьюдента, следовательно, их можно считать однородными. В рядах максимальных расходов весеннего половодья гипотеза об однородности опровергается только в одном случае по критерию Фишера, поэтому их также можно считать однородными, кроме ряда расходов воды по реке Пинега в створе с. Кулогоры.

Для проверки ряда максимальных расходов воды весеннего половодья по посту р. Пинега – с. Кулогоры были применены непараметрические критерии Диксона и Смирнова-Граббса.

При использовании указанных критериев исходный ряд ранжируется в возрастающем порядке: $x_1 < x_2 < \dots < x_n$.

Статистика критерия Диксона для максимального члена выборки имеет вид:

$$D^*_{\max} = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} \quad (3.8)$$

Гипотеза об однородности ряда по критерию Диксона не опровергается, если

$$D^* < D_a \quad (3.9)$$

Статистика критерия Смирнова-Граббса для максимального члена выборки имеет вид:

$$G^*_{\max} = \frac{x_n - \bar{x}}{S_x} \quad (3.10)$$

Гипотеза об однородности ряда по критерию Смирнова-Граббса не опровергается, если

$$G^* < G_a \quad (3.11)$$

Результаты проверки на однородность для ряда максимальных расходов воды весеннего половодья по посту р. Пинега – с. Кулогоры представлены ниже в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты проверки на однородность ряда максимальных расходов весеннего половодья по посту р. Пинега – с. Кулогоры (« – » гипотеза не опровергается, « + » гипотеза опровергается)

Река - пункт	n	D_{max}^*	$D_{max5\%}$	$H_0:Q_{\Sigma}^* / Q_{max}$	G_{max}^*	$G_{max5\%}$	$H_0:Q_{\Sigma}^* / Q_{max}$
Пинега - с. Кулогоры	93	0,36	0,38	-	4,93	5,00	-

Проверка показала, что гипотеза об однородности не опровергается. Также дальнейший анализ показал, что точка, отскакивающая в зоне малых обеспеченностей, попадает в 90% доверительный интервал, поэтому такое отклонение является допустимым, а значит, что все значения ряда принадлежат одной генеральной совокупности.

В дальнейшем ряд обрабатывался как однородный. На рисунке 3.4 представлена эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей максимальных расходов воды р. Пинега – с. Кулогоры.

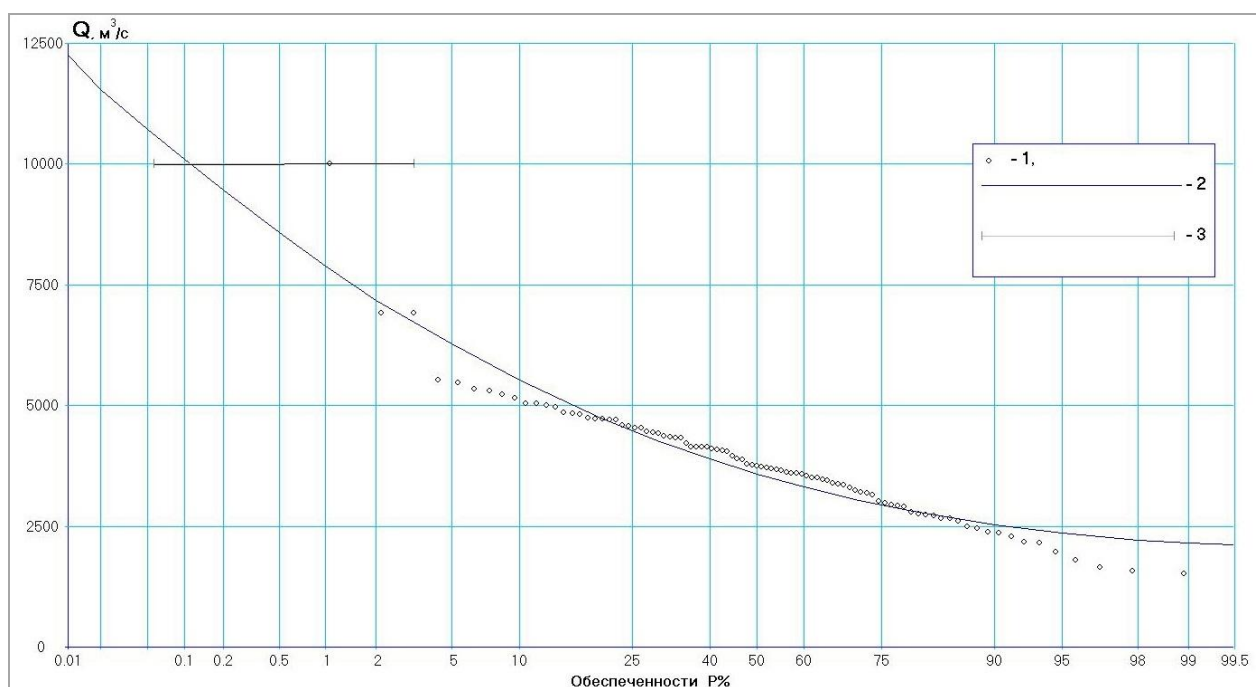


Рисунок 3.4 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей максимальных расходов воды весеннего половодья, р. Пинега – с. Кулогоры;

Таблица 3.6 – Результаты проверки на однородность рядов максимальных расходов весеннего половодья рек бассейна р. Северная Двина;
(« – » гипотеза не опровергается, « + » гипотеза опровергается)

№ п/п	Река – створ	n	t^*	$t_{2\alpha}$	$H_0 : Q_1 = Q_2$	F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0 : D_1 = D_2$
1	р. Северная Двина – д. Абрамково	133	0,41	1,98	–	1,17	1,65	–
2	р. Северная Двина – д. Звоз	71	0,41	2,00	–	1,54	2,00	–
3	р. Северная Двина – с. Усть-Пинега	130	0,32	1,98	–	1,15	1,65	–
4	р. Пинега – д. Согры	58	0,02	2,00	–	1,21	2,13	–
5	р. Пинега – пос. Северный	37	0,77	2,03	–	1,38	2,66	–
6	р. Пинега – д. Засурье	52	0,50	2,01	–	1,44	2,24	–
7	р. Пинега – с. Кулогоры	93	0,67	1,99	–	2,43	1,84	+
8	р. Охтома – пос. Ламбас	37	1,32	2,03	–	1,87	2,63	–
9	р. Большая Илеша – пос. Красное	37	1,29	2,03	–	2,10	2,63	–
10	р. Выя – д. Гаврилово	60	0,20	2,00	–	1,90	2,10	–
11	р. Нюхча – изба Широкая	27	0,85	2,06	–	1,50	3,17	–
12	р. Сура – д. Гора	36	0,99	2,03	–	1,87	2,68	–
13	р. Юла – д. Пачиха	51	1,47	2,01	–	1,15	2,27	–
14	р. Юла – д. Каренжиха	32	0,85	2,04	–	1,93	2,86	–
15	р. Покшеньга – пос. Сылога	51	1,47	2,01	–	1,15	2,27	–
16	р. Ежуга – пос. Сюзьма	61	0,32	2,00	–	1,88	2,09	–
17	р. Ежуга – пос. Широкое	37	0,19	2,03	–	1,11	2,66	–

Таблица 3.7 – Результаты проверки на однородность рядов слоев
весеннего половодья рек бассейна р. Северная Двина;
(« – » гипотеза не опровергается, « + » гипотеза опровергается)

№ п/п	Река – створ	n	t^*	$t_{2\alpha}$	$H_0 : Q_1 = Q_2$	F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0 : D_1 = D_2$
1	р. Северная Двина – д. Абрамково	93	0,14	1,99	–	1,14	1,84	–
2	р. Северная Двина – д. Звоз	70	0,65	2,00	–	1,24	2,00	–
3	р. Северная Двина – с. Усть-Пинега	129	1,27	1,98	–	1,11	1,66	–
4	р. Пинега – д. Согры	58	0,33	2,00	–	1,81	2,13	–
5	р. Пинега – пос. Северный	37	0,09	2,03	–	1,12	2,66	–
6	р. Пинега – д. Засурье	52	0,68	2,01	–	1,32	2,24	–
7	р. Пинега – с. Кулогоры	93	0,91	1,99	–	1,75	1,84	–
8	р. Охтома – пос. Ламбас	37	1,05	2,03	–	1,09	2,63	–
9	р. Большая Илеша – пос. Красное	37	0,77	2,03	–	1,67	2,63	–
10	р. Выя – д. Гаврилово	60	0,43	2,00	–	1,30	2,10	–
11	р. Нюхча – изба Широкая	27	0,68	2,06	–	1,13	3,26	–
12	р. Сура – д. Гора	36	0,96	2,03	–	1,18	2,68	–
13	р. Юла – д. Пачиха	52	0,68	2,01	–	1,33	2,24	–
14	р. Юла – д. Каренжиха	32	0,11	2,04	–	1,47	2,86	–
15	р. Покшеньга – пос. Сылога	50	0,33	2,01	–	1,15	2,28	–
16	р. Ежуга – пос. Сюзьма	28	0,67	2,06	–	1,72	3,13	–
17	р. Ежуга – пос. Широкое	37	0,62	2,03	–	1,02	2,66	–

Можно считать, что ряды расходов и слоев стока для рек бассейна
р. Северная Двина являются однородными и стационарными.

4 РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ И СЛОЕВ СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В ПУНКТАХ НАБЛЮДЕНИЙ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

4.1 Оценка основных статистических характеристик и их погрешностей

Расчет основных статистических характеристик рядов максимальных расходов и рядов слоев весеннего половодья рек бассейна р. Северная Двина выполнялся методом моментов. Применение метода моментов для оценки коэффициента вариации можно допускать лишь для $C_v < 0,6$. Для построения эмпирических и аналитических кривых обеспеченностей максимальных расходов и слоев весеннего половодья различной вероятности ежегодного превышения использовались кривые Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа.

Среднее значение ряда максимальных расходов весеннего половодья определялось по формуле:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \quad (4.1)$$

Среднее значение ряда слоя весеннего половодья определялось по формуле:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \quad (4.2)$$

Коэффициент вариации:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}} \quad (4.3)$$

где k_i — модульный коэффициент, который определяется по формуле:

для максимальных расходов весеннего половодья:

$$k_i = \frac{Q_i}{Q} \quad (4.4)$$

для слоя весеннего половодья:

$$k_i = \frac{h_i}{h} \quad (4.5)$$

Коэффициент асимметрии определялся по формуле:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n-1)(n-2)C_v^3} \quad (4.6)$$

Среднеквадратичное отклонение:

для максимальных расходов весеннего половодья:

$$\sigma = C_v \bar{Q} \quad (4.7)$$

для слоя весеннего половодья:

$$\sigma = C_v \bar{h} \quad (4.8)$$

Относительные погрешности рассчитывались по формулам: для среднего значения:

$$\varepsilon_{\bar{x}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} 100\% \quad (4.9)$$

для коэффициента вариации:

$$\varepsilon_{C_v} = \frac{1}{n + 4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1 + C_v^2)}{2}} 100\% \quad (4.10)$$

для коэффициента асимметрии:

$$\varepsilon_{C_s} = \frac{1}{C_s} \sqrt{\frac{6}{n} (1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)} 100\% \quad (4.11)$$

Для рядов, у которых ошибки среднего и коэффициента вариации больше критических значений (20%), подбирались аналоги, с помощью которых параметры распределения и их относительные погрешности пересчитывались.

В ходе работы были выявлены 3 поста с завышенными ошибками среднего и коэффициента вариации в рядах максимальных расходов и слоев весеннего половодья. Данные по ним представлены в таблице 4.1. 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 ($f_{оз}$), заболоченность ($f_{б}$), лесистость ($f_{л}$), средняя высота водосбора (H) и средний уклон (I_p).

Таблица 4.1 – Основные гидрографические характеристики
расчетных рек и рек – аналогов

№ п/п	Вид сто- ка	Расчетная река	Река - аналог	Гидрографическая характеристика					
				$A, \text{ км}^2$	$H, \text{ м}$	$I_p, \%$	$f_{оз}, \%$	$f_{б}, \%$	$f_{л}, \%$
1	Q_{max}	р. Ежуга - пос. Сюзьма	-	1800	102	1,30	<1	11	87
		-	р. Выя - д. Гав- рилово	2440	134	1,57	<1	2	94
2	h	р. Ежуга - пос. Сюзьма	-	1800	102	1,30	<1	11	87
		-	р. Нюхча - изба Широкая	895	183	1,38	<1	2	95
3	Q_{max}	р. Юла - д. Пачиха	-	4390	192	0,57	<1	3	94
		-	р. Покшеньга - пос. Сылога	2780	136	0,70	<1	6	91
4	h	р. Юла - д. Пачиха	-	4390	192	0,57	<1	3	94
		-	р. Пинега - д. Засурье	17100	159	0,33	<1	2	94
5	Q_{max}	р. Ежуга - пос. Широкое	-	1970	104	1,15	<1	13	87
		-	р. Пинега - пос. Северный	10200	164	0,39	<1	2	94
6	h	р. Ежуга - пос. Широкое	-	1970	104	1,15	<1	13	87
		-	р. Пинега - пос. Северный	10200	164	0,39	<1	2	94

Рассчитанные статистические характеристики представлены в таблице 4.2. На рисунках 4.1 – 4.6 представлены графики связи максимальных расходов и слоев стока весеннего половодья для трёх расчетных постов и рек аналогов за совместный период наблюдений.

Таблица 4.2 – Основные статистические характеристики стока за весеннее половодье расчетных рек и рек – аналогов

№ п/п	Вид сто- ка	Расчетная река	Река - аналог	Статистические характеристики						
				$A,$ км ²	$n,$ лет	C_v	$\bar{Q},$ м ³ /с	$\bar{h},$ мм	, %	$\varepsilon_{C_v},$ %
1	Q_{max}	р. Ежуга - пос. Сюзьма	-	1800	16	0,34	200	-	8,6	18,2
		-	р. Выя - д. Гаврилово	2440	60	0,29	405	-	3,8	9,5
2	h	р. Ежуга - пос. Сюзьма	-	1800	16	0,30	-	143	7,6	18,1
		-	р. Нюхча - изба Широкая	895	27	0,30	-	178	5,9	14,0
3	Q_{max}	р. Юла - д. Пачиха	-	4390	14	0,21	588	-	5,7	19,1
		-	р. Покшень- га - пос. Сы- лога	2780	51	0,26	269	-	3,7	10,2
4	h	р. Юла - д. Пачиха	-	4390	14	0,28	-	173	7,5	19,2
		-	р. Пинега - д. Засурье	17100	52	0,25	-	170	3,4	10,1
5	Q_{max}	р. Ежуга - пос. Широ- кое	-	1970	15	0,15	231	-	3,9	18,4
		-	р. Пинега - пос. Север- ный	10200	37	0,24	1105	-	4,0	11,9
6	h	р. Ежуга - пос. Широ- кое	-	1970	15	0,25	-	159	6,5	18,5
		-	р. Пинега - пос. Север- ный	10200	37	0,24	-	163	4,0	11,9

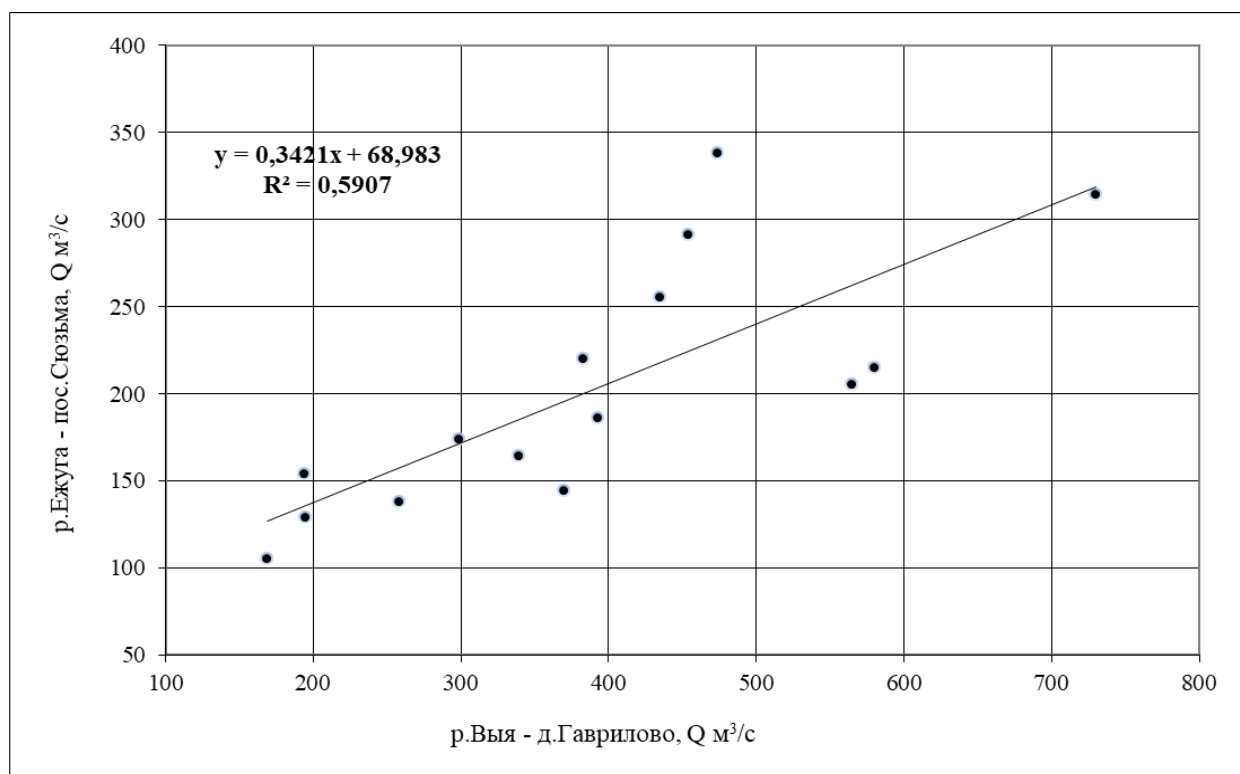


Рисунок 4.1 – График связи максимальных расходов расчетной реки
Ежуга – пос. Сюзьма и реки - аналога Выя – д. Гаврилово

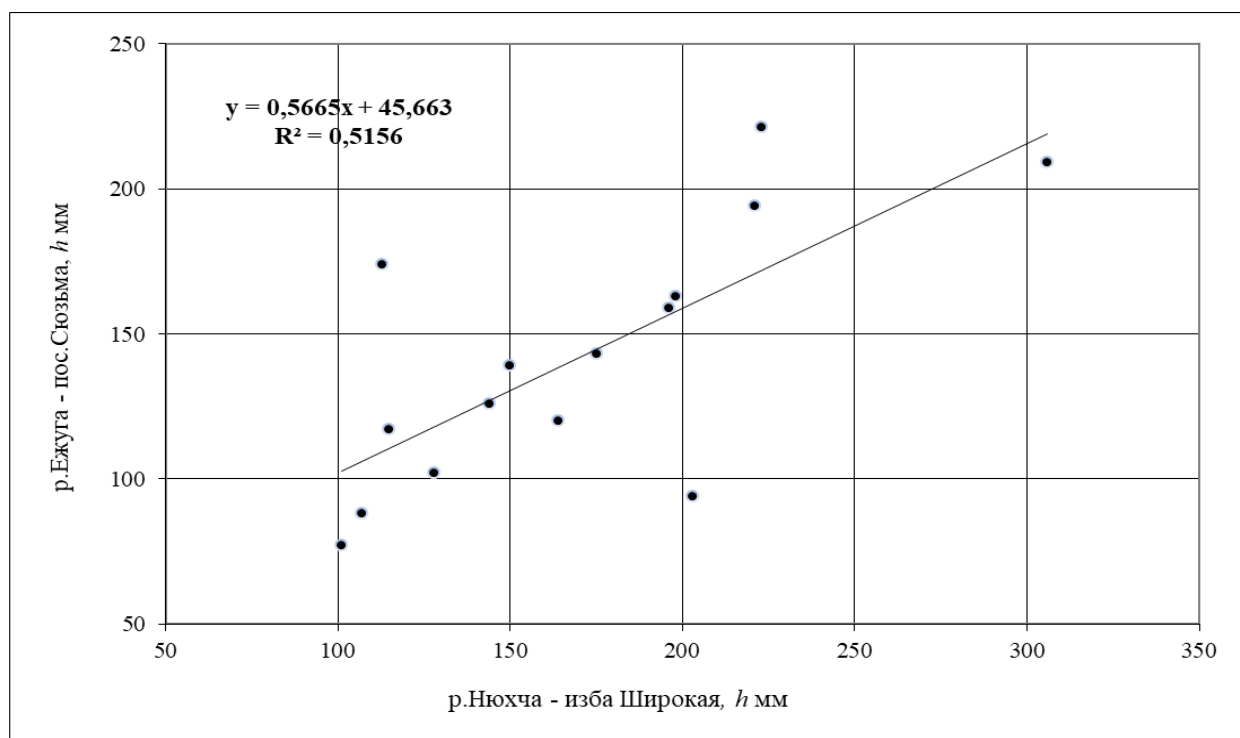


Рисунок 4.2 – График связи слоев весеннего половодья расчетной реки
Ежуга – пос. Сюзьма и реки - аналога Нюхча – изба Широкая

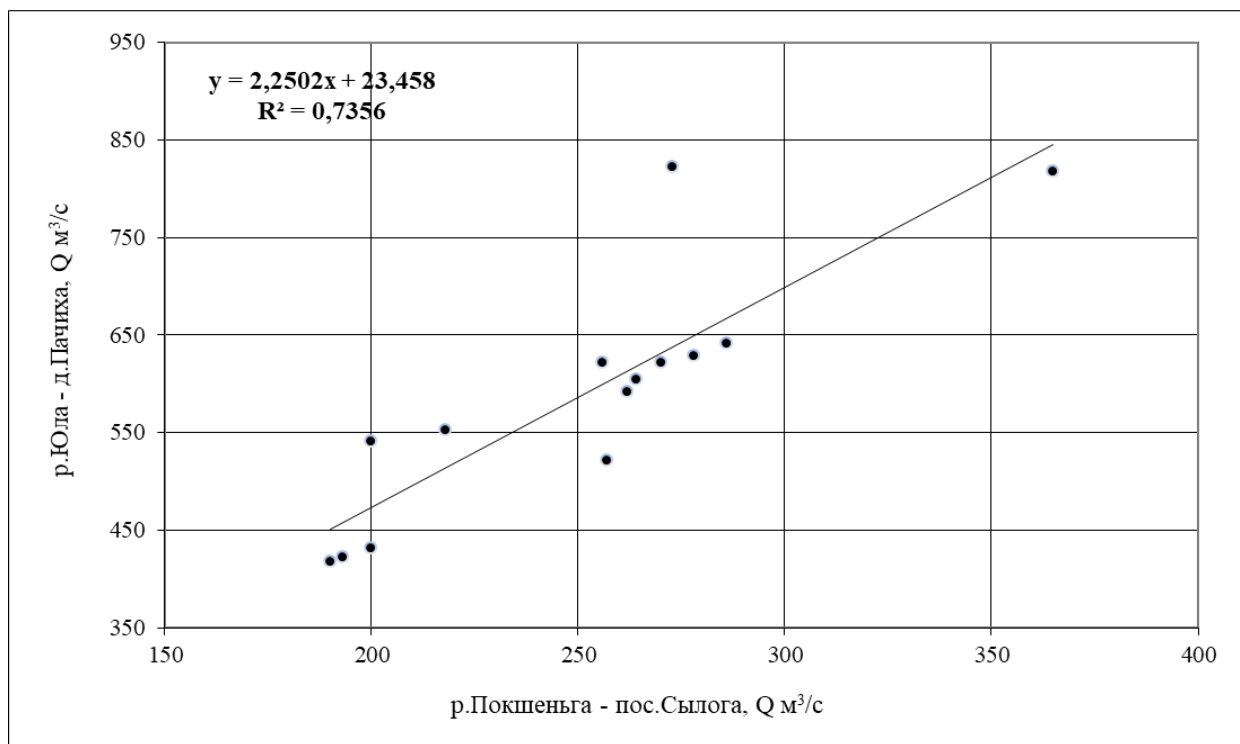


Рисунок 4.3 – График связи максимальных расходов расчетной реки Юла – д. Пачиха и реки - аналога Покшеньга – пос. Сылога

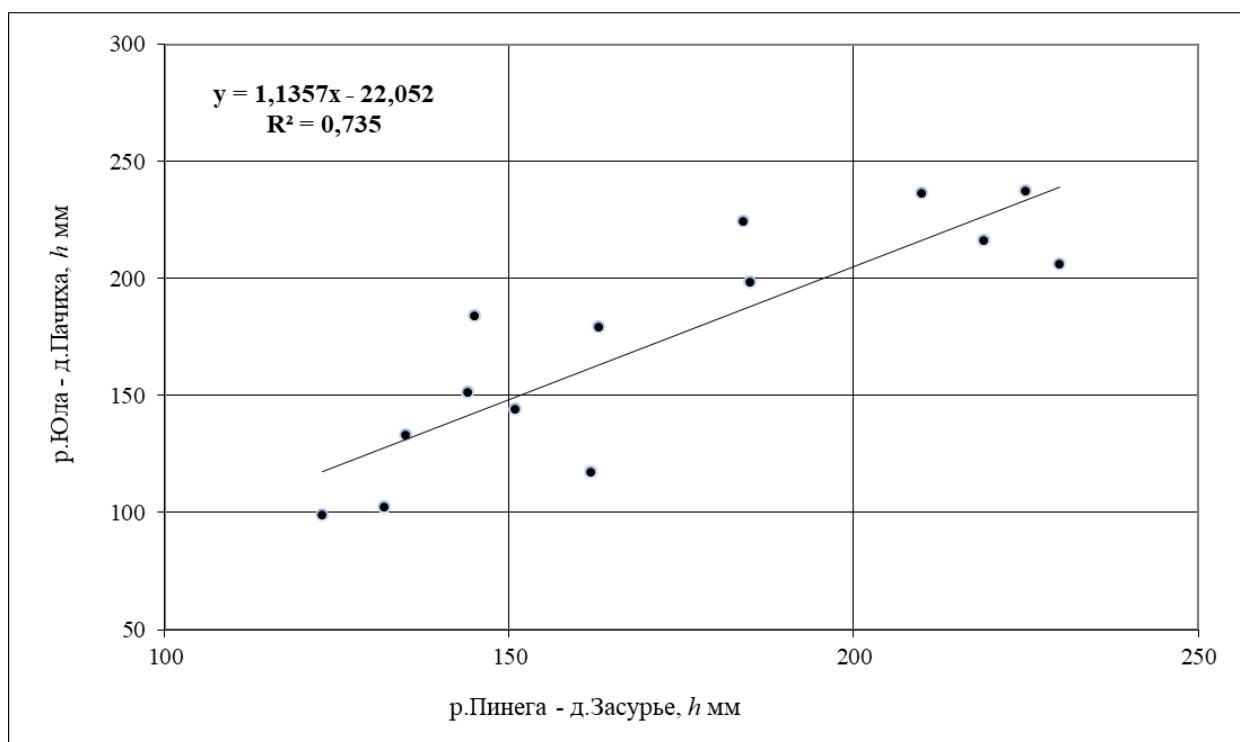


Рисунок 4.4 – График связи слоев весеннего половодья расчетной реки Юла – д. Пачиха и реки - аналога Пинега – д. Засурье

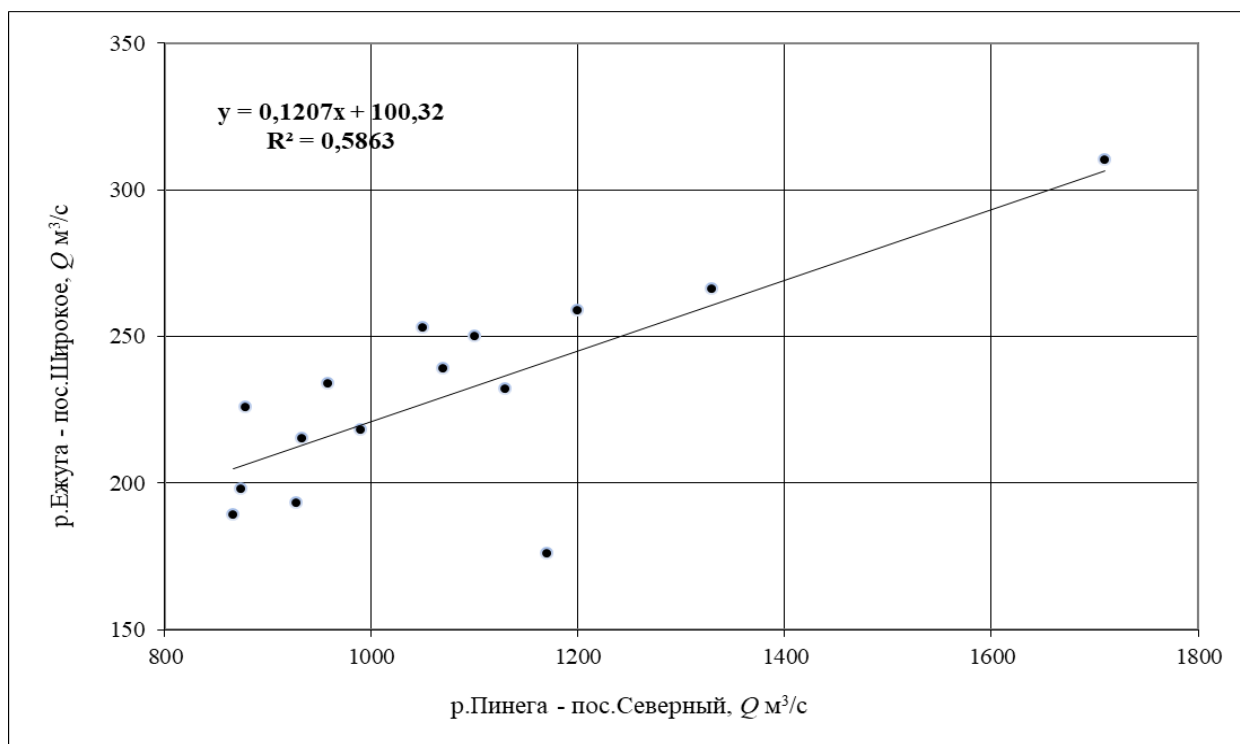


Рисунок 4.5 – График связи максимальных расходов расчетной реки Ежуга – пос. Широкое и реки - аналога Пинега – пос. Северный

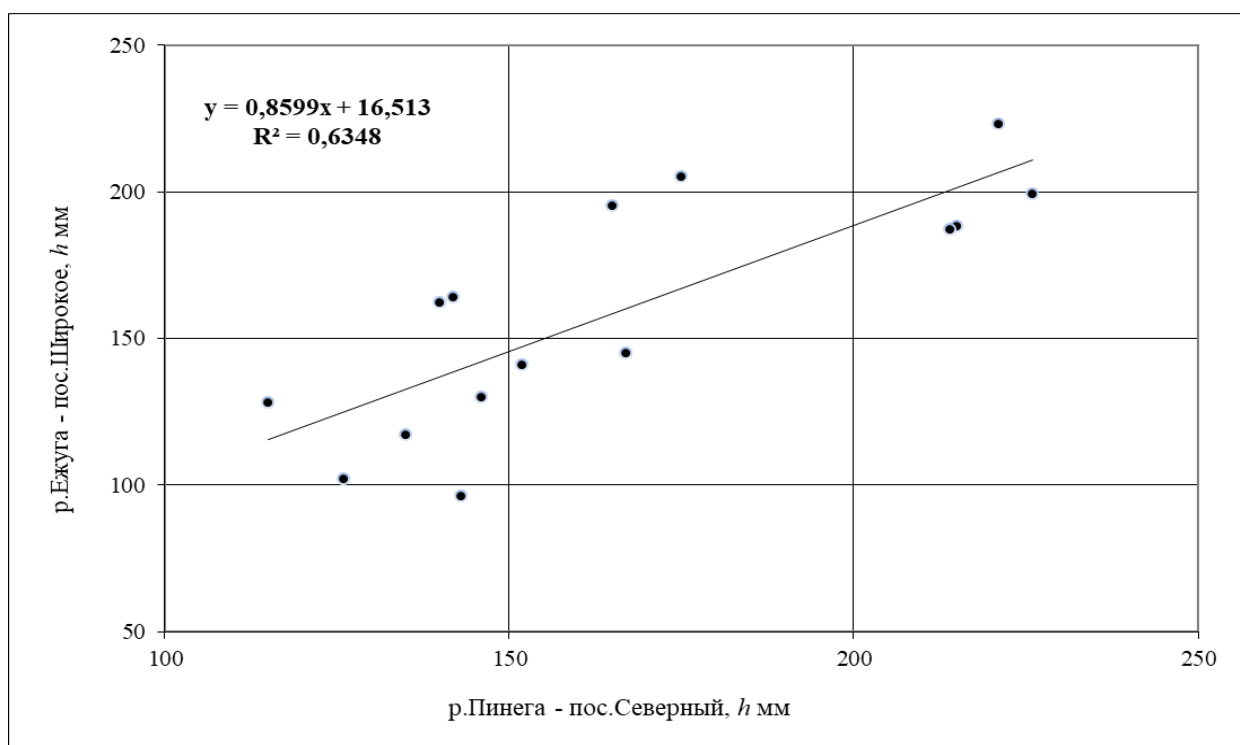


Рисунок 4.6 – График связи слоев весеннего половодья расчетной реки Ежуга – пос. Широкое и реки - аналога Пинега – пос. Северный

Восстановление рядов производилось с помощью уравнения линейной регрессии:

$$Q_N = aQ_{N,a} + b \quad (4.12)$$

$$h_N = ah_{N,a} + b \quad (4.13)$$

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:

$$n \geq 6; \quad |R| \geq 0,7 \quad \frac{R}{\sigma_R} \geq 2 \quad \frac{a}{\sigma_a} \geq 2; \quad (4.14)$$

где R – коэффициент корреляции;
 σ_R – погрешность коэффициента корреляции;
 σ_a – погрешность коэффициента регрессии;

В таблице 4.3 представлены результаты расчетов параметров уравнения регрессии для рядов максимальных расходов и слоев весеннего половодья.

Таблица 4.3 – Параметры уравнения линейной регрессии

№ п/п	Вид стока	Река - створ	R	σ_R	a	σ_a	b	R/σ_R	a/σ_a	уравнение регрессии
1	Q_{max}	р. Ежуга - пос. Сюзьма	0,77	0,11	0,34	0,08	68,98	7,03	4,28	$y=0,342x+68,98$
		р. Выя - д. Гаврилово								
2	h	р. Ежуга - пос. Сюзьма	0,72	0,13	0,57	0,15	45,66	5,55	3,75	$y=0,567x+45,66$
		р. Нюхча - изба Широкая								

Продолжение таблицы 4.3

3	Q_{max}	р. Юла - д. Пачиха	0,86	0,07	2,25	0,39	23,46	11,6	5,76	$y=2,250x+23,46$
		р. Покшеньга - пос. Сылога								
4	h	р. Юла - д. Пачиха	0,86	0,07	1,14	0,20	-22,05	11,7	5,83	$y=1,136x-22,05$
		р. Пинега - д. Засурье								
5	Q_{max}	р. Ежуга - пос. Широкое	0,77	0,11	0,12	0,03	100,3	6,93	4,22	$y=0,121x+100,3$
		р. Пинега - пос. Северный								
6	h	р. Ежуга - пос. Широкое	0,80	0,10	0,86	0,18	16,51	8,16	4,84	$y=0,860x+16,51$
		р. Пинега - пос. Северный								

Так как все условия выполняются, уравнение можно использовать для расчётов.

Результаты расчета основных статистических характеристик для рядов максимальных расходов весеннего половодья и слоев весеннего половодья рек бассейна р. Северная Двина приведены в таблицах 4.4 – 4.5.

Как видно из таблиц относительные погрешности в рядах максимальных расходов весеннего половодья для среднего значения находятся в интервале от 1,9% до 6,7%. Относительные погрешности коэффициента вариации колеблются в интервале от 6,3% до 14,1%.

Относительные погрешности в рядах слоя весеннего половодья для среднего значения находятся в интервале от 1,8% до 5,9%, для коэффициента вариации – от 6,3% до 14,0%.

Так как во всех случаях погрешности расчета числовых характеристик не превышают допустимых значений, расчет можно считать надежным.

Учитывая большую погрешность коэффициента асимметрии, эмпирическое значение C_s/C_v принято с округлением до 0,5 в большую сторону.

Таблица 4.4 – Основные статистические характеристики рядов

максимальных расходов весеннего половодья рек бассейна р. Северная Двина

№	Река - створ	Площадь водо- сбора, км ²	Средний расход, м ³ /с	C_v	C_s	C_s/C_v	Относитель- ная погреш- ность	
							$\bar{Q}$	C_v
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	р. Северная Двина – д. Абрамково	220000	11953	0,26	0,25	0,97	2,2	6,3
2	р. Северная Двина – д. Звоз	285000	15571	0,24	0,23	0,96	2,8	8,6
3	р. Северная Двина – с. Усть-Пинега	348000	21567	0,22	-0,03	-0,15	1,9	6,3
4	р. Пинега – д. Согры	3120	390	0,22	-0,87	-3,96	2,9	9,5
5	р. Пинега – пос. Северный	10200	1105	0,24	0,54	2,23	4,0	11,9
6	р. Пинега – д. Засурье	17100	2000	0,27	0,37	1,36	3,8	10,1
7	р. Пинега – с. Кулогоры	36700	3850	0,32	1,34	4,13	3,4	7,7
8	р. Охтома – пос. Ламбас	592	112	0,26	-0,17	-0,64	4,3	11,9
9	р. Большая Илеша – пос. Красное	1620	249	0,25	0,06	0,23	4,1	11,9
10	р. Выя – д. Гаврилово	2440	405	0,29	0,19	0,64	3,8	9,5
11	р. Нюхча – изба Ши- рокая	895	179	0,31	0,84	2,67	6,0	14,1
12	р. Сура – д. Гора	1060	162	0,26	0,04	0,15	4,4	12,1
13	р. Юла – д. Пачиха	4390	634	0,29	0,21	0,71	4,1	10,2
14	р. Юла – д. Каренжиха	4510	544	0,38	0,92	2,44	6,7	13,1
15	р. Покшеньга – пос. Сылога	2780	269	0,26	0,22	0,84	3,7	10,2
16	р. Ежуга – пос. Сюзьма	1800	208	0,25	0,29	1,16	3,2	9,3
17	р. Ежуга – пос. Широкое	1970	235	0,18	0,28	1,56	2,9	11,8

Таблица 4.5 – Основные статистические характеристики рядов
слоев стока весеннего половодья рек бассейна р. Северная Двина

№	Река - створ	Площадь водо- сбора, км ²	Средний слой, мм	C_v	C_s	C_s/C_v	Относитель- ная погреш- ность	
							$\bar{h}$	C_v
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	р. Северная Двина – д. Абрамково	220000	169	0,22	-0,27	-1,24	2,3	7,5
2	р. Северная Двина – д. Звоз	285000	174	0,21	-0,23	-1,09	2,6	8,6
3	р. Северная Двина – с. Усть-Пинега	348000	178	0,20	-0,12	-0,61	1,8	6,3
4	р. Пинега – д. Согры	3120	177	0,25	0,14	0,57	3,3	9,5
5	р. Пинега – пос. Северный	10200	163	0,24	0,20	0,84	4,0	11,9
6	р. Пинега – д. Засурье	17100	170	0,25	0,14	0,57	3,4	10,1
7	р. Пинега – с. Кулогоры	36700	167	0,26	-0,11	-0,45	2,6	7,5
8	р. Охтома – пос. Ламбас	592	201	0,28	-0,03	-0,12	4,5	12,0
9	р. Большая Илеша – пос. Красное	1620	194	0,28	0,17	0,60	4,6	12,0
10	р. Выя – д. Гаврилово	2440	172	0,30	0,08	0,25	3,9	9,5
11	р. Нюхча – изба Ши- рокая	895	178	0,30	0,29	0,94	5,9	14,0
12	р. Сура – д. Гора	1060	159	0,28	0,53	1,88	4,7	12,1
13	р. Юла – д. Пачиха	4390	171	0,32	0,05	0,14	4,5	10,2
14	р. Юла – д. Каренжиха	4510	160	0,30	0,14	0,48	5,4	12,9
15	р. Покшеньга – пос. Сылога	2780	132	0,28	-0,13	-0,47	4,0	10,3
16	р. Ежуга – пос. Сюзьма	1800	148	0,28	-0,05	-0,18	5,3	13,7
17	р. Ежуга – пос. Широкое	1970	156	0,27	0,01	0,04	4,5	12,0

4.2 Расчет максимальных расходов и слоев весеннего половодья различной обеспеченности

С использованием полученных статистических параметров были подобраны и построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей (приложение Б) и рассчитаны максимальные расходы воды и слои стока весеннего половодья различной обеспеченности. В качестве аналитической кривой использовались кривые обеспеченностей Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа. Расчет выполнялся методом моментов.

Результаты выполненных расчетов представлены в таблице 4.6 – 4.7.

На рисунках 4.7 – 4.8 представлены примеры построения кривых обеспеченностей Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа.

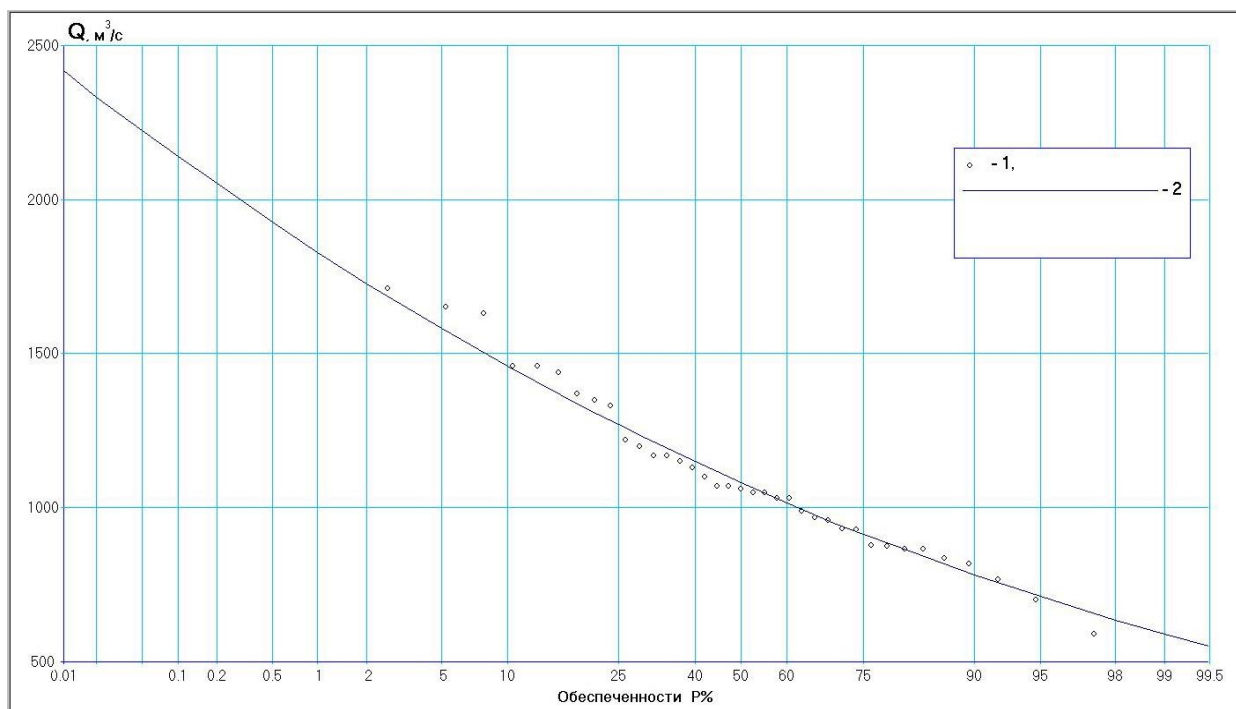


Рисунок 4.7 – Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов воды весеннего половодья Пирсона III типа для р. Пинега – пос. Северный

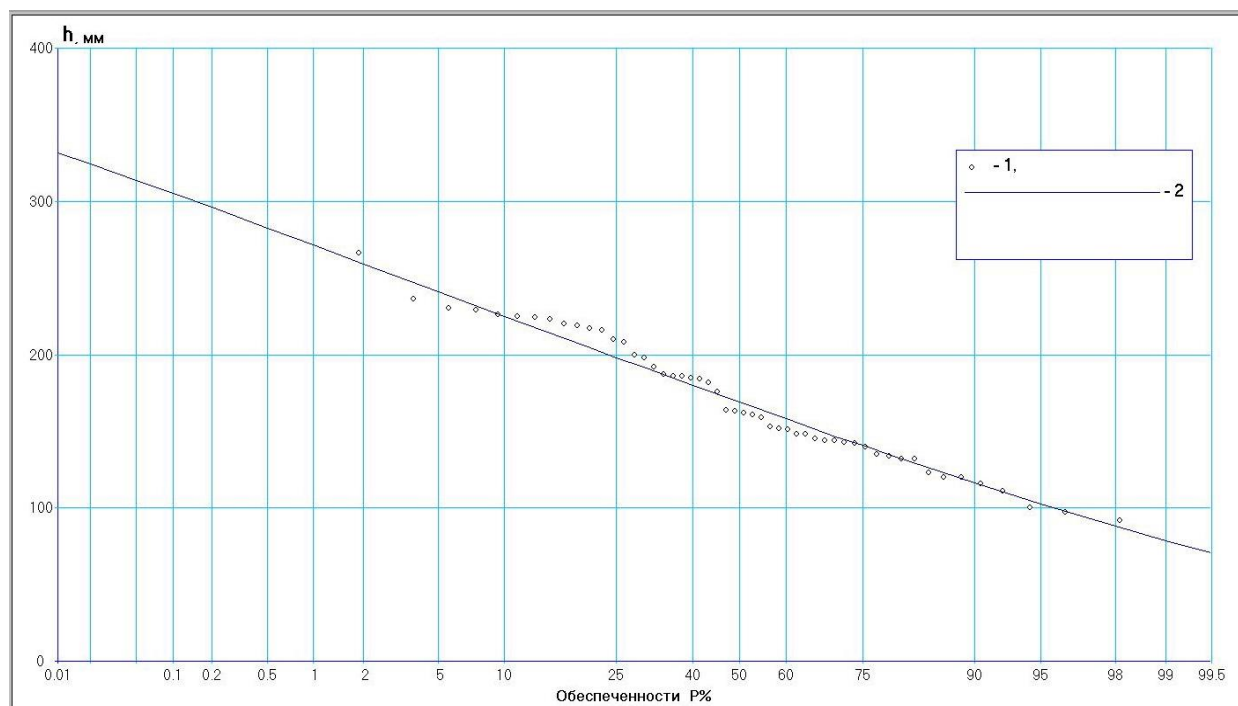


Рисунок 4.8 – Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев весеннего половодья Крицкого-Менкеля для р. Пинега – д. Засурье

Таблица 4.6 – Максимальные расходы весеннего половодья Q ($\text{м}^3/\text{с}$) расчетной обеспеченности рек бассейна р. Северная Двина

Река - створ	A , км^2	Q , $\text{м}^3/\text{с}$	C_v	Расходы обеспеченностью $P\%$, $\text{м}^3/\text{с}$					
				1	3	5	10	25	50
р. Северная Двина - д. Абрамково	220000	11953	0,26	19623	18168	17231	16007	13982	11819
р. Северная Двина - д. Звоз	285000	15571	0,24	24835	22889	21961	20477	18027	15420
р. Северная Двина - с. Усть-Пинега	348000	21567	0,22	32562	30725	29342	27663	24779	21583
р. Пинега - д. Со-гры	3120	390	0,22	534	518	507	489	453	402
р. Пинега - пос. Се-верный	10200	1105	0,24	1828	1674	1582	1459	1270	1080
р. Пинега - д. Засу-рье	17100	2000	0,27	3417	3099	2960	2726	2352	1964
р. Пинега - с. Куло-горы	36700	3850	0,32	7885	6902	6275	5523	4473	3587

Продолжение таблицы 4.6

р. Охтома - пос. Ламбас	592	112	0,26	178	167	160	150	133	113
р. Большая Илеша - пос. Красное	1620	249	0,25	395	368	352	330	291	248
р. Выя - д. Гаврилово	2440	405	0,29	695	632	607	560	484	401
р. Нюхча - изба Широкая	895	179	0,31	343	310	283	255	212	172
р. Сура - д. Гора	1060	162	0,26	260	243	232	217	191	162
р. Юла - д. Пачиха	4390	634	0,29	1093	990	953	879	758	628
р. Юла - д. Каренжиха	4510	544	0,38	1151	1017	925	818	659	514
р. Покшеньга - пос. Сылога	2780	269	0,26	445	408	390	362	316	266
р. Ежуга - пос. Сюзьма	1800	208	0,25	342	311	300	278	243	206
р. Ежуга - пос. Широкое	1970	235	0,18	341	319	308	289	262	233

Таблица 4.7 – Слои стока весеннего половодья h (мм) расчетной обеспеченности рек бассейна р. Северная Двина

Река - створ	A , км ²	h , мм	C_v	Слои обеспеченностью $P\%$, мм					
				1	3	5	10	25	50
р. Северная Двина - д. Абрамково	220000	169	0,22	247	235	226	215	194	170
р. Северная Двина - д. Звоз	285000	174	0,21	254	241	232	220	199	175
р. Северная Двина - с. Усть-Пинега	348000	178	0,20	259	245	236	224	202	178
р. Пинега - д. Согры	3120	177	0,25	285	262	253	235	206	176
р. Пинега - пос. Северный	10200	163	0,24	260	240	230	215	189	162
р. Пинега - д. Засурье	17100	170	0,25	272	252	241	225	198	169
р. Пинега - с. Кулогоры	36700	167	0,26	262	245	235	221	196	167
р. Охтома - пос. Ламбас	592	201	0,28	329	308	292	272	239	202

Продолжение таблицы 4.7

р. Большая Илеша - пос. Красное	1620	194	0,28	328	300	288	266	231	193
р. Выя - д. Гаври- лово	2440	172	0,30	292	271	258	239	206	171
р. Нюхча - изба Широкая	895	178	0,30	314	284	272	250	214	175
р. Сура - д. Гора	1060	159	0,28	282	257	240	220	187	155
р. Юла - д. Пачиха	4390	171	0,32	303	277	264	243	208	171
р. Юла - д. Карен- жиха	4510	160	0,30	276	253	242	223	192	159
р. Покшеньга - пос. Сылога	2780	132	0,28	215	201	192	179	158	133
р. Ежуга - пос. Сюзьма	1800	148	0,28	245	229	217	202	177	149
р. Ежуга - пос. Ши- рокое	1970	156	0,27	253	237	226	211	186	156

4.3 Районирование соотношения C_s/C_v весеннего половодья

Для бассейна р. Северная Двина было проведено районирование соотношения C_s/C_v и выделены два гидрологических района:

- 1-й гидрологический район с $C_s/C_v = 0,5$ (бассейн реки Пинеги);
- 2-й гидрологический район с $C_s/C_v = 1,0$ (бассейн р. Северная Двина без бассейна р. Пинега)

Районирование бассейна реки Северная Двина по соотношению C_s/C_v весеннего половодья представлено на рисунке 4.9.

Полученная карта сравнивалась с картой районирования величин соотношения C_s/C_v для весеннего половодья приведенной в приложении к пособию [11], на которой вся рассматриваемая территория относится к соотношению $C_s/C_v = 2,0$. Данное отличие можно объяснить следствием различной генерализации, так как в приложении к Пособию [11] приводятся обобщенные показатели для всей страны, а в настоящей работе показатели более детализированы при использовании данных по гидрологическим постам за более продолжительный период времени (до 2010г.)

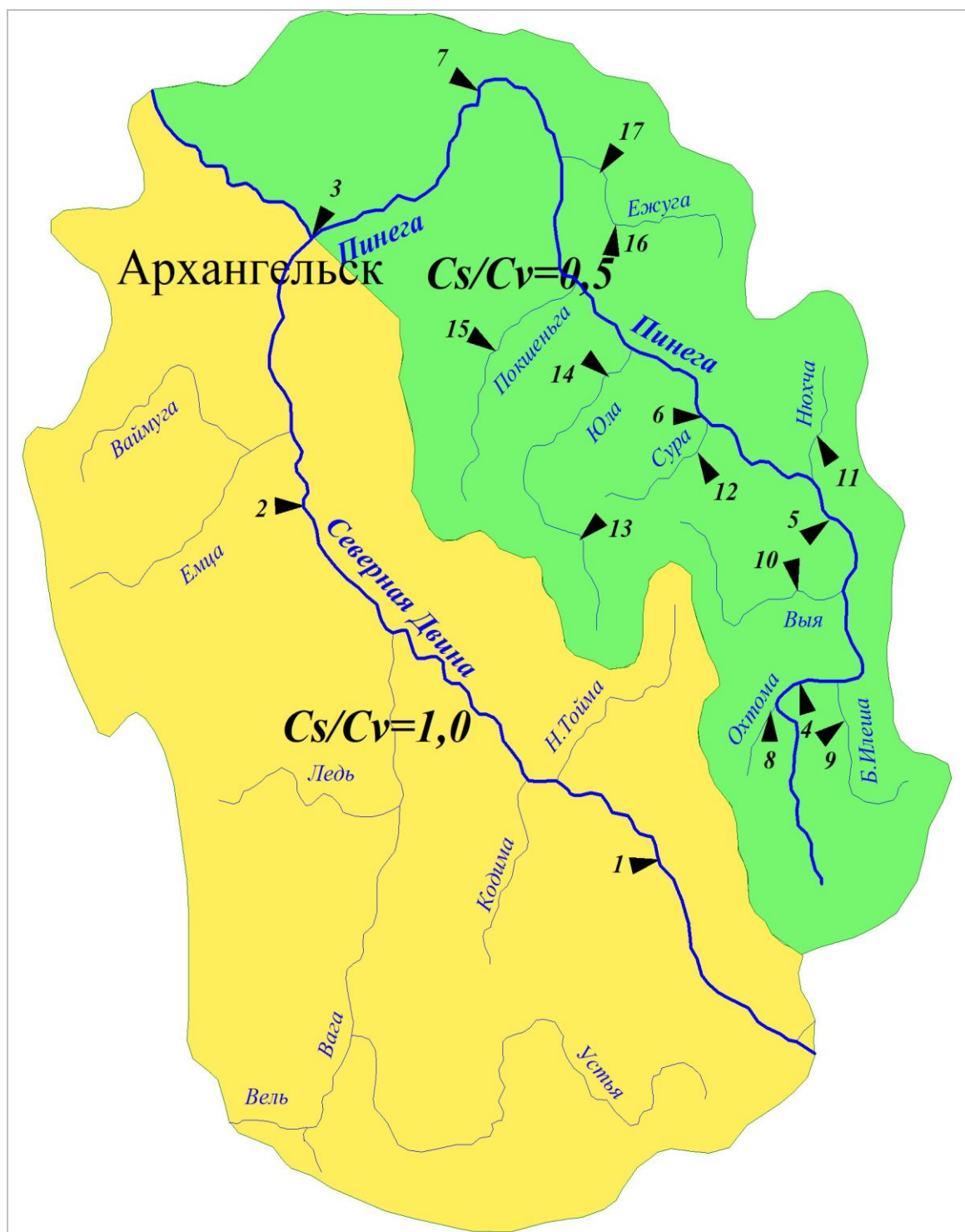


Рисунок 4.9 – Районирование бассейна реки Северная Двина по соотношению C_s/C_v слоев весеннего половодья.

4.4 Исследование пространственной изменчивости характеристик слоя весеннего половодья

Для исследования пространственной изменчивости характеристик слоя весеннего половодья выполнено картирование значений нормы слоя половодья h_0 и коэффициента вариации C_v , рисунки 4.10 – 4.11.

Как видно на рисунке, значение нормы слоя половодья меняется от 150 до 180 мм. Наименьшее значение наблюдается на водосборе р. Ежуга, правого притока р. Пинега, впадающем в неё в нижнем течении в северной части территории, а наибольшего в нижнем течении р. Северная Двина (западная часть исследуемой территории) и в верховьях р. Пинеги (восточная часть).

Изменение коэффициента вариации по территории в целом изменяется от 0,20 до 0,30 увеличиваясь от устья р. Северная Двина в юго-восточном направлении.

Полученные карты сравнивались с картами значений нормы слоя половодья h_0 и коэффициента вариации приведенными в монографии «Ресурсы поверхностных вод» [12].

На карте среднего слоя стока весеннего половодья в бассейне реки Северная Двина, построенной по данным наблюдений включающим последние годы, направление изолиний в целом совпадает с картой, представленной в монографии. Значения h_0 при этом меняются незначительно.

Следует отметить, что при сходстве расположения изолиний на карте коэффициента вариации, значения C_v изменились существенно: с 0,30 – 0,35 до 0,20 – 0,30, при этом представленная в настоящей работе карта является более детальной.

Для практических расчетов можно рекомендовать карты, представленные в настоящей работе, так как значения нормы слоя половодья и коэффициента вариации рассчитаны с использованием более продолжительных рядов наблюдений (до 2010г.)

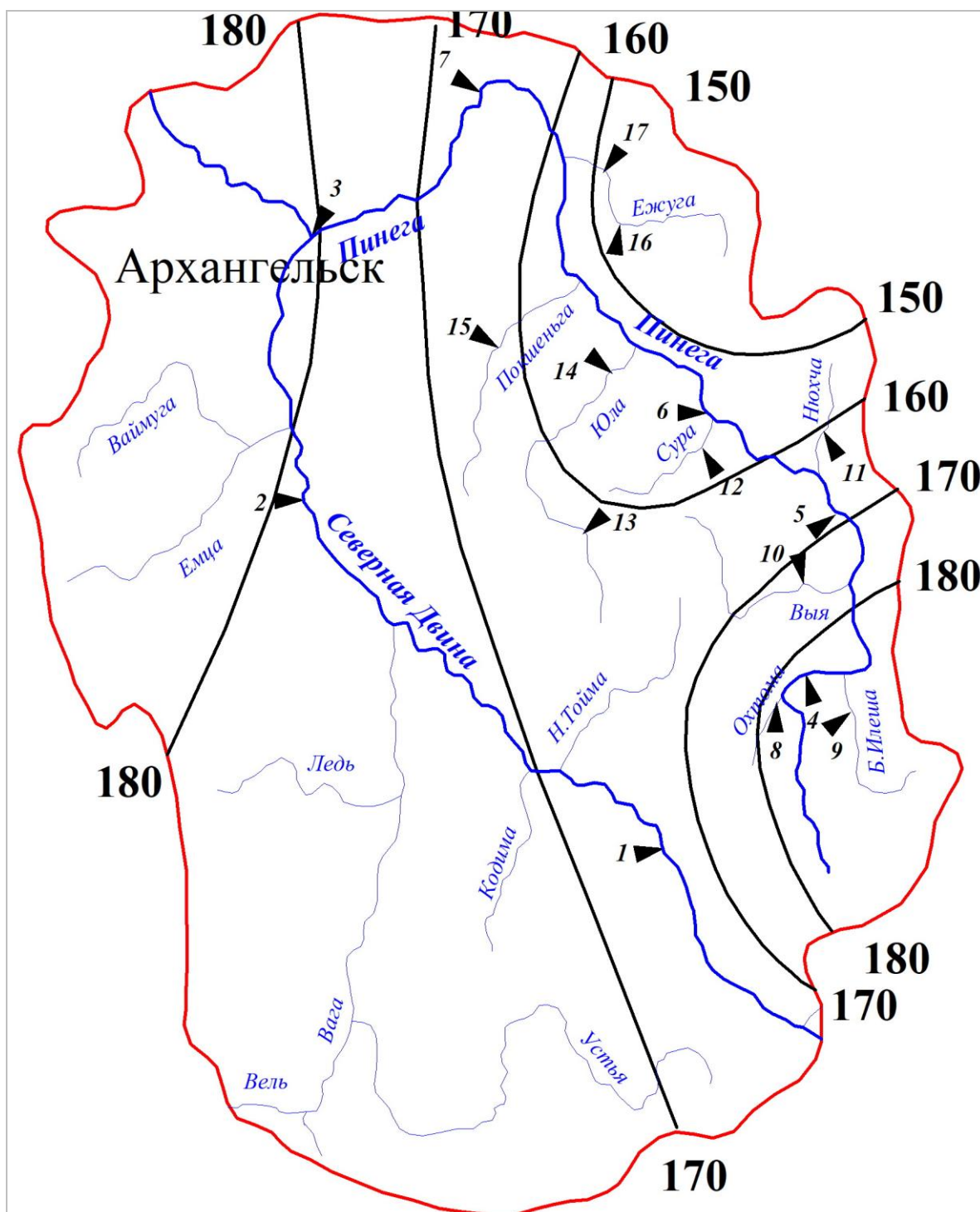


Рисунок 4.10 – Средний слой стока весеннего половодья h_0 , мм для рек бассейна р. Северная Двина

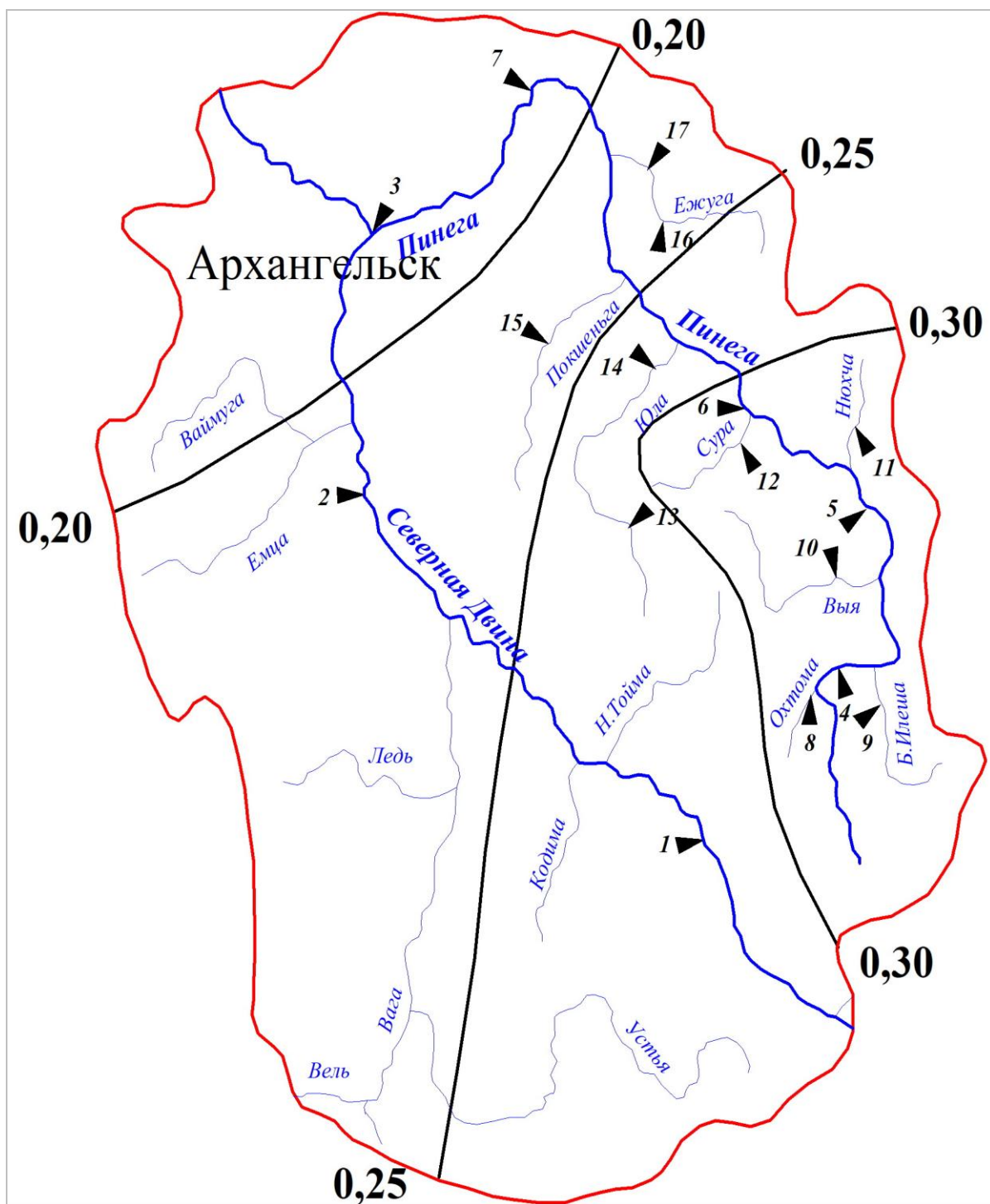


Рисунок 4.11 – Значения коэффициентов вариации C_v слоя весеннего половодья для рек бассейна р. Северная Двина

5 РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

В соответствии с СП 33-101-2003 [15] расчет максимальных расходов весеннего половодья $Q_{P\%}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) заданной ежегодной вероятностью превышения $P\%$ при отсутствии данных гидрометрических наблюдений производится по формуле:

$$Q_{P\%} = \frac{K_0 h_0 \mu A}{(A + A_1)^n} \delta \delta_1 \delta_2 \quad (5.1)$$

- где K_0 – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья; рассчитывают как среднее из значений, определенных по данным нескольких рек-аналогов обратным путем из формулы (5.1);
- $h_{P\%}$ – расчетный слой стока весеннего половодья (без срезки грунтового питания), мм, ежегодной вероятности превышения $P\%$ определяют в зависимости от коэффициента вариации C_v и отношения C_s/C_v , а также среднего многолетнего слоя стока h_0 ;
- μ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров кривых распределения слоев стока и максимальных расходов воды;
- $\delta, \delta_1, \delta_2$ – коэффициенты, учитывающие влияние озер, залесённости (δ_1) и заболоченности речных водосборов (δ_1), на максимальные расходы воды;
- A – площадь водосбора исследуемой реки до расчетного створа, км^2 ;
- A_1 – дополнительная площадь, учитывающая снижение интенсивности редукции модуля максимального стока с умень-

шением площади водосбора, км²;

n – показатель степени редукции;

Коэффициент δ , учитывающий снижение максимального расхода воды весеннего половодья на реках, зарегулированных проточными озёрами, определяется по формуле:

$$\delta = \frac{1}{(1 + CA_{оз})} \quad (5.2)$$

где C – коэффициент, принимаемый равным 0,2 для лесной и лесотундровой зоны.

Коэффициент δ_1 , учитывающий снижение максимальных расходов воды в занесённых бассейнах, определяется по формуле:

$$\delta_1 = \frac{\alpha}{(A_{л} + 1)^{n_1}} \quad (5.3)$$

где n_1 – коэффициент редукции, устанавливаются по зависимости $q_{\max} = f(A_{л})$ с учетом преобладающих на водосборе почвогрунтов;

α – коэффициент, учитывающий расположение леса на водосборе (в верхней или нижней части водосбора), а также природную зону (лесная или лесотундровая);

Коэффициент δ_2 , учитывающий снижение максимальных расходов воды с заболоченных водосборов, определяется по формуле:

$$\delta_2 = 1 - \beta \lg(0,1A_{б} + 1) \quad (5.4)$$

где β – коэффициент, определяемый в зависимости от типа болот и механического состава почвогрунтов вокруг болот и заболоченных земель (со слоем торфа не менее 30 см);

A_{δ} – относительная площадь болот, заболоченных лесов и лугов в бассейне реки, %;

При заболоченности менее 3% или проточной средневзвешенной озерности более 6% коэффициент δ_2 принимают равным единице.

Для уточнения районных параметров редукионной формулы были использованы результаты расчётов, выполненных в разделе 4.

5.1 Оценка районного показателя редукии

Для построения районной редукионной зависимости были использованы данные по 17 постам. Исходные данные для построения редукионной зависимости приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные для построения редукионной зависимости

Река - створ	$A, \text{км}^2$	$q_{1\%}$ л/с км^2	$h_{1\%}$ мм	$q_{1\%}/p_{1\%}$	$\lg(A+1)$	$\lg(q_{1\%}/h_{1\%})$
р. Северная Двина – д. Аб-рамково	220000	89	247	0,36	5,34	-0,44
р. Северная Двина – д. Звоз	285000	87	254	0,34	5,45	-0,46
р. Северная Двина – с. Усть-Пинега	348000	94	259	0,36	5,54	-0,44
р. Пинега – д. Согры	3120	171	285	0,60	3,49	-0,22
р. Пинега – пос. Северный	10200	179	260	0,69	4,01	-0,16
р. Пинега – д. Засурье	17100	200	272	0,73	4,23	-0,13
р. Пинега – с. Кулогоры	36700	215	262	0,82	4,56	-0,09
р. Охтома – пос. Ламбас	592	301	329	0,91	2,77	-0,04
р. Большая Илеша – пос. Красное	1620	244	328	0,74	3,21	-0,13

Продолжение таблицы 5.1

р. Выя – д. Гаврилово	2440	285	292	0,98	3,39	-0,01
р. Нюхча – изба Широкая	895	383	314	1,22	2,95	0,09
р. Сура – д. Гора	1060	245	282	0,87	3,03	-0,06
р. Юла – д. Пачиха	4390	249	303	0,82	3,64	-0,09
р. Юла – д. Каренжиха	4510	255	276	0,92	3,65	-0,03
р. Покшеньга – пос. Сылога	2780	160	215	0,74	3,44	-0,13
р. Ежуга – пос. Сюзьма	1800	190	245	0,78	3,26	-0,11
р. Ежуга – пос. Широкое	1970	173	253	0,68	3,29	-0,16

По данным таблицы 5.1 построен график зависимости:

$\lg\left(\frac{q_{1\%}}{h_{1\%}}\right) = f(\lg(A+1))$, рисунки 5.1. Показатель степени редукции района составляет 0,15.

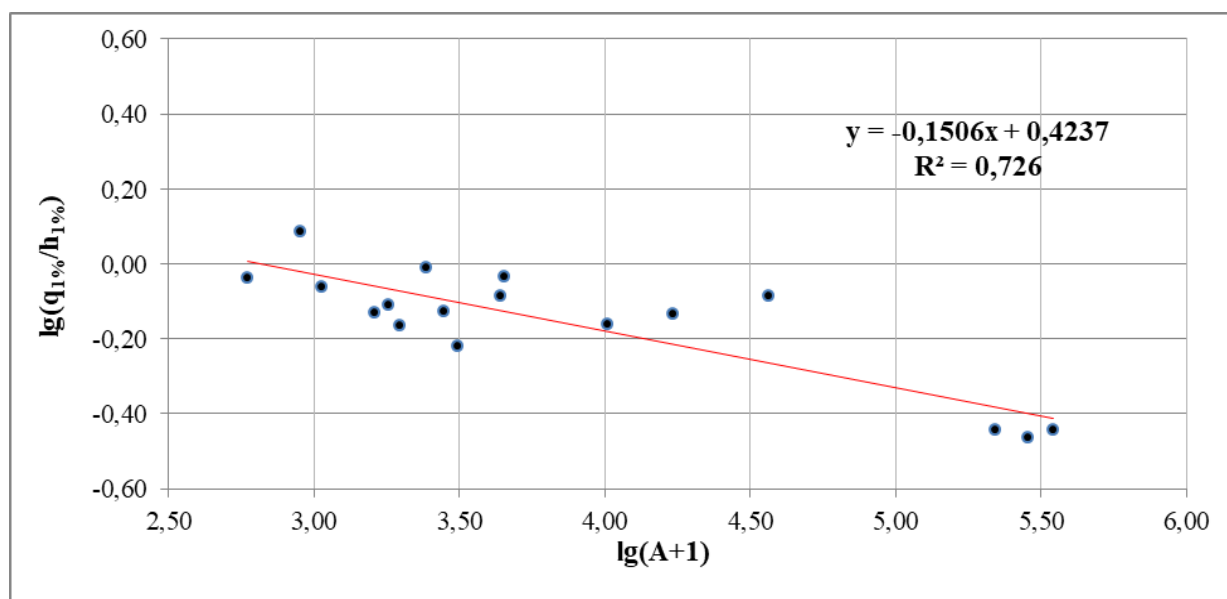


Рисунок 5.1 – Редукционная зависимость для рек бассейна р. Северная Двина.

Полученные результаты сравнивались с данными, представленными в монографии «Ресурсы поверхностных вод» и СНиП 2.01.14-83, таблица 5.2.

Таблица 5.2 – Сравнение результатов расчетов

Источник данных	Территориальный охват	Показатель степени редукции, n
«Ресурсы поверхностных вод»	вся рассматриваемая территория	0,17
СНиП 2.01.14-83	горная и предгорная часть	0,15
	равнинная часть	0,25
Результаты расчетов	вся рассматриваемая территория	0,15

Учитывая, что в работе использовались данные по гидрологическим постам за более продолжительный период времени (до 2010 г.), чем в СНиП 2.01.14-83 и монографии «Ресурсы поверхностных вод», результаты расчетов, представленные в данной работе, следует считать более надежными.

5.2 Расчет переходных коэффициентов μ

Расчет переходных коэффициентов μ ежегодной вероятностью превышения $P\%$ выполнен по формуле:

$$\mu_{P\%} = \frac{q_{P\%} h_{1\%}}{q_{1\%} h_{P\%}} \quad (5.5)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 5.3. Осредненные величины переходных коэффициентов μ по гидрологическим районам приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.3 – Расчет переходных коэффициентов μ ежегодной вероятностью превышения $P\%$ для рек бассейна р. Северная Двина

№ п/п	Река - створ	Площадь водосбо- ра, км ²	Обеспеченность, $P\%$						
			0,1	1	3	5	10	25	50
1	р. Северная Двина – д. Абрамково	220000	1,05	1,00	0,97	0,96	0,94	0,91	0,88
2	р. Северная Двина – д. Звоз	285000	1,04	1,00	0,97	0,97	0,95	0,93	0,90
3	р. Северная Двина – с. Усть-Пинега	348000	1,01	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,96
4	р. Пинега – д. Согры	3120	0,93	1,00	1,06	1,07	1,11	1,17	1,22
5	р. Пинега – пос. Север- ный	10200	1,04	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95
6	р. Пинега – д. Засурье	17100	1,03	1,00	0,98	0,98	0,96	0,95	0,93
7	р. Пинега – с. Кулогоры	36700	1,15	1,00	0,94	0,89	0,83	0,76	0,71
8	р. Охтома – пос. Ламбас	592	0,98	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03
9	р. Большая Илеша – пос. Красное	1620	0,98	1,00	1,02	1,01	1,03	1,05	1,07
10	р. Выя – д. Гаврилово	2440	1,01	1,00	0,98	0,99	0,98	0,99	0,99
11	р. Нюхча – изба Широкая	895	1,06	1,00	1,00	0,95	0,93	0,91	0,90
12	р. Сура – д. Гора	1060	0,94	1,00	1,03	1,05	1,07	1,11	1,13
13	р. Юла – д. Пачиха	4390	0,99	1,00	0,99	1,00	1,00	1,01	1,02
14	р. Юла – д. Каренжиха	4510	1,11	1,00	0,96	0,92	0,88	0,82	0,78
15	р. Покшеньга – пос. Сы- лога	2780	1,02	1,00	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97
16	р. Ежуга – пос. Сюзьма	1800	1,02	1,00	0,97	0,99	0,99	0,98	0,99
17	р. Ежуга – пос. Широкое	1970	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,05	1,11

Таблица 5.4 – Осредненные величины переходных коэффициентов μ ежегодной вероятностью превышения $P\%$ для рек бассейна р. Северная Двина

Природная зона	Обеспеченность, $P\%$						
	0,1	1	3	5	10	25	50
Лес и лесотундра	1,02	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,97

Полученные значения коэффициентов μ в диапазоне обеспеченностей от 0,1% до 50% сравнивались с коэффициентами, представленных в СНиП 2.01.14-83, таблица 5.5. Наибольшее отличие обнаруживается для обеспеченности 10 % и выше, для обеспеченностей до 5 %, являющимися расчетными для максимального стока существенного различия нет.

Таблица 5.5 – Значения коэффициента μ по данным СНиП 2.01.14-83

Источник	Обеспеченность, $P\%$						
	0,1	1	3	5	10	25	50
СНиП 2.01.14-83	1,02	1,00	0,97	0,96	0,93	0,90	0,86
Расчет	1,02	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,97

Так как в работе использовались данные по гидрологическим постам за более продолжительный период времени (до 2010 г.), а степень генерализации более подробная, чем в СНиП 2.01.14-83, результаты расчётов, представленные в данной работе, следует считать более надёжными. Поэтому для неизученных рек исследуемой территории следует принимать осреднённые значения коэффициентов μ (таблица 5.4).

5.3 Расчёт коэффициента K_0

Для рек бассейна р. Северная Двина выполнен расчёт коэффициента K_0 , таблица 5.6.

Таблица 5.6 – Расчёт коэффициента K_0 для рек бассейна р. Северная Двина

Река - створ	$A, \text{км}^2$	$Q_{1\%}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	$h_{1\%}, \text{мм}$	$f_{\text{оз}}, \%$	$f_{\text{л}}, \%$	$f_{\text{б}}, \%$	δ	δ_1	δ_2	K_0
р. Северная Двина – д. Абрамково	220000	19623	247	1	92	3	1	0,37	0,92	0,0068
р. Северная Двина – д. Звоз	285000	24835	254	1	94	3	1	0,37	0,92	0,0067
р. Северная Двина – с. Усть-Пинега	348000	32562	259	1	89	4	1	0,37	0,90	0,0074
р. Пинега – д. Согры	3120	534	285	1	94	2	1	0,37	0,94	0,0058
р. Пинега – пос. Северный	10200	1828	260	1	94	2	1	0,37	0,94	0,0080
р. Пинега – д. Засурье	17100	3417	272	1	94	2	1	0,37	0,94	0,0092
р. Пинега – с. Кулогоры	36700	7885	262	1	89	6	1	0,37	0,86	0,0125
р. Охтома – пос. Ламбас	592	178	329	1	96	3	1	0,37	0,92	0,0071
р. Большая Илеша – пос. Красное	1620	395	328	1	96	4	1	0,37	0,90	0,0069
р. Выя – д. Гаврилово	2440	695	292	1	94	2	1	0,37	0,94	0,0091
р. Нюхча – изба Широкая	895	343	314	1	95	2	1	0,37	0,94	0,0098
р. Сура – д. Гора	1060	260	282	1	97	3	1	0,36	0,92	0,0074
р. Юла – д. Пачиха	4390	1093	303	1	94	3	1	0,37	0,92	0,0086
р. Юла – д. Каренжика	4510	1151	276	1	95	3	1	0,37	0,92	0,0097
р. Покшеньга – пос. Сылога	2780	445	215	1	91	6	1	0,37	0,86	0,0078
р. Ежуга – пос. Сюзьма	1800	342	245	1	87	11	1	0,37	0,77	0,0083
р. Ежуга – пос. Широкое	1970	341	253	1	87	13	1	0,37	0,75	0,0077

Были приняты расчетные коэффициенты:

$$n = 0,15;$$

$$A_1 = 1;$$

$$n_1 = 0,22$$

С использованием данных таблицы 5.6 было выполнено районирование коэффициента K_0 для рек бассейна р. Северная Двина, представленное на рисунке 5.2.

В монографии «Ресурсы поверхностных вод» проводится картирование коэффициента K_0 для рассматриваемой территории. При их сравнении с рассчитанными величинами, можно сделать вывод, что коэффициенты, приведенные в монографии значительно отличаются от расчётных.

Учитывая, что в работе использовались данные по гидрологическим постам за более продолжительный период времени (до 2010 г.), результаты расчетов, представленные в данной работе, следует считать более надежными. Поэтому для неизученных рек исследуемой территории следует принимать коэффициент K_0 по выполненному районированию (рисунок 5.2).

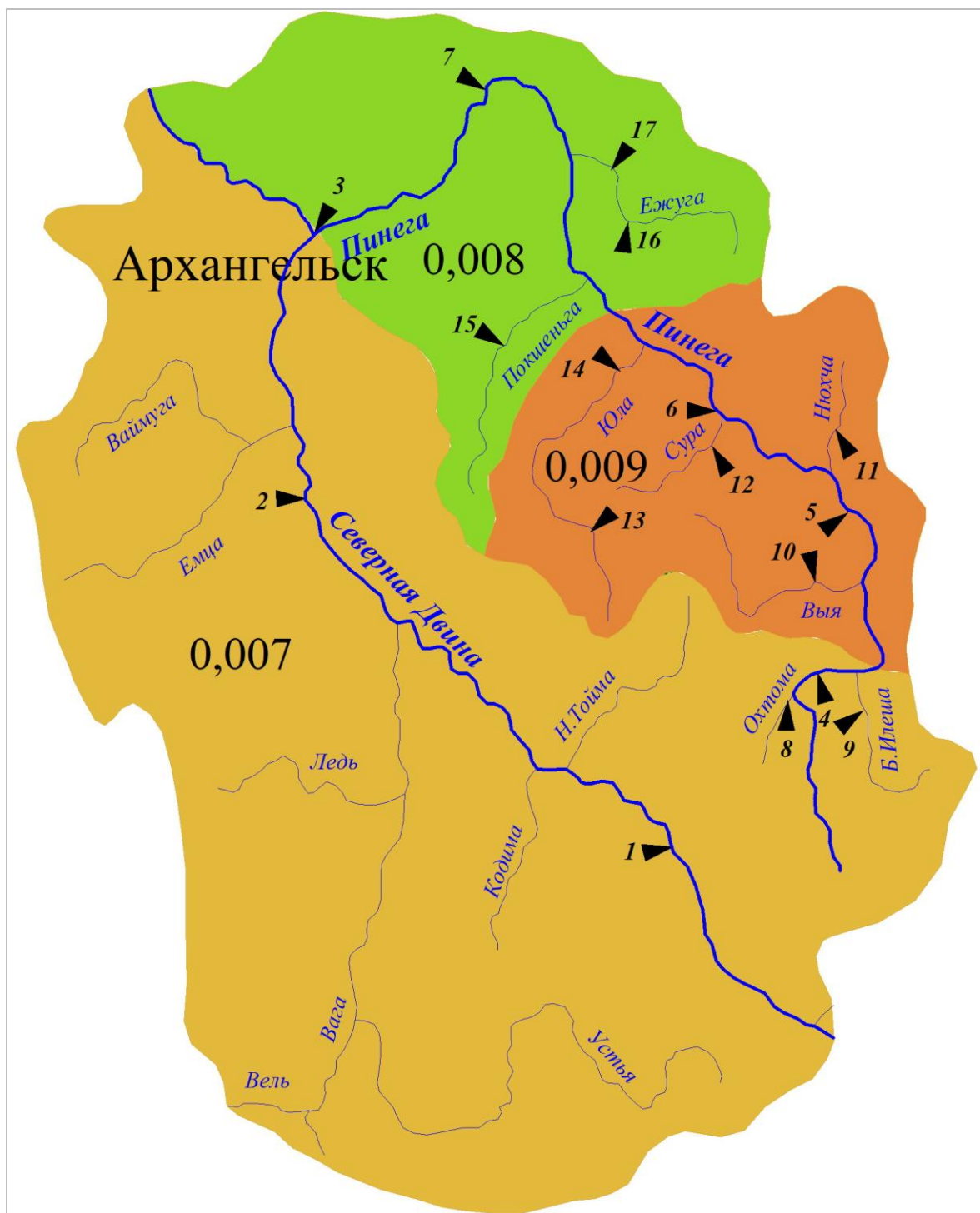


Рисунок 5.2 – Значения коэффициента K_0 , характеризующего дружность весеннего половодья, для рек бассейна реки Северная Двина по данным расчётов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным проведенных исследований в дипломном проекте были получены следующие результаты.

Выполнен сбор и анализ исходной информации – данных по максимальным расходам и слоям стока весеннего половодья рек бассейна р. Северная Двина. Были собраны материалы наблюдений по 17 гидрологическим постам, которые отвечали следующим требованиям: отсутствие значимых антропогенных изменений и продолжительность наблюдений не менее 6 лет.

По данным метеонаблюдений, на станциях Пинега, Карпогоры и Сура, были построены и проанализированы хронологические графики температур и осадков за холодный период по 2010 г. Анализ показал, что на станции Карпогоры имеется значимый положительный тренд для осадков холодного периода года, при этом максимальный сток весеннего половодья ближайших водотоков остался без изменений. Это позволяет предположить, что снеготаяния, формирующие весеннее половодье, значительно не увеличились, вследствие увеличения испарения с поверхности снежного покрова, обусловленного увеличением зимних температур воздуха, особенно в конце периода.

Для выбранных постов была выполнена оценка стационарности и однородности рядов максимальных расходов и слоев стока весеннего половодья. Установлено, что значимые тренды в рядах максимальных расходов и слоев стока весеннего половодья для рек бассейна р. Северная Двина отсутствуют. Ряды являются однородными.

Была выполнена оценка основных статистических характеристик и их погрешностей. В ходе работы были выявлены 3 поста с завышенными ошибками среднего и коэффициента вариации в рядах максимальных расходов и слоев весеннего половодья. Для них были подобраны аналоги, с помощью ко-

торых параметры распределения и их относительные погрешности были пересчитаны.

Далее были подобраны и построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей Пирсона III типа и Крицкого-Менкеля. Рассчитаны максимальные расходы и слои весеннего половодья различной обеспеченности. Расчет выполнялся методом моментов.

С учётом большой погрешности коэффициента асимметрии для принятия среднего районного значения, было проведено районирование соотношения C_s/C_v весеннего половодья. В результате на рассматриваемой территории были выделены два гидрологических района:

- 1-й гидрологический район с $C_s/C_v = 0,5$ (бассейн реки Пинеги);
- 2-й гидрологический район с $C_s/C_v = 1,0$ (бассейн р. Северная Двина без бассейна р. Пинега)

Проанализирована пространственная изменчивость характеристик нормы слоя стока h_0 и коэффициента вариации C_v для рек бассейна. Так же было выполнено картирование данных характеристик.

Сравнение с картой значений нормы слоя весеннего половодья h_0 и коэффициента вариации C_v , приведенной в монографии «Ресурсы поверхностных вод» показало существенное отличие вследствие различной генерализации, а также из-за того, что в монографии приводятся обобщённые данные для большой территории. Поэтому карта, представленная в данной работе, является более детальной и больше подходит для дальнейших расчётов.

На основе полученных данных было проведено уточнение значения районного показателя редукции для всего бассейна реки Пинега и постов на р. Северная Двина. Показатель редукции составил $n = 0,15$.

Получены значения переходных коэффициентов μ , которые сравнивались со значениями, представленными в СНиП 2.01.14-83, и можно сказать, что отличаются они незначительно.

Выполнен расчет и районирование коэффициента K_0 , характеризующего дружность весеннего половодья. Его диапазон изменения по территории бассейна р. Северная Двина составил от 0,0058 до 0,0125.

Таким образом, разработана региональная методика для расчета расходов воды весеннего половодья для неизученных водотоков бассейна реки Северная Двина. Учитывая, что работа выполнена в соответствии с действующей нормативно-технической документацией и расчеты проведены с использованием более продолжительных рядов наблюдений (до 2010г.) полученные данные можно использовать для дальнейших расчётов при инженерно-изыскательских работах и проектировании гидротехнических объектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 365 с.
- 2 Геология СССР. Монография. Т.2. Архангельская, Вологодская и Коми АССР. М.: Государственное Научно - Техническое Издательство литературы по геологии и охране недр, 1963. – 1081 с.
- 3 Горошков И.В. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 439 с.
- 4 Ильина Л.Л. Грахов А.Н. Реки Севера. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 128 с.
- 5 Магрицкий В.И. Речной сток и гидрологические расчеты. Практические работы с выполнением при помощи компьютерных программ. – М.: Издательство Триумф, 2014. – 184 с.
- 6 Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – СПб.: Нестор – История, 2009. – 193 с.
- 7 Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. – СПб.: Санкт – Петербург, 2004. – 67 с.
- 8 Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. – СПб.: Нестор – История, 2009. – 162 с.
- 9 Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, том 1, выпуск 8. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 389 с.
- 10 Основные гидрологические характеристики, том 3, Северный край. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 431 с.
- 11 Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. –

- Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 444 с.
- 12 Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 3. Северный край/Под ред. Н. М. Жила. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 612 с.
 - 13 Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 279 с.
 - 14 СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 2004. – 35 с.
 - 15 СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Основные гидрографические характеристики исследуемых рек в створах гидрологических постов

Таблица А.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 ре- ки, %	Площадь водосбора реки, (км ²)	Период действия число, месяц, год		Озерность, %	Заболочен- ность, %	Лесистость, %
			истока	устья			открыт	закрыт			
1	р. Северная Двина - д. Абрамково	70066	216	528	0,47	220000	19.07.1877	Действ.	<1	3	92
2	р. Северная Двина - д. Звоз	70072	468	276	1,02	285000	01.05.1939	Действ.	<1	3	94
3	р. Северная Двина - с. Усть-Пинега	70801	607	137	0,85	348000	13.04.1877	Действ.	<1	4	89
4	р. Пинега - д. Согры	70328	119	660	0,53	3120	02.07.1929	Действ.	<1	2	94
5	р. Пинега - пос. Северный	70329	243	536	0,39	10200	12.08.1964	Действ.	<1	2	94
6	р. Пинега - д. Засурье	70331	385	394	0,33	17100	27.05.1928	Действ.	<1	2	94
7	р. Пинега - с. Кулогоры	70334	654	125	0,26	36700	13.08.1926	Действ.	<1	6	89
8	р. Охтома - пос. Ламбас	70339	58	5,2	0,83	592	21.07.1973	Действ.	<1	3	96
9	р. Большая Илеша - пос. Красное	70340	161	43	0,50	1620	11.07.1973	Действ.	<1	4	96
10	р. Выя - д. Гаврилово	70579	156	25	1,57	2440	28.07.1948	Действ.	<1	2	94
11	р. Нюхча - изба Широкая	70343	82	16	1,38	895	23.08.1949	01.10.1977	<1	2	95
12	р. Сура - д. Гора	70345	82	9,6	0,94	1060	26.07.1974	Действ.	<1	3	97
13	р. Юла - д. Пачиха	70346	213	37	0,57	4390	13.07.1970	04.1990	<1	3	94
14	р. Юла - д. Каренжиха	70347	230	20	0,52	4510	22.08.1937	01.05.1970	<1	3	95
15	р. Покшеньга - пос. Сылога	70348	120	50	0,70	2780	25.09.1959	Действ.	<1	6	91
16	р. Ежуга - пос. Сюзьма	70350	102	63	1,30	1800	25.07.1955	13.07.1971	<1	11	87
17	р. Ежуга - пос. Широкое	70351	115	50	1,15	1970	21.07.1971	Действ.	<1	13	87

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей максимальных расходов и слоев весеннего половодья

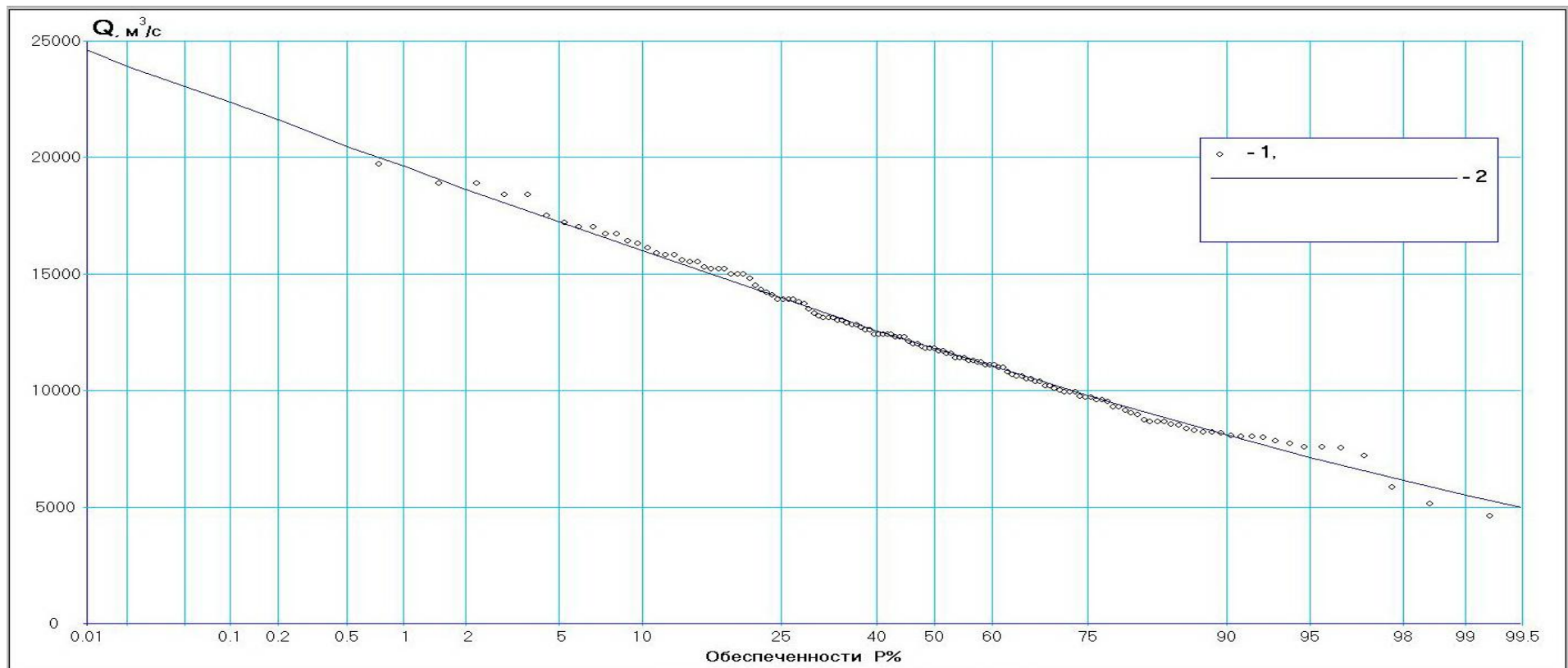


Рисунок Б.1 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Северная Двина – д. Абрамково.

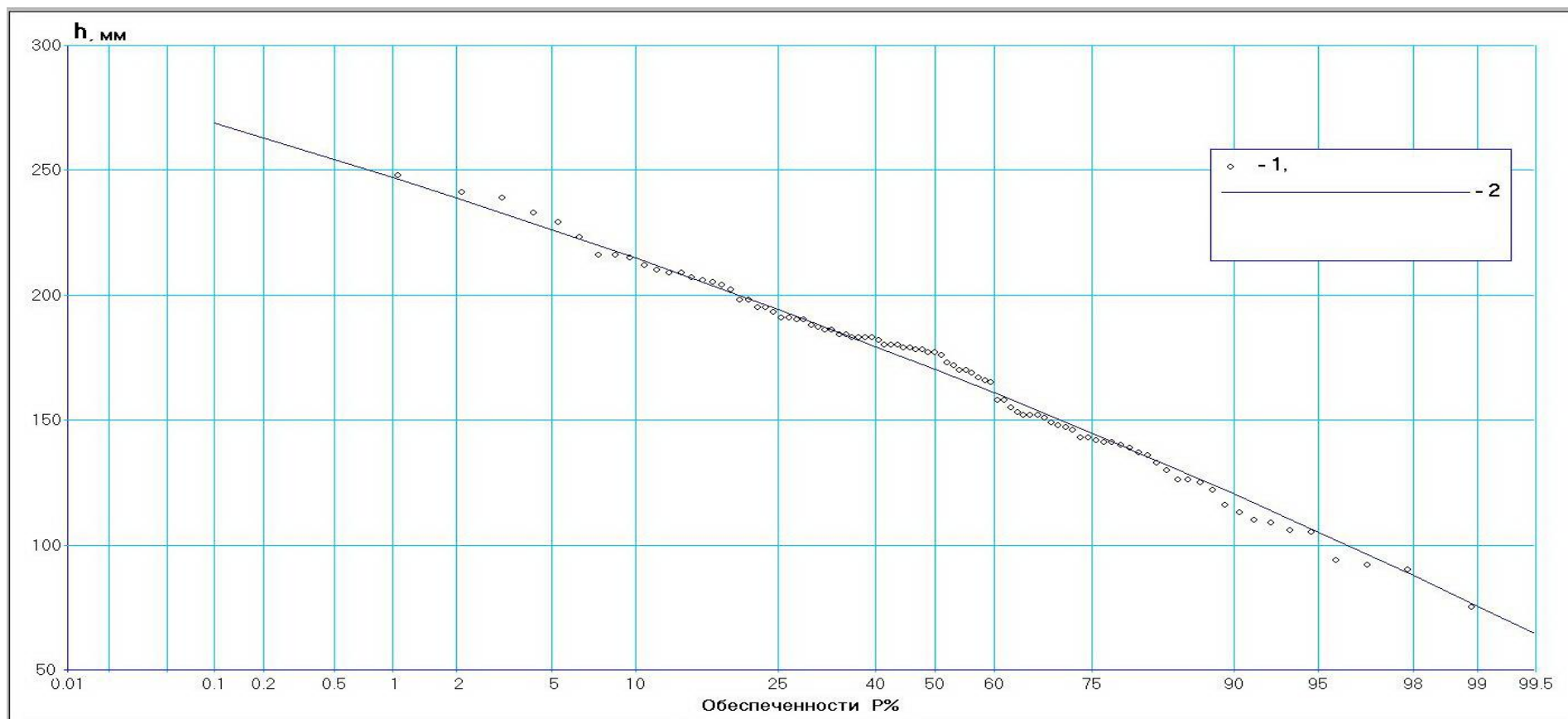


Рисунок Б.2 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Пирсона III типа для р. Северная Двина – д. Абрамково.

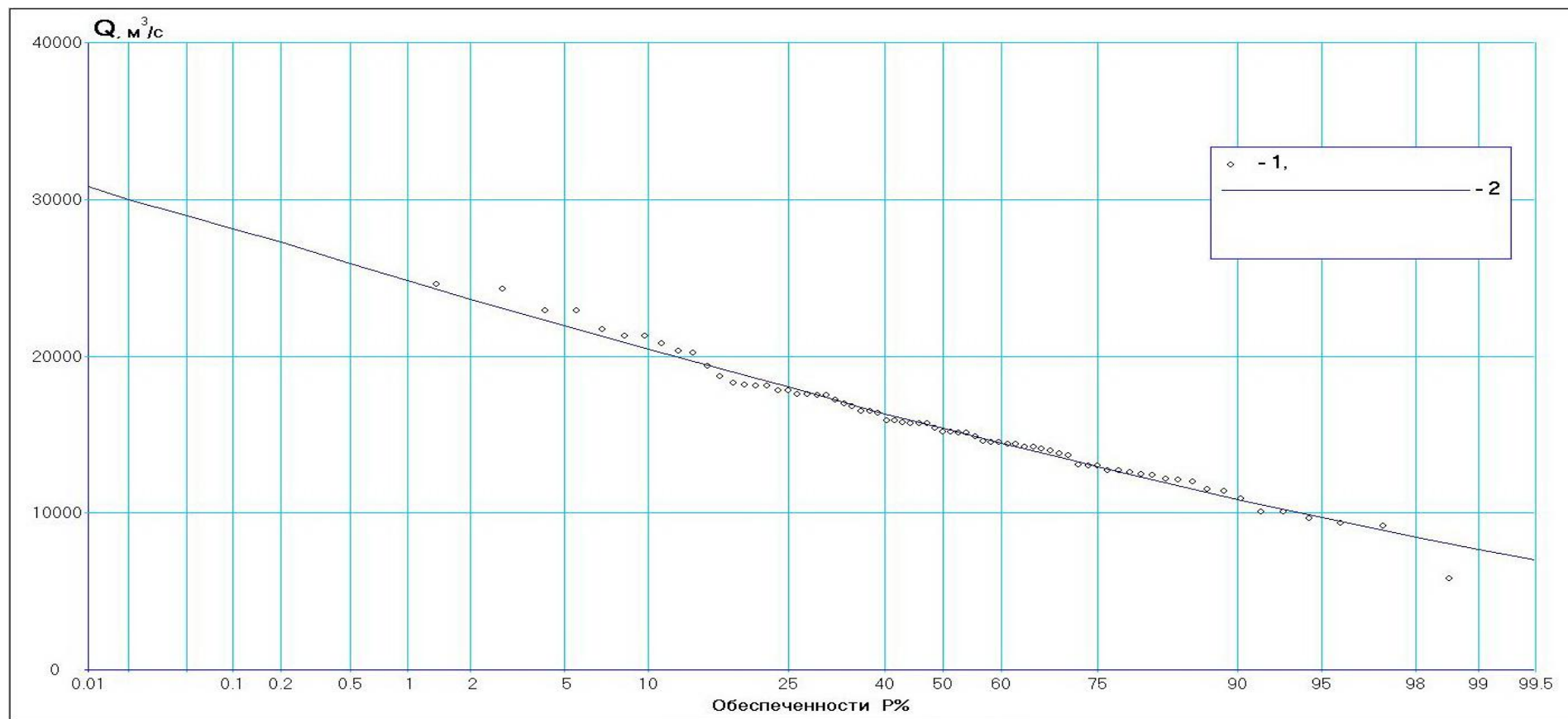


Рисунок Б.3 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Северная Двина – д. Звоз.

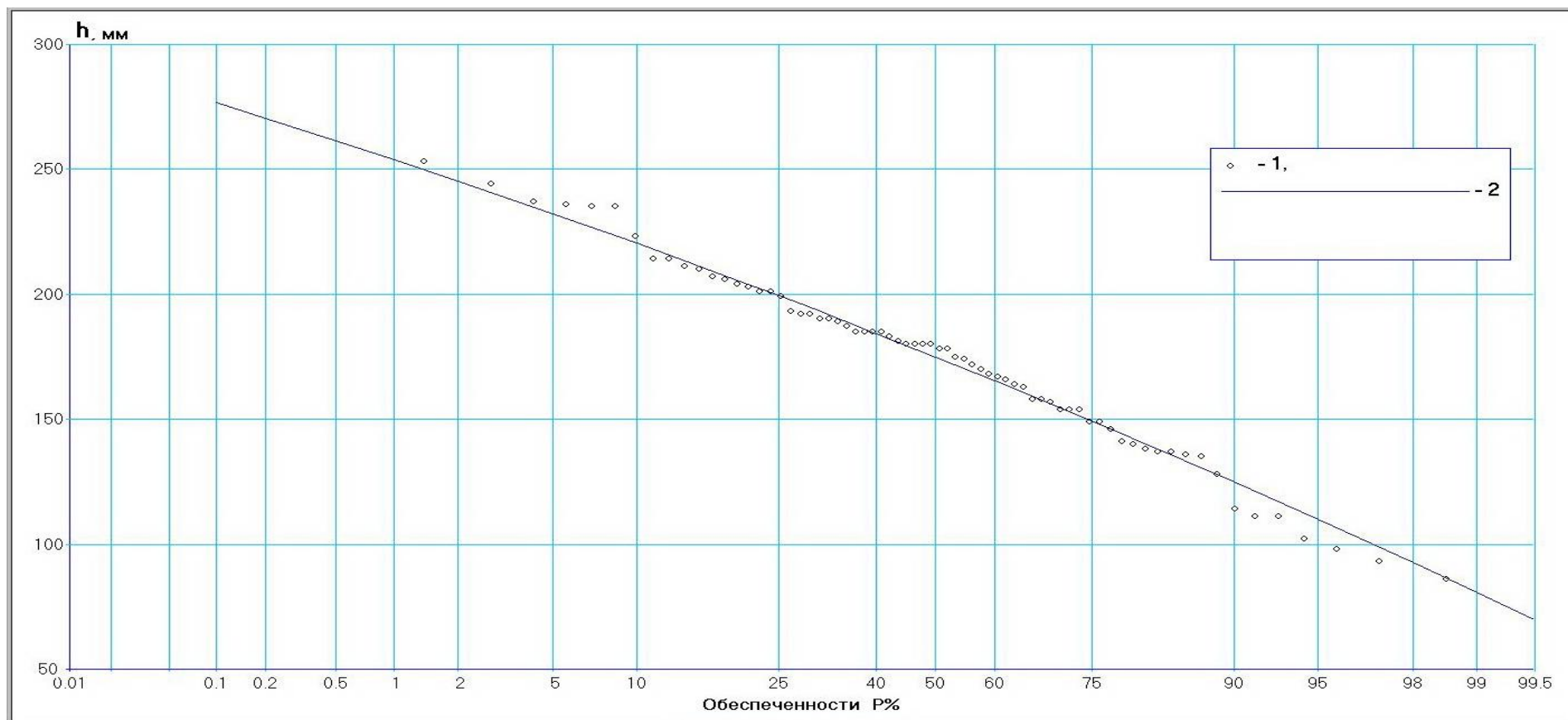


Рисунок Б.4 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Пирсона III типа для р. Северная Двина – д. Звоз.

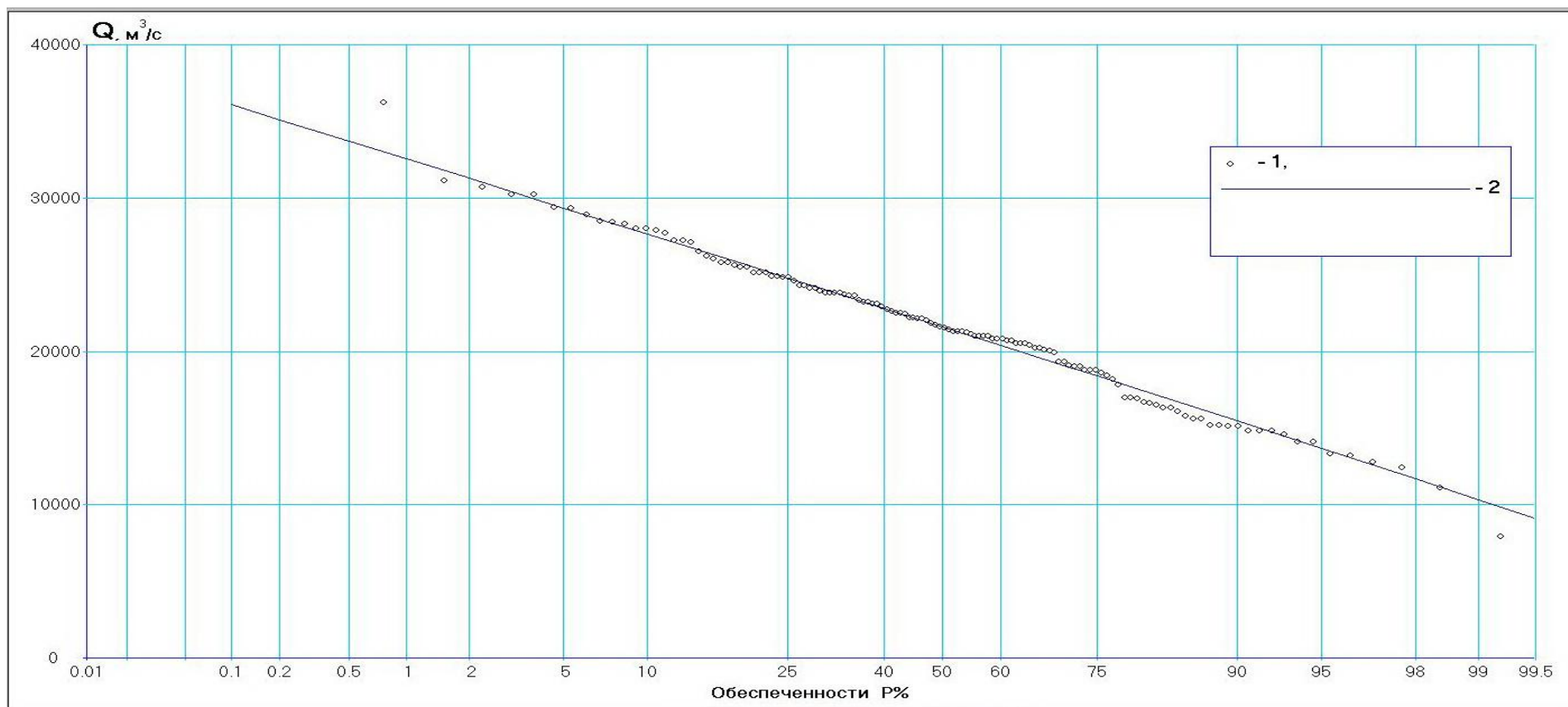


Рисунок Б.5 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Пирсона III типа для р. Северная Двина – с. Усть-Пинега.

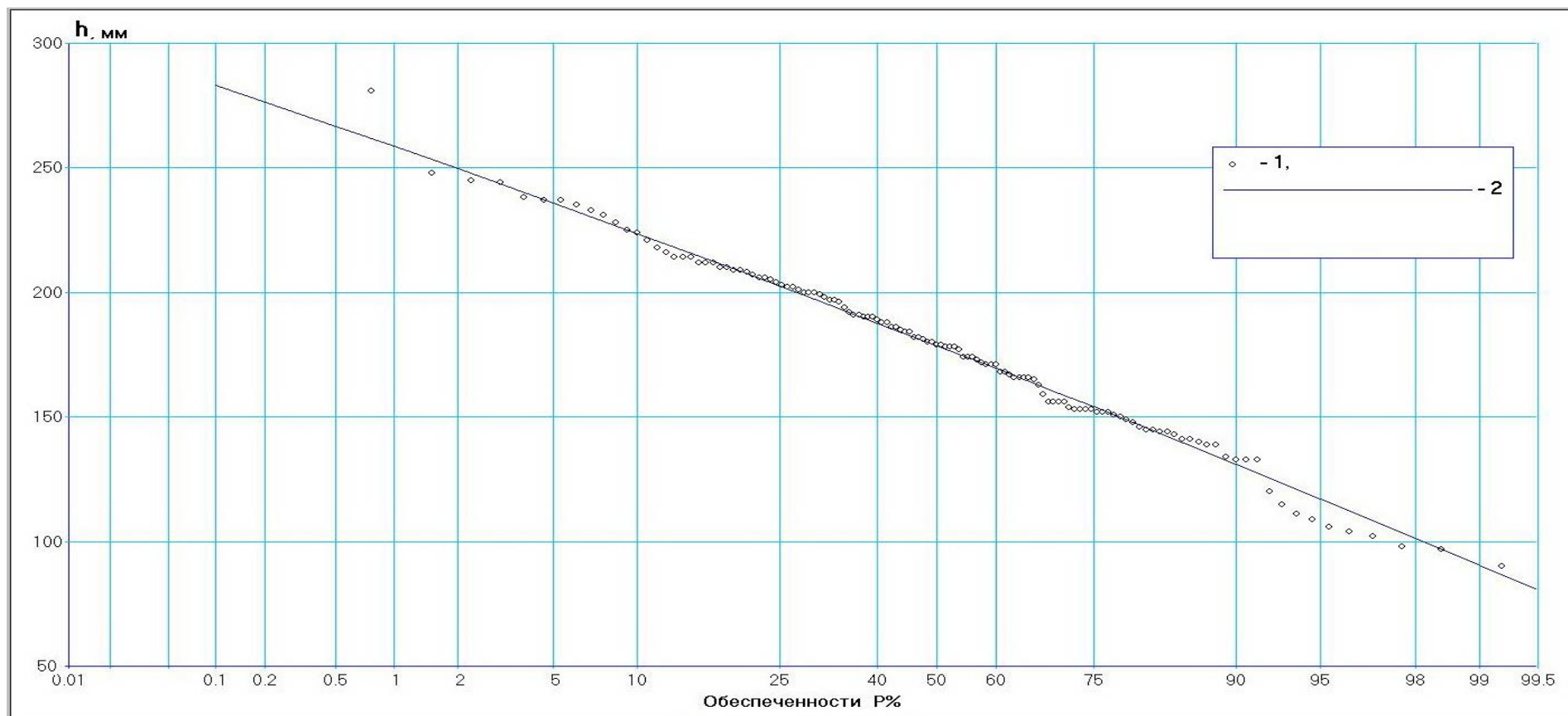


Рисунок Б.6 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Пирсона III типа для р. Северная Двина – с. Усть-Пинега.

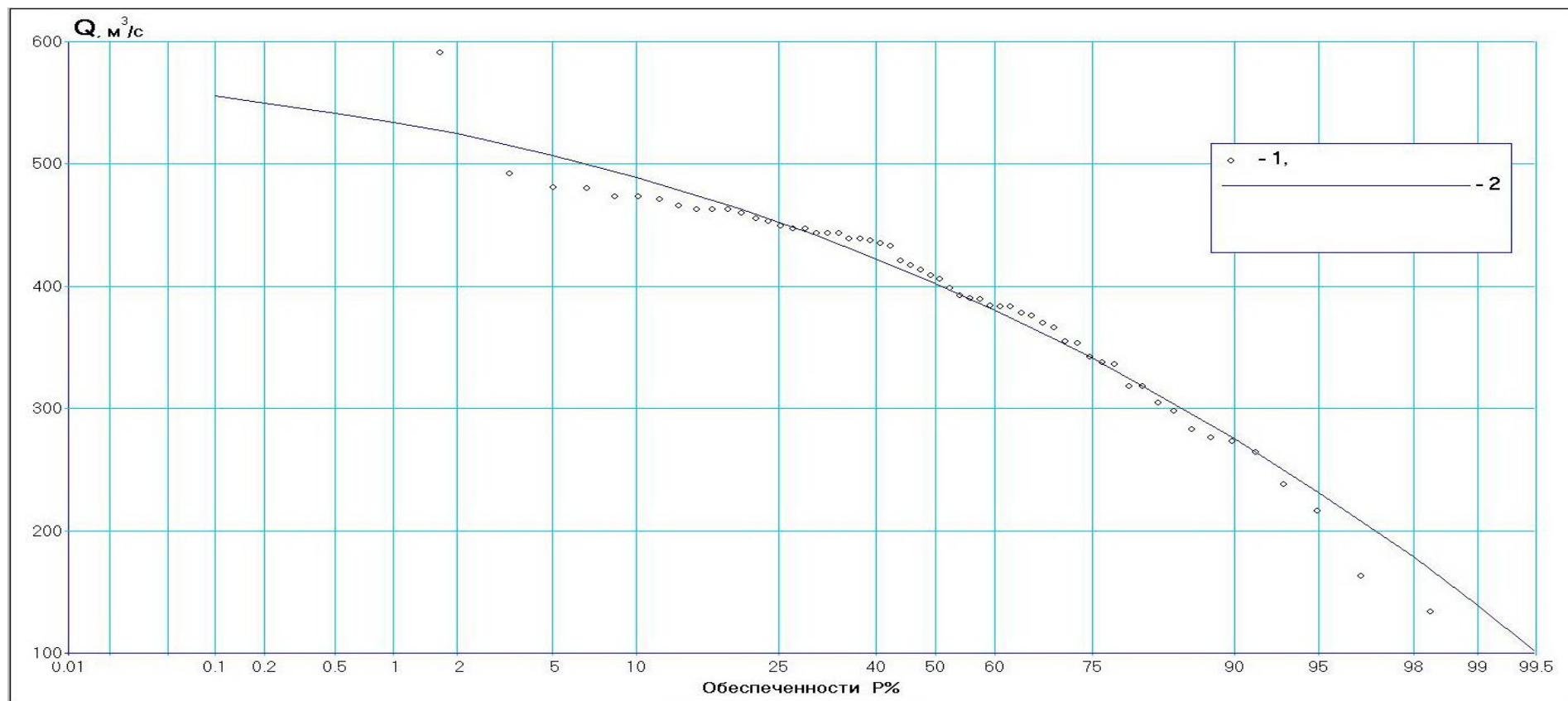


Рисунок Б.7 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов
весеннего половодья Пирсона III типа для р. Пинега – д. Согры.

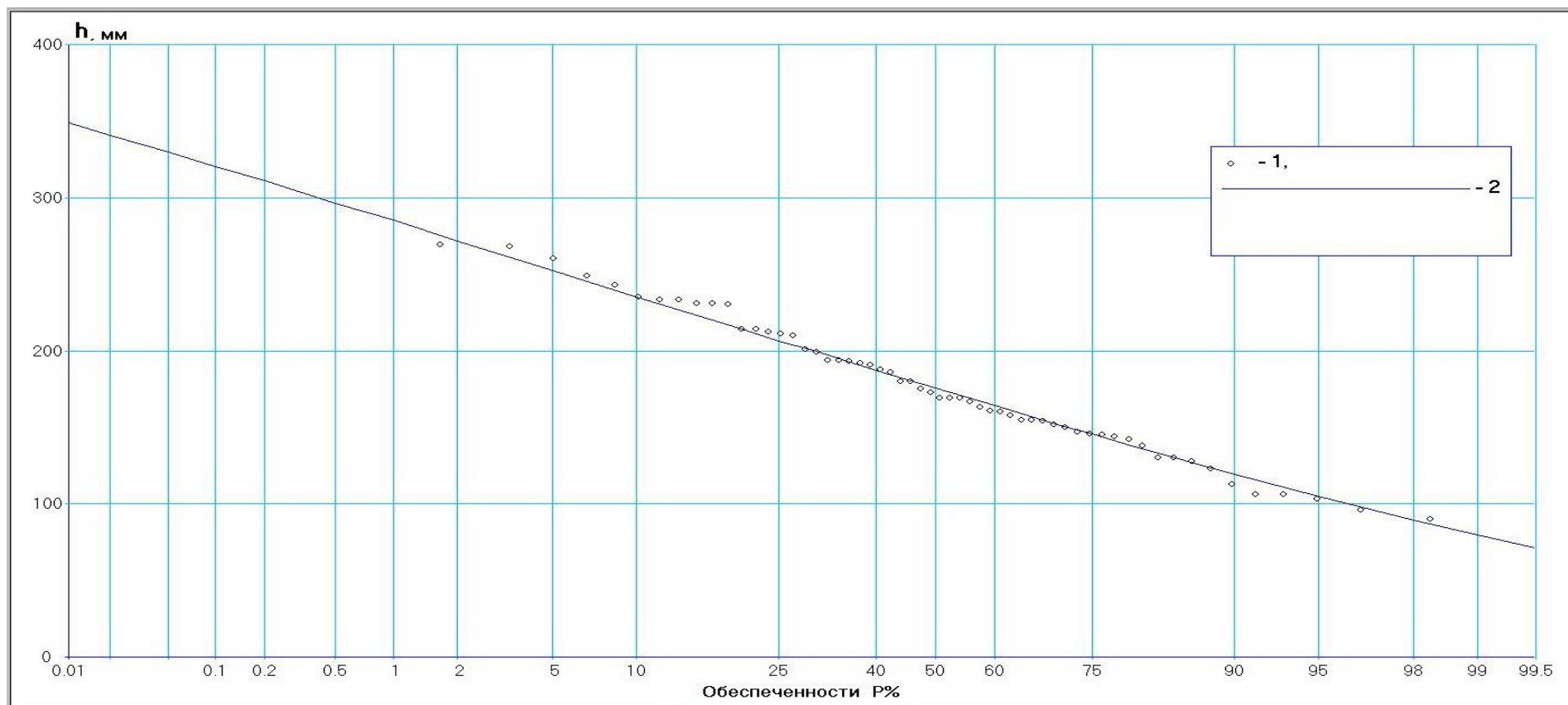


Рисунок Б.8 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Пинега – д. Согры.

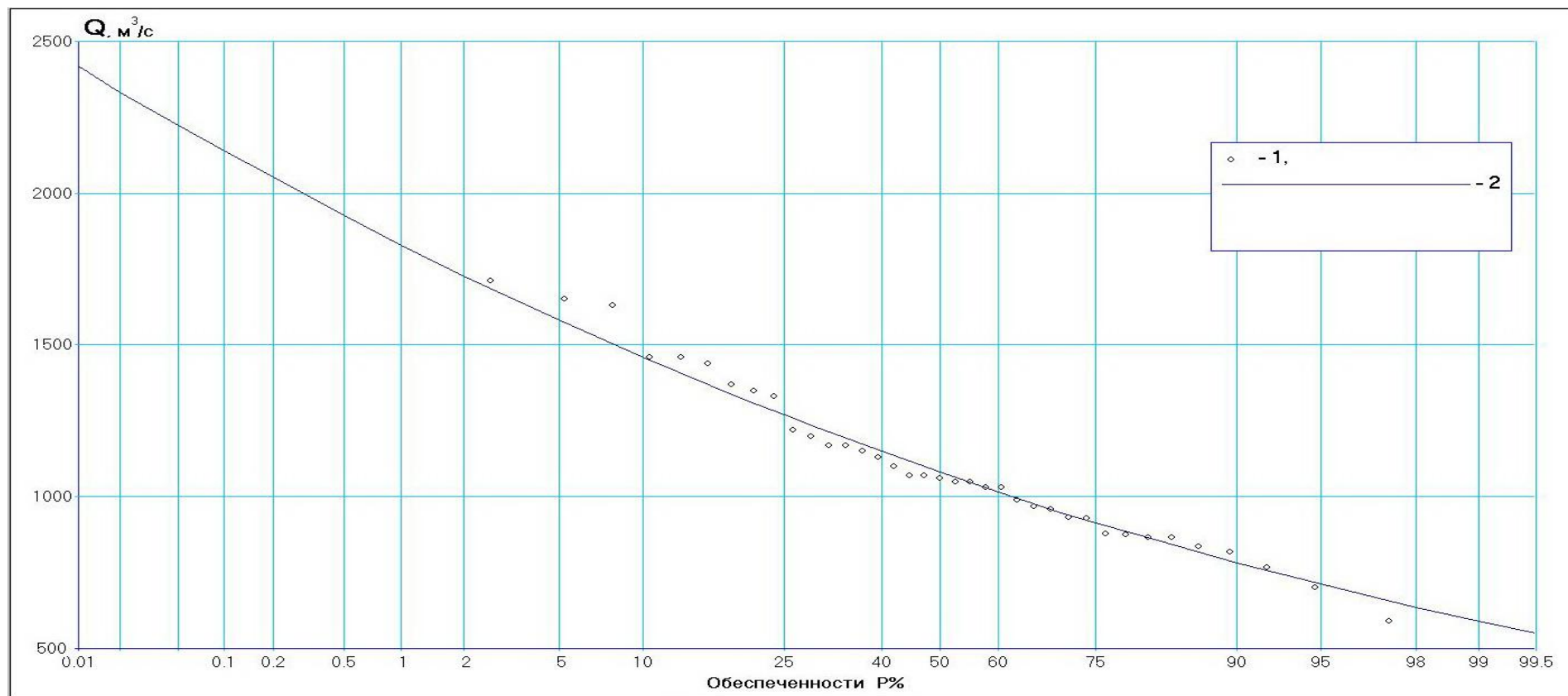


Рисунок Б.9 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Пирсона III типа для р. Пинега – пос. Северный.

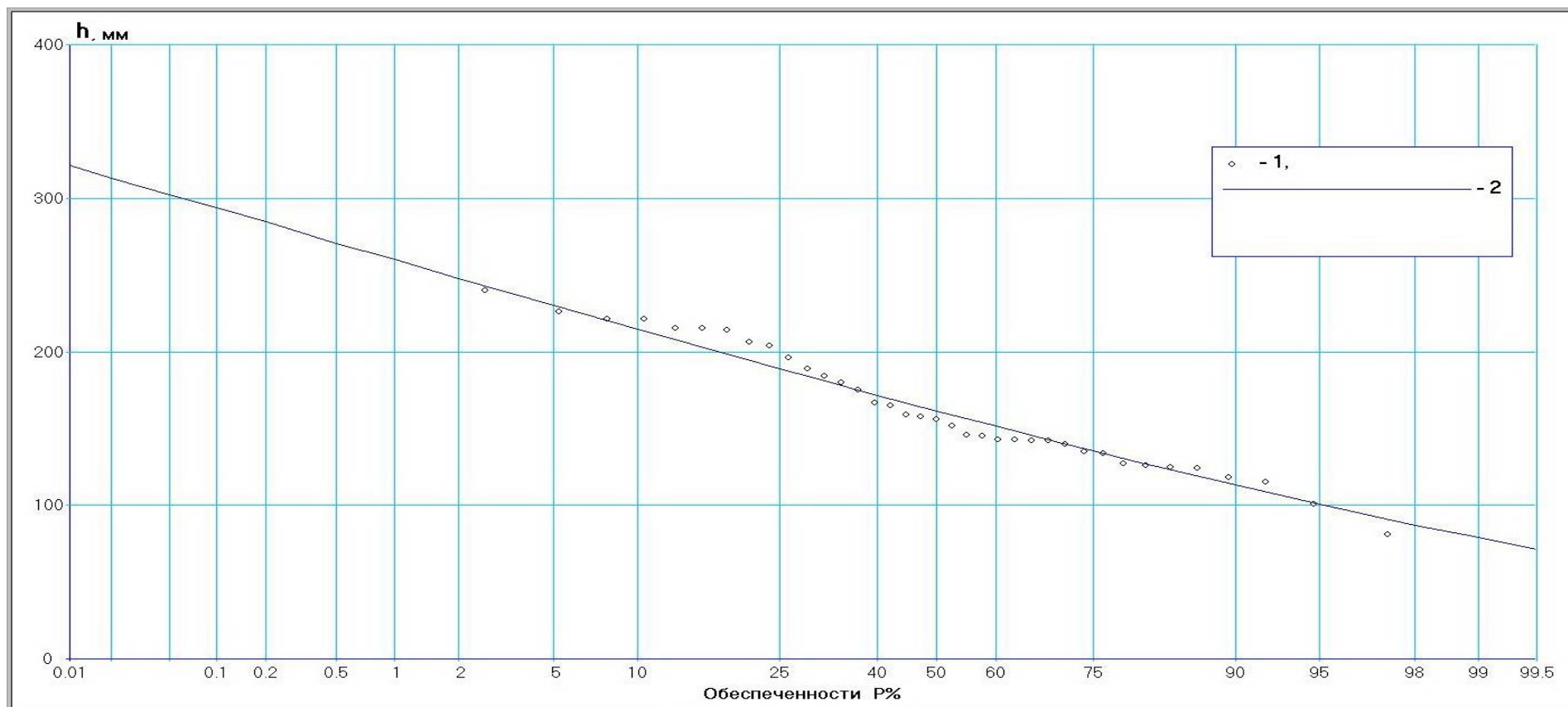


Рисунок Б.10 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Пинега – пос. Северный.

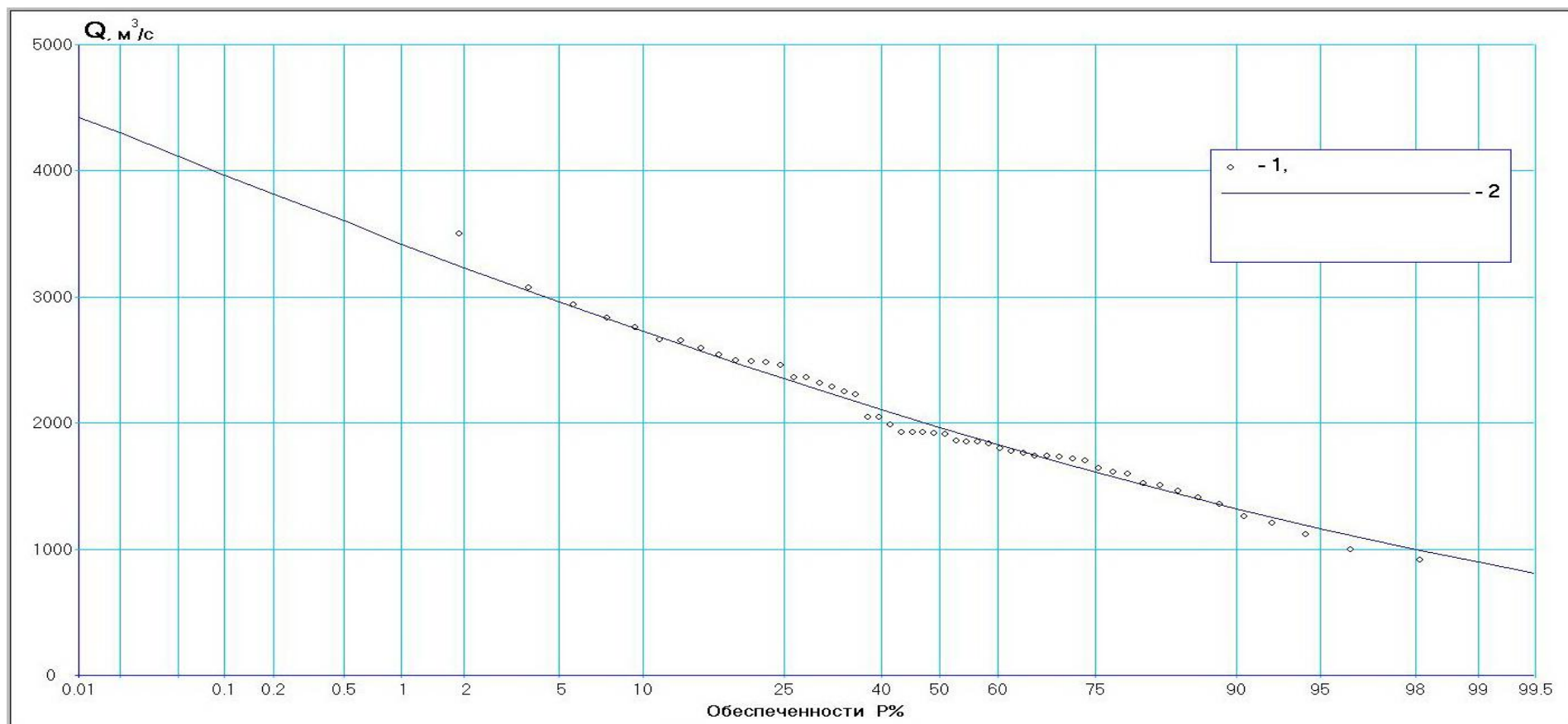


Рисунок Б.11 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Пинега – д. Засурье.

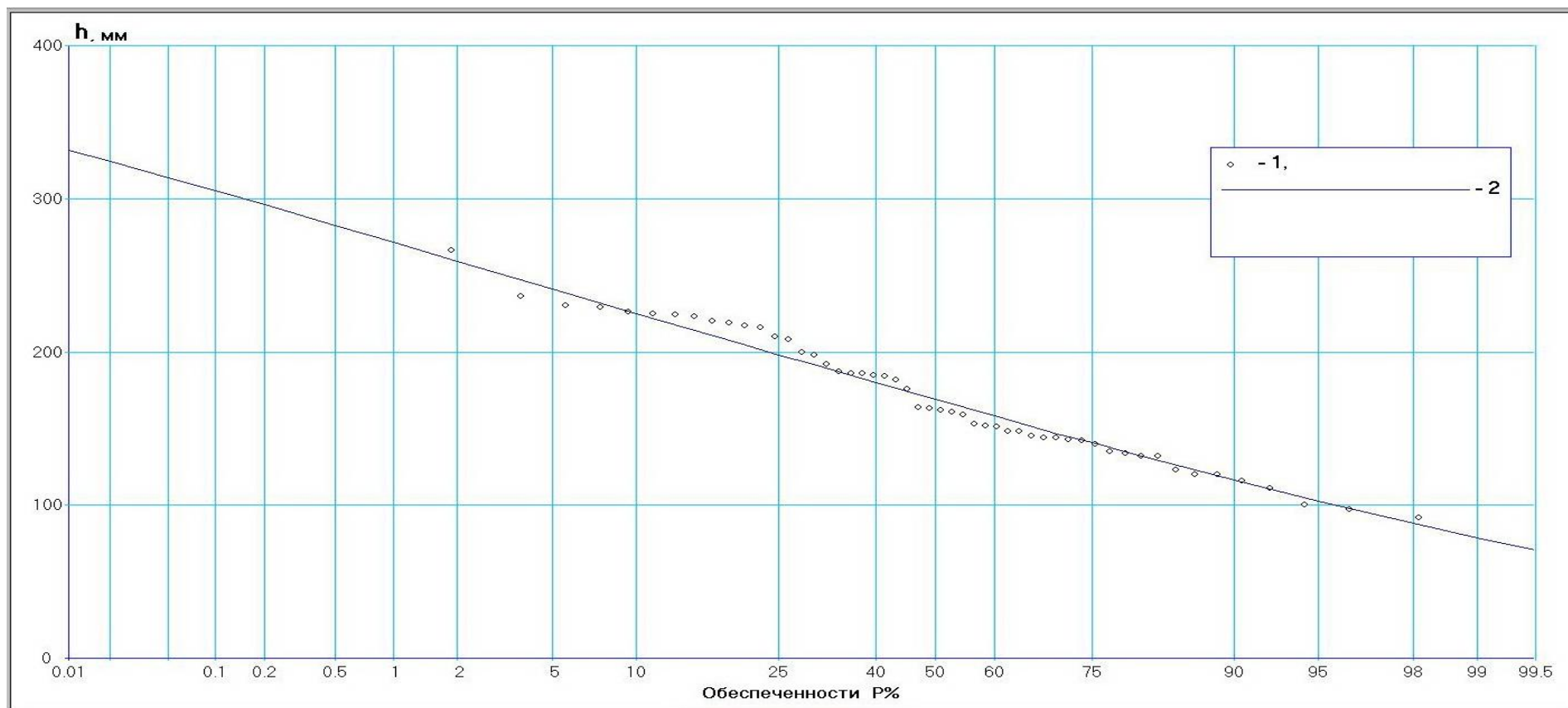


Рисунок Б.12 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Пинега – д. Засурье.

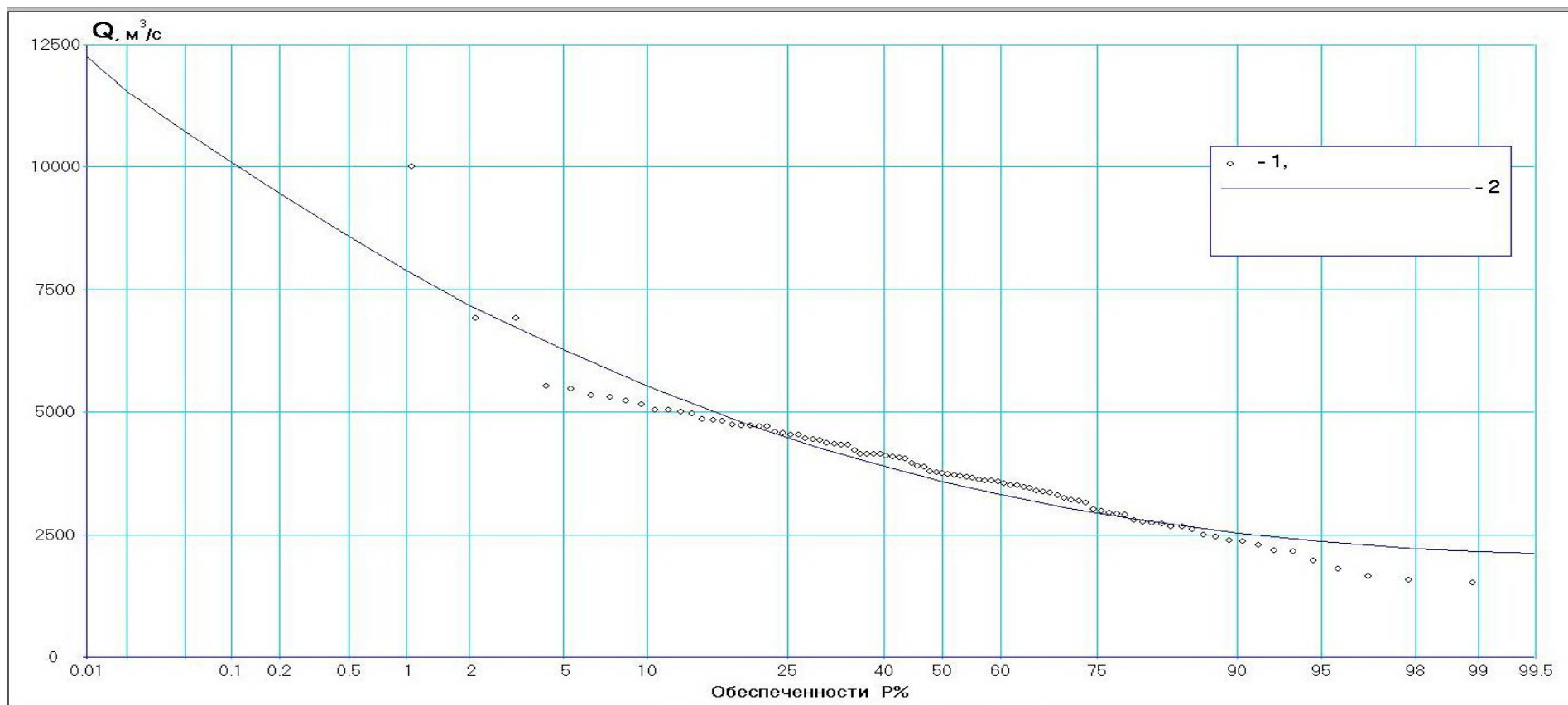


Рисунок Б.13 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Пирсона III типа для р. Пинега – с. Кулогоры.

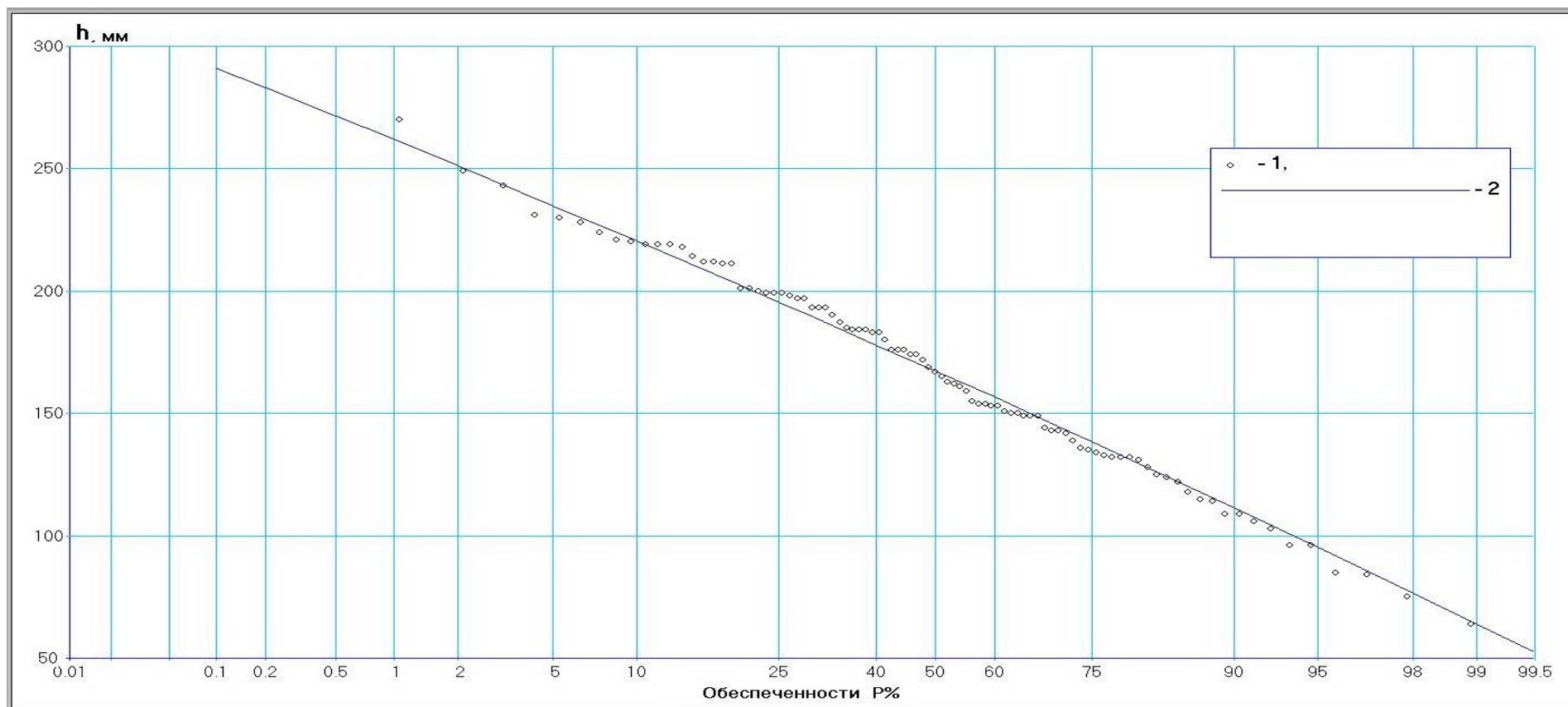


Рисунок Б.14 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Пирсона III типа для р. Пинега – с. Кулогоры.

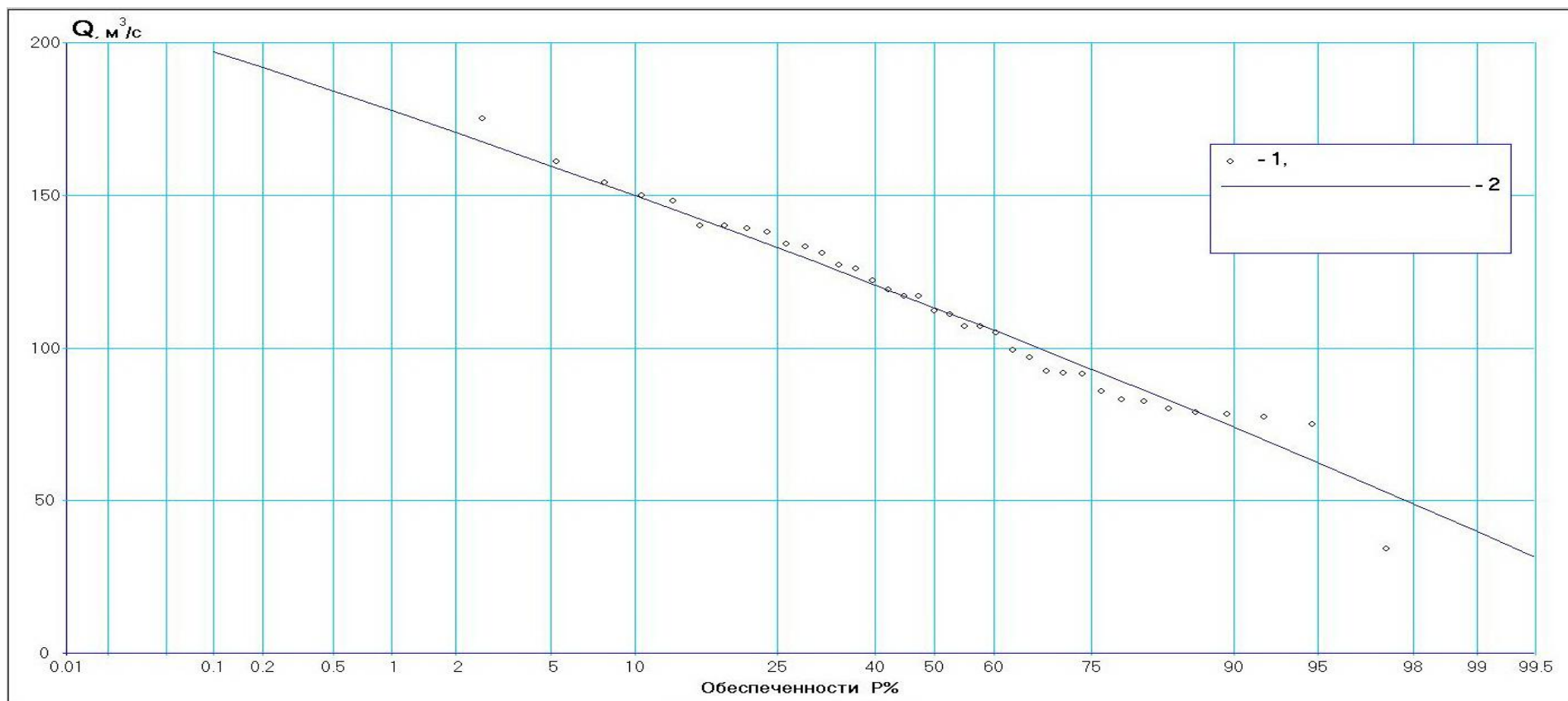


Рисунок Б.15 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов
весеннего половодья Пирсона III типа для р. Охтома – пос. Ламбас.

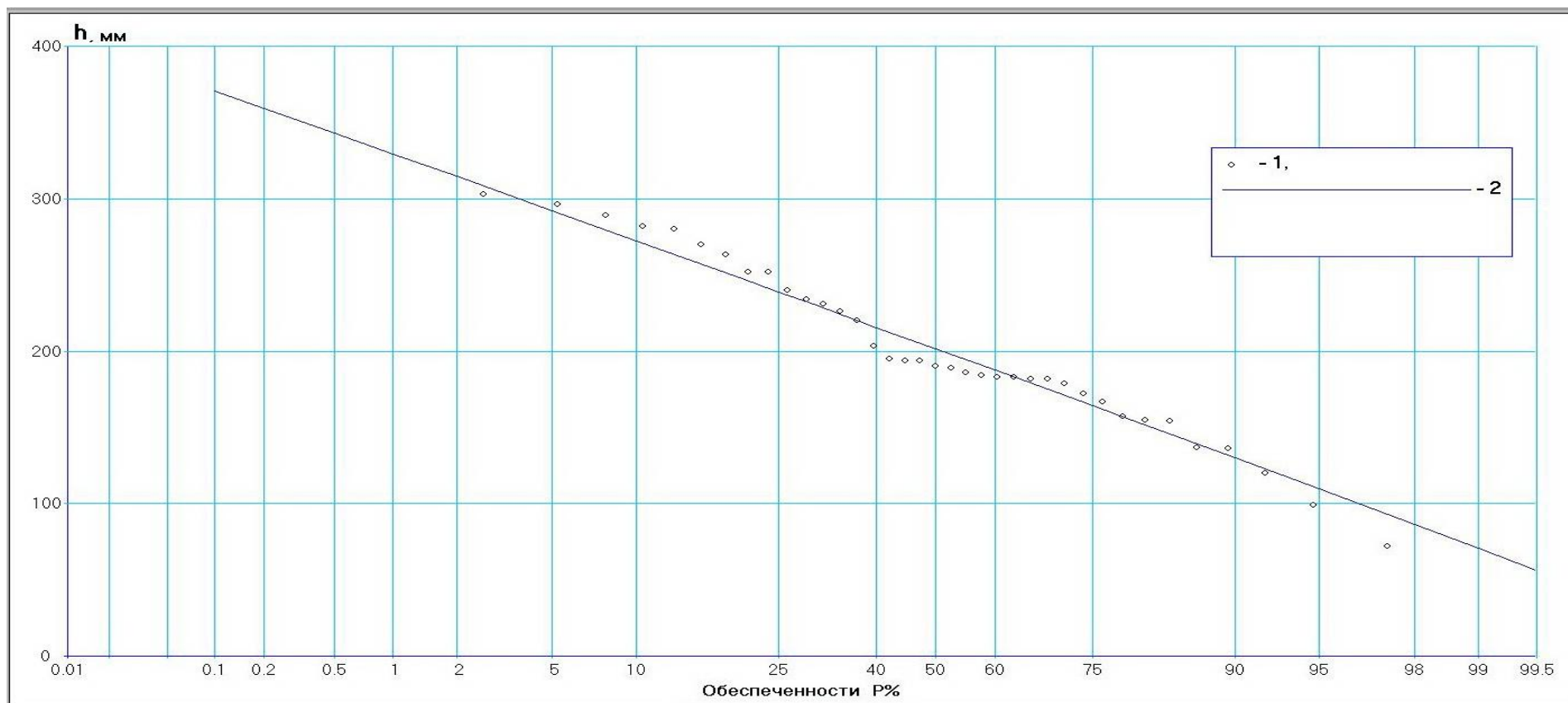


Рисунок Б.16 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Пирсона III типа для р. Охтома – пос. Ламбас.

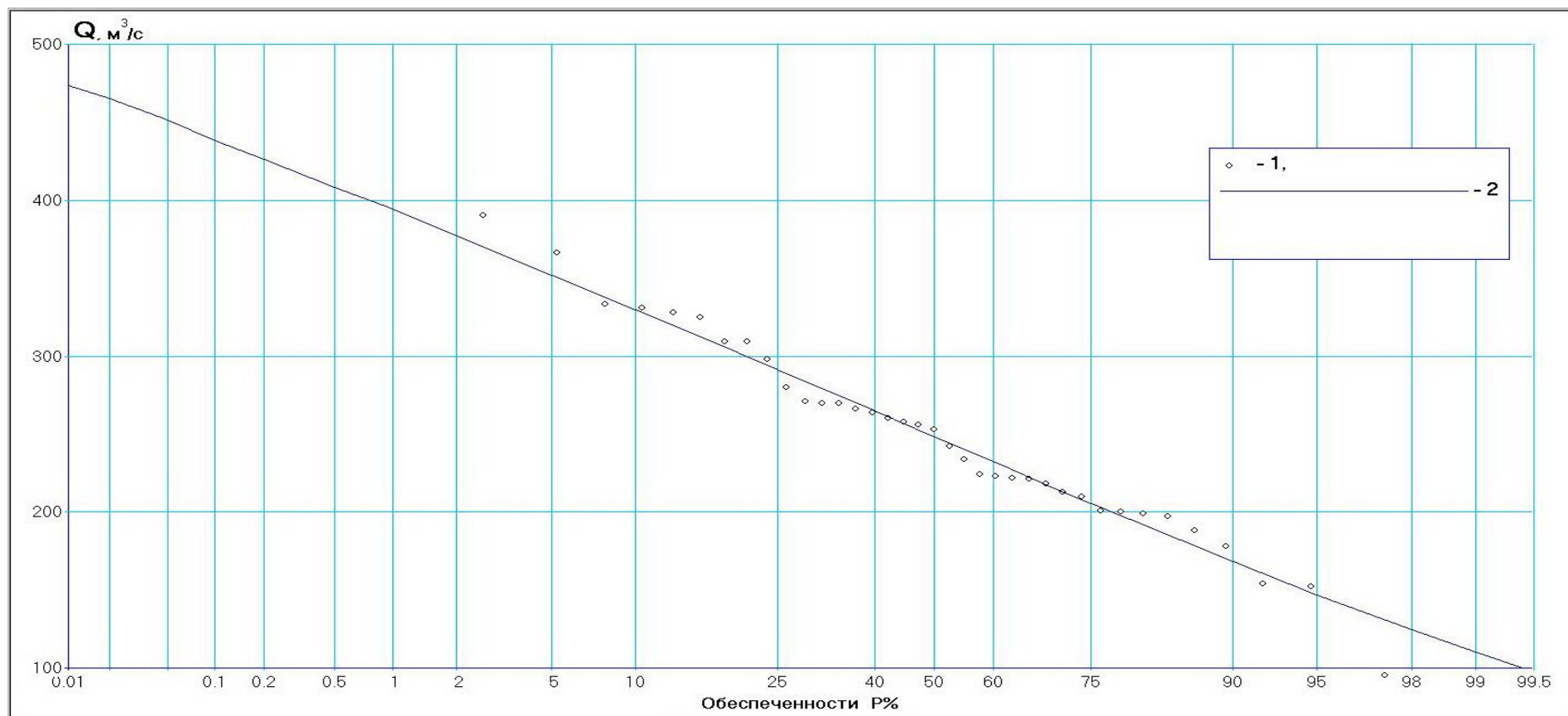


Рисунок Б.17 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Большая Илеша – пос. Красное.

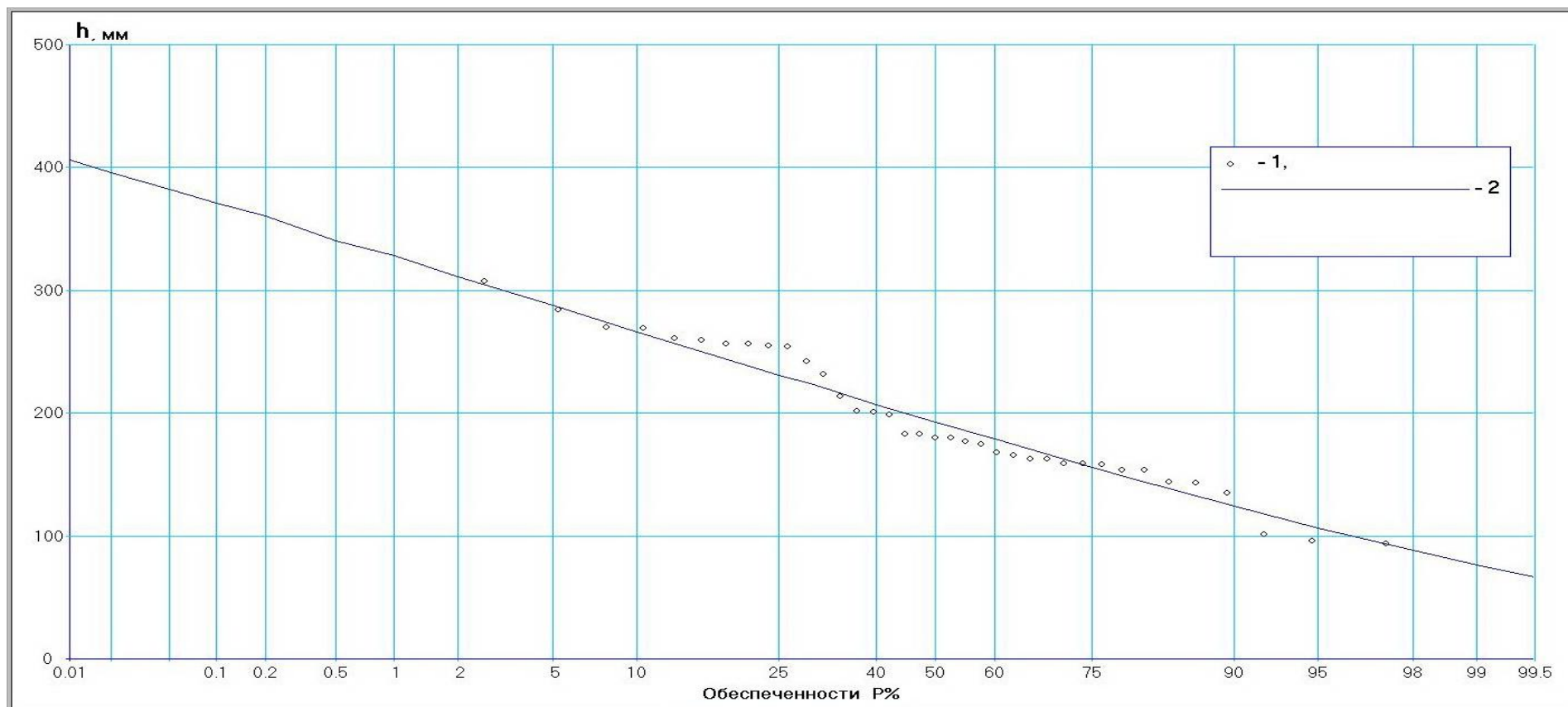


Рисунок Б.18 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Большая Илеша – пос. Красное.

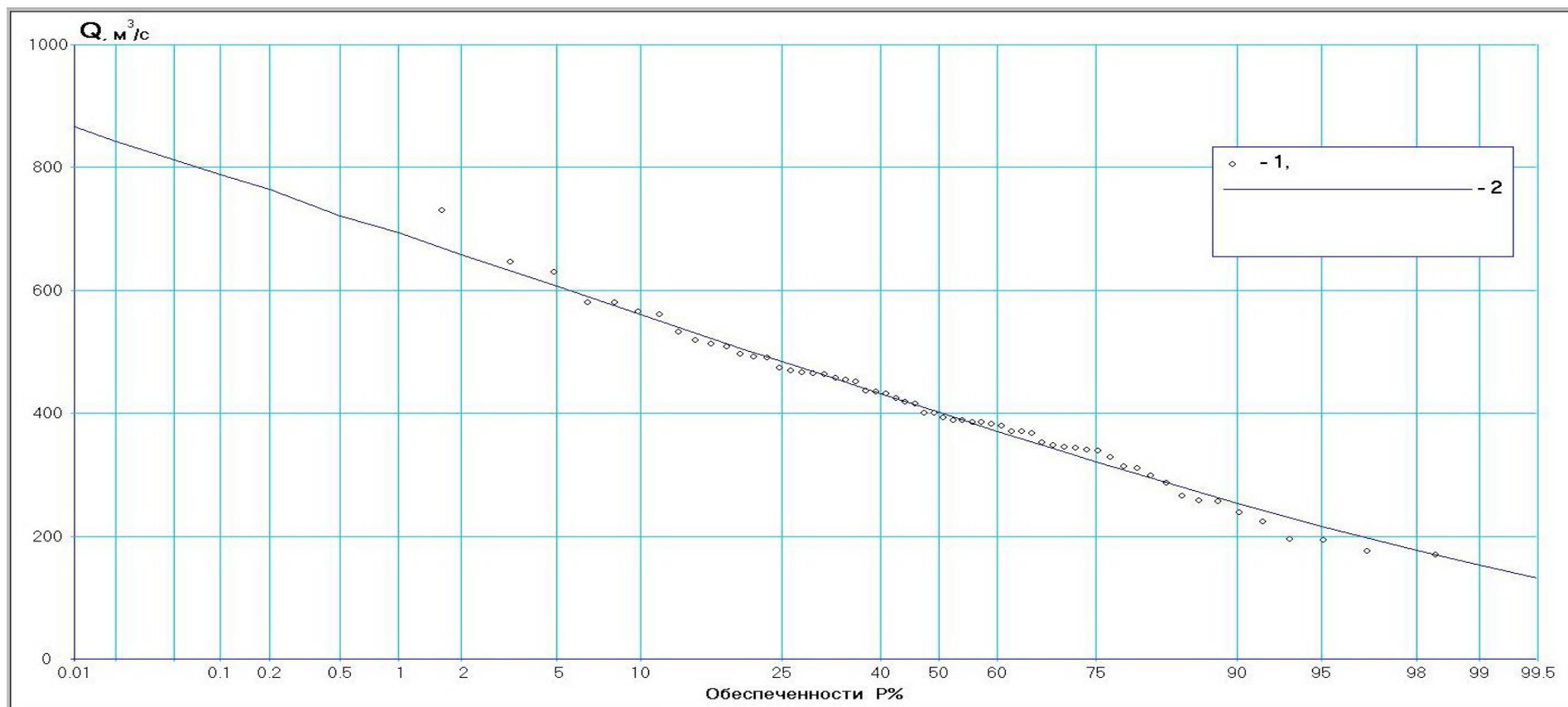


Рисунок Б.19 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Выя – д. Гаврилово.

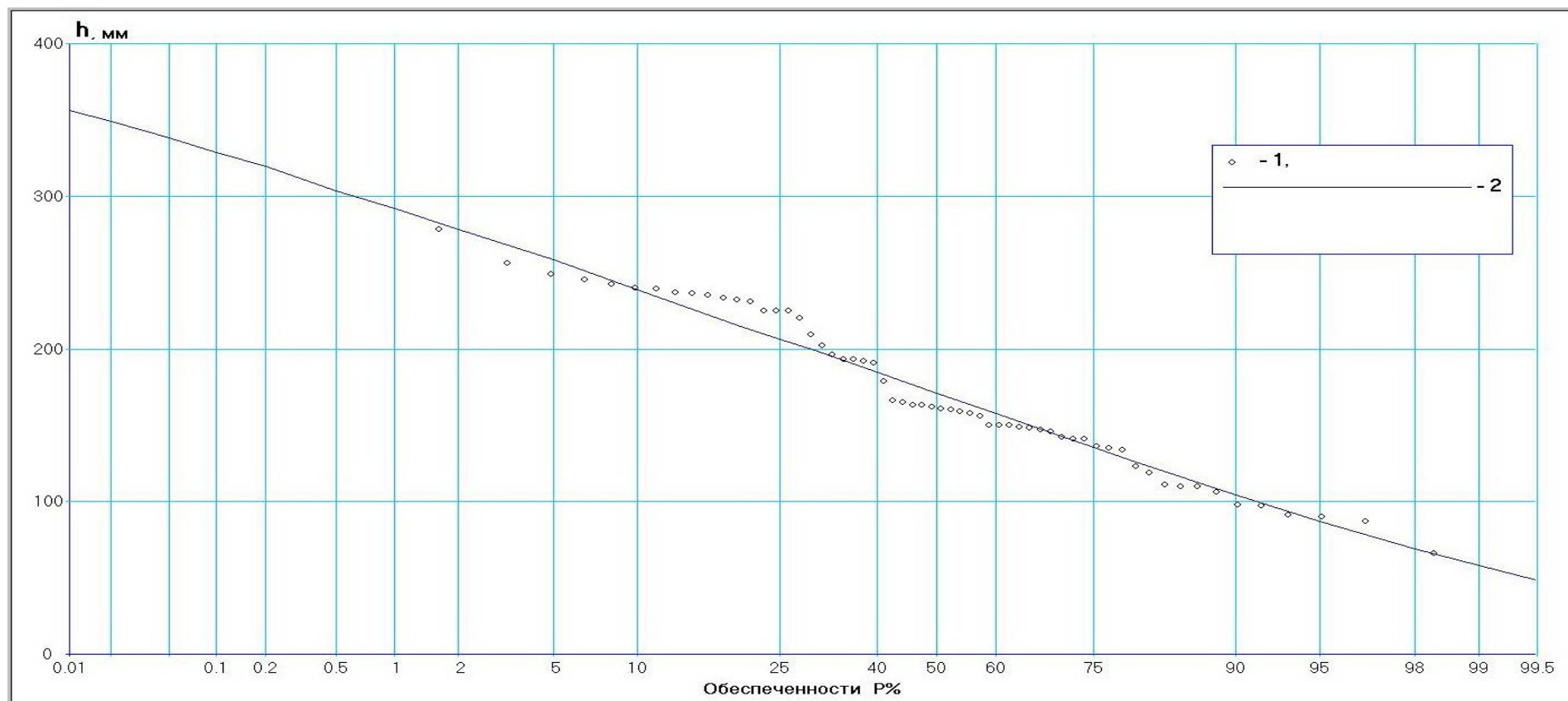


Рисунок Б.20 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Выя – д. Гаврилово.

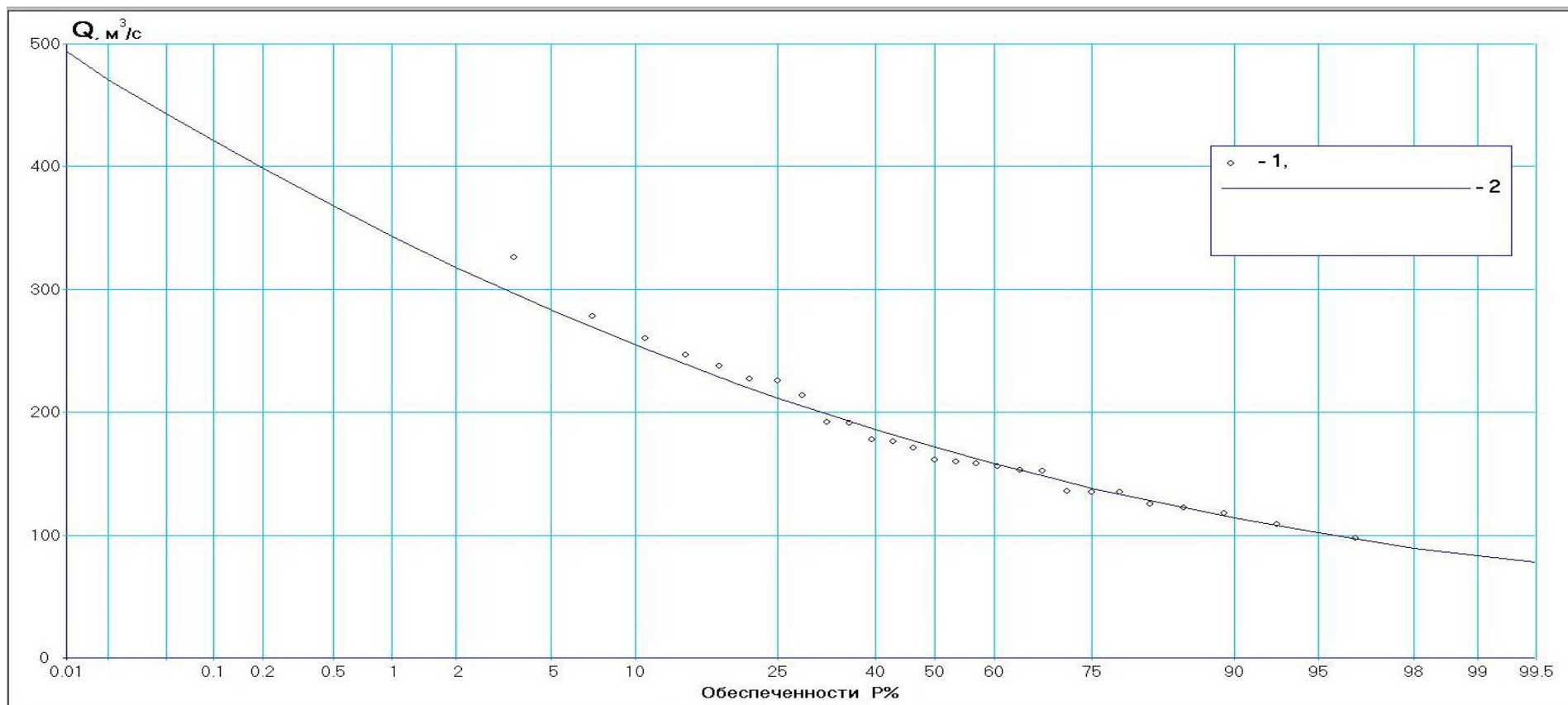


Рисунок Б.21 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Пирсона III типа для р. Нюхча – изба Широкая.

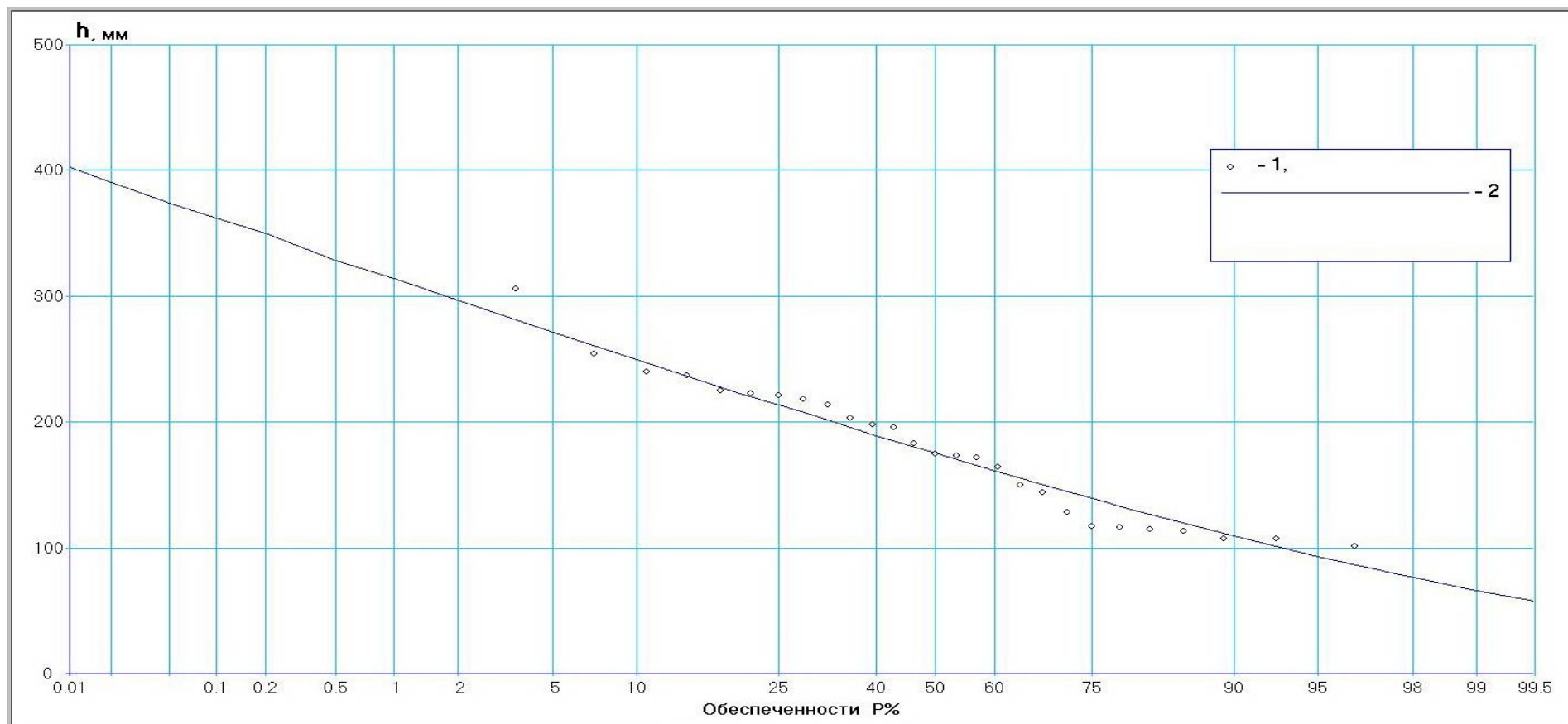


Рисунок Б.22 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Нюхча – изба Широкая.

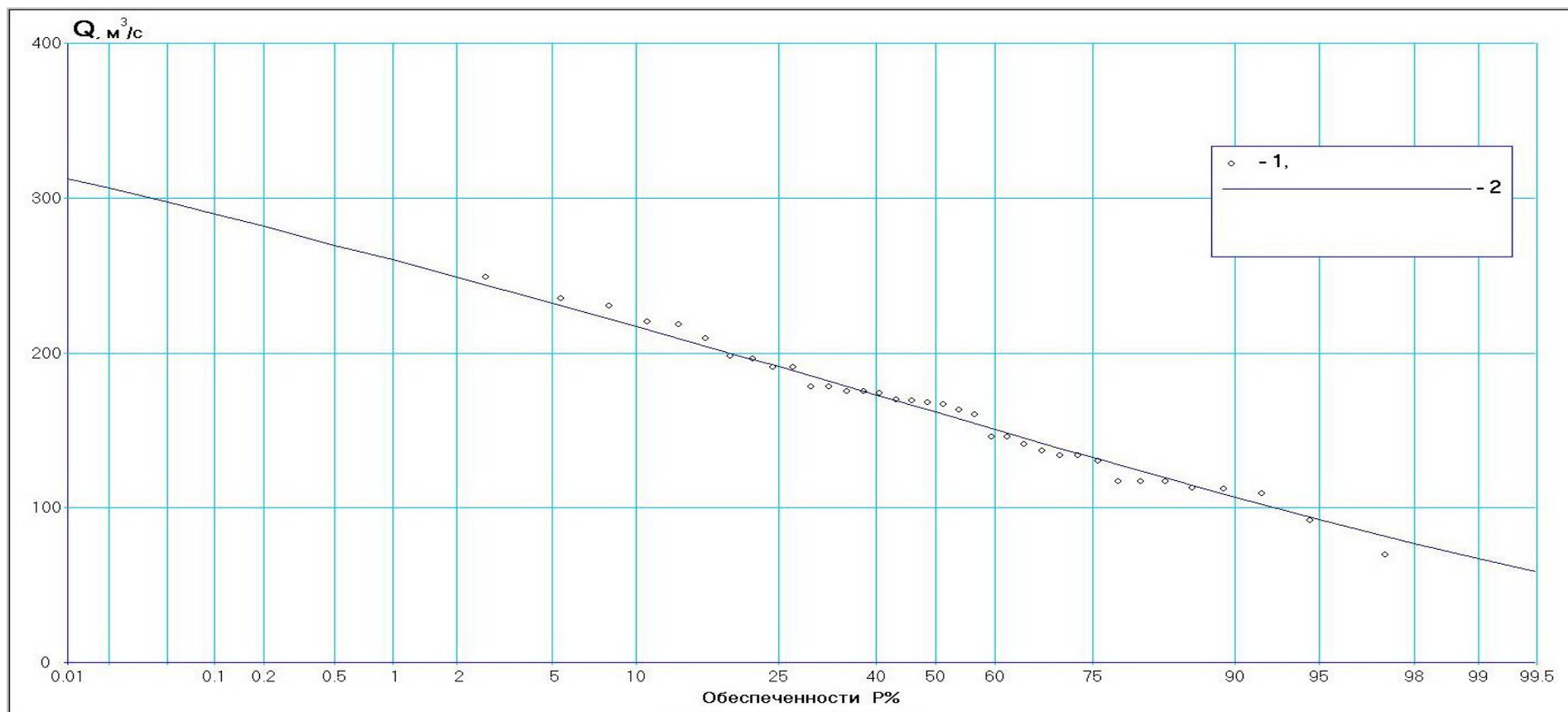


Рисунок Б.23 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Сура – д. Гора.

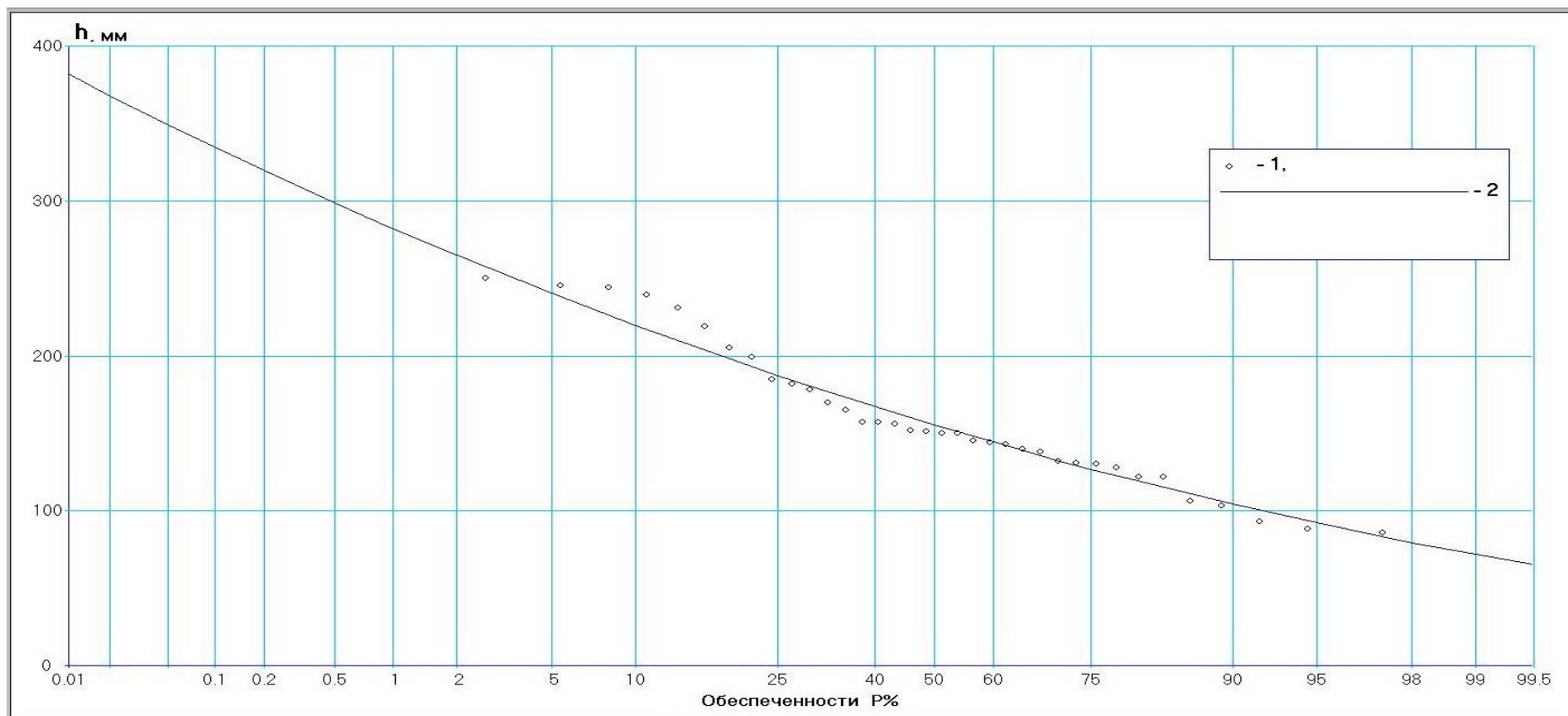


Рисунок Б.24 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Пирсона III типа для р. Сура – д. Гора.

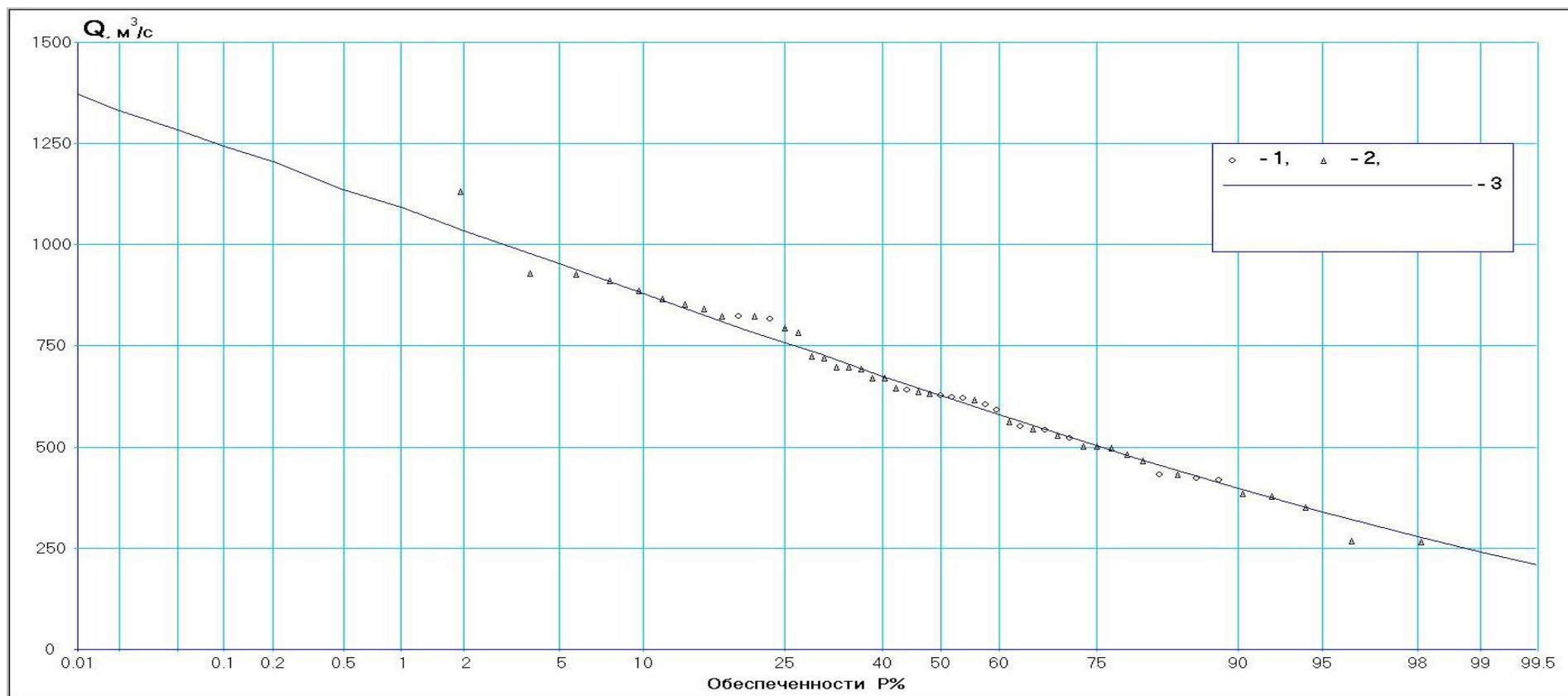


Рисунок Б.25 Эмпирическая (1) и аналитическая (3) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Юла – д. Пачиха.

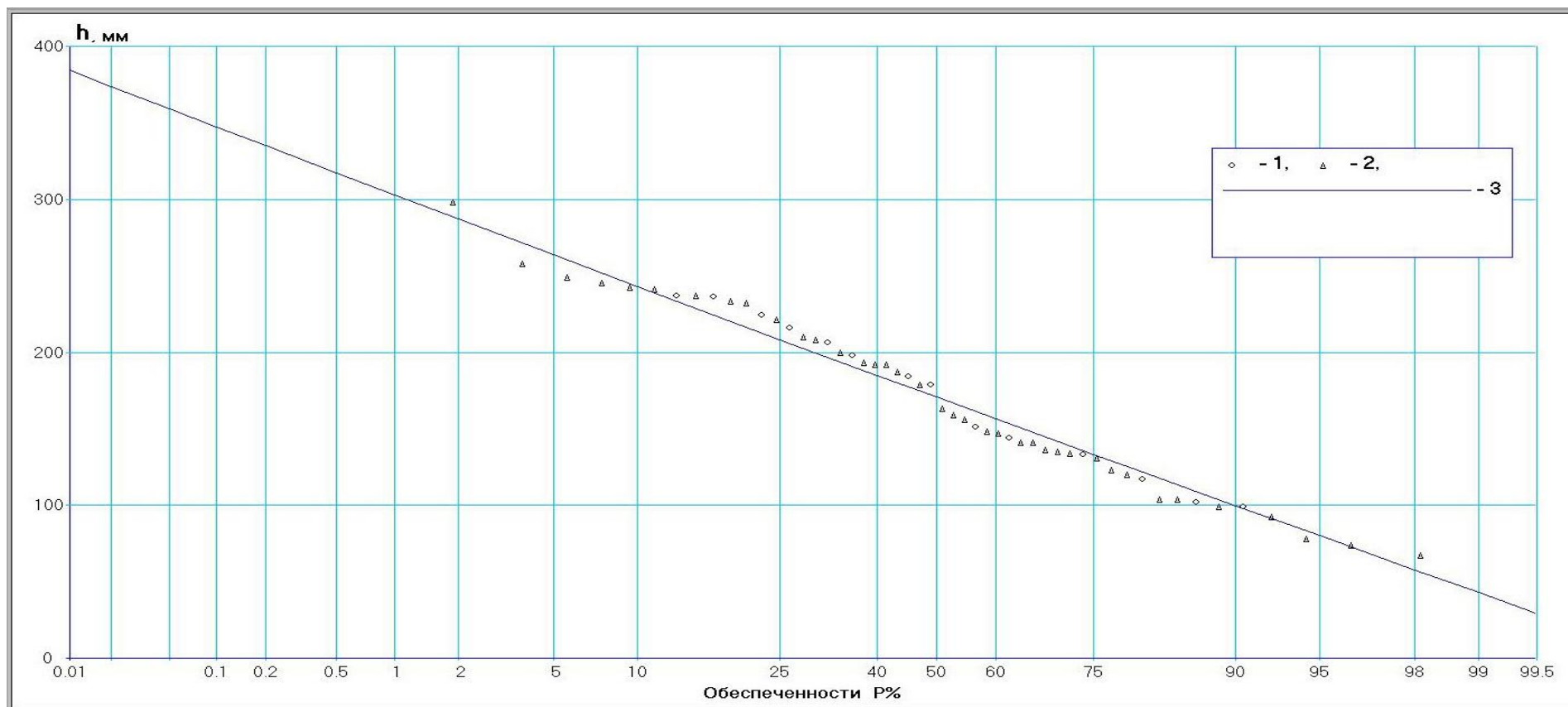


Рисунок Б.26 Эмпирическая (1) и аналитическая (3) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Пирсона III типа для р. Юла – д. Пачиха.

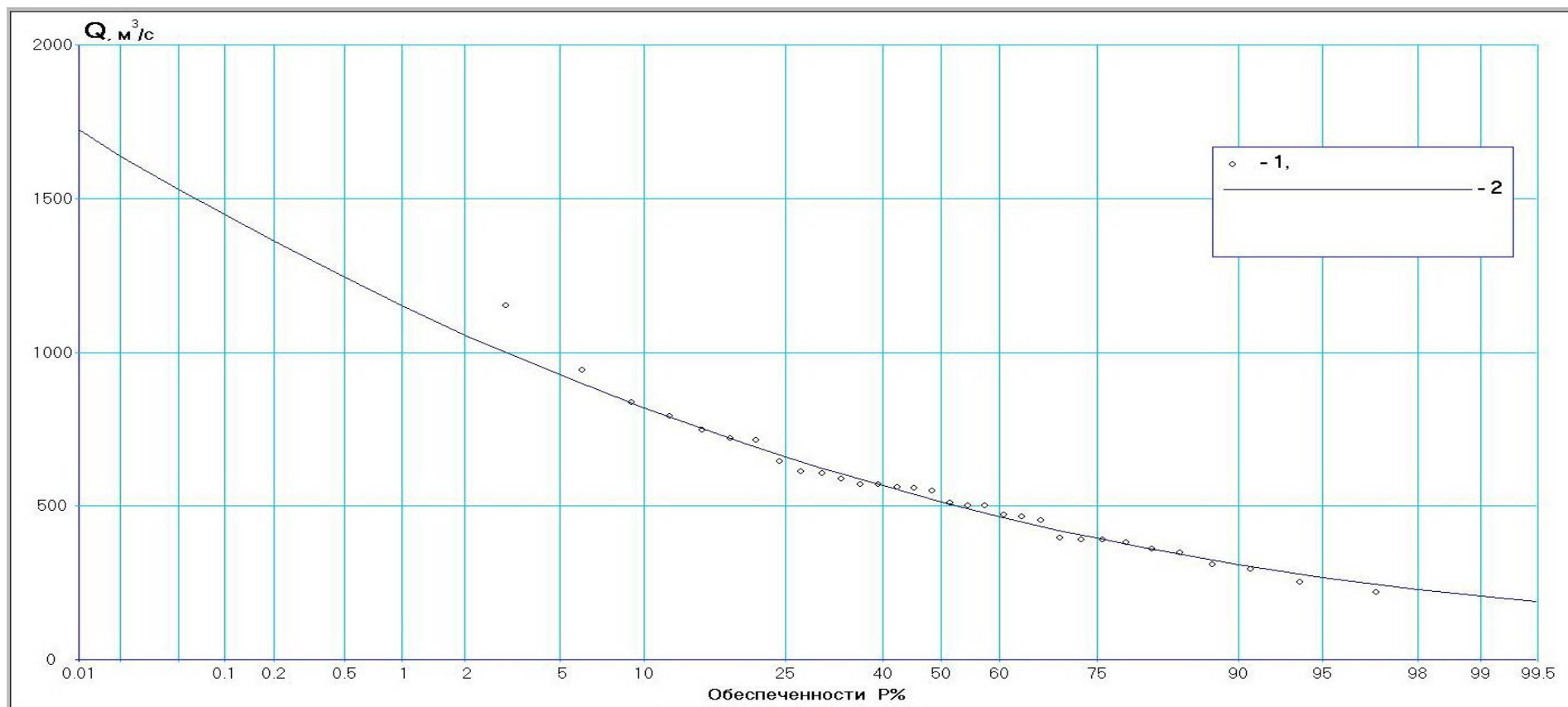


Рисунок Б.27 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Пирсона III типа для р. Юла – д. Каренжиха.

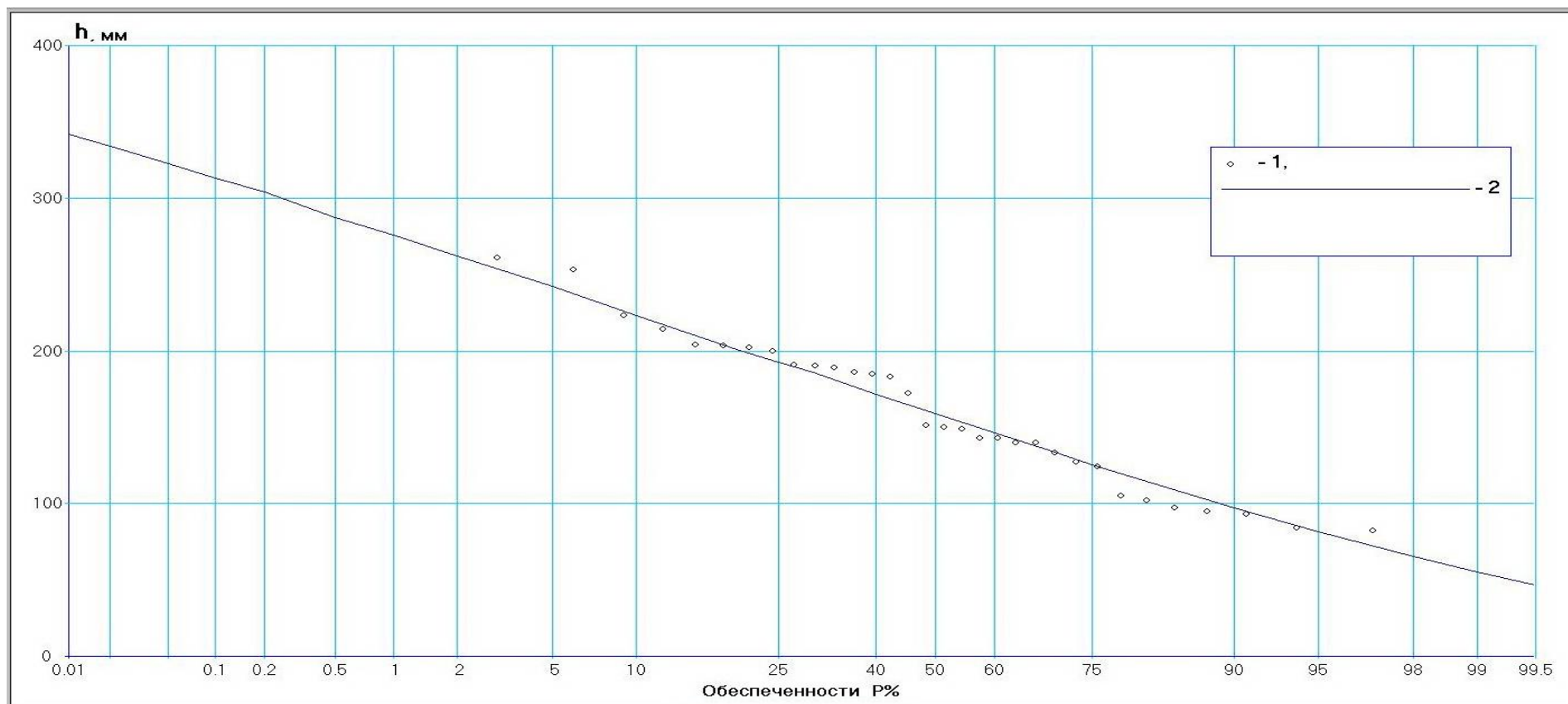


Рисунок Б.28 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Юла – д. Каренжиха.

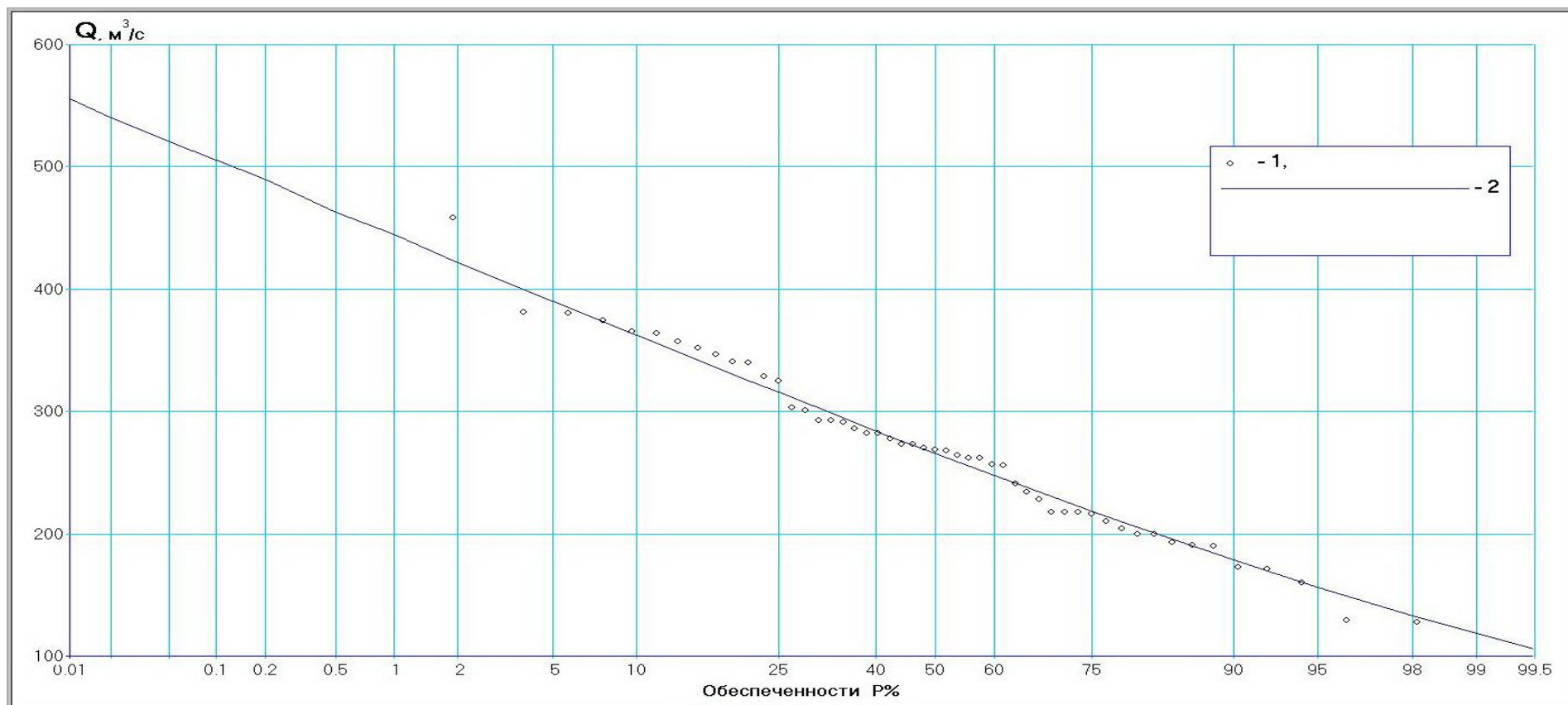


Рисунок Б.29 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей максимальных расходов
весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Покшеньга – пос. Сылога.

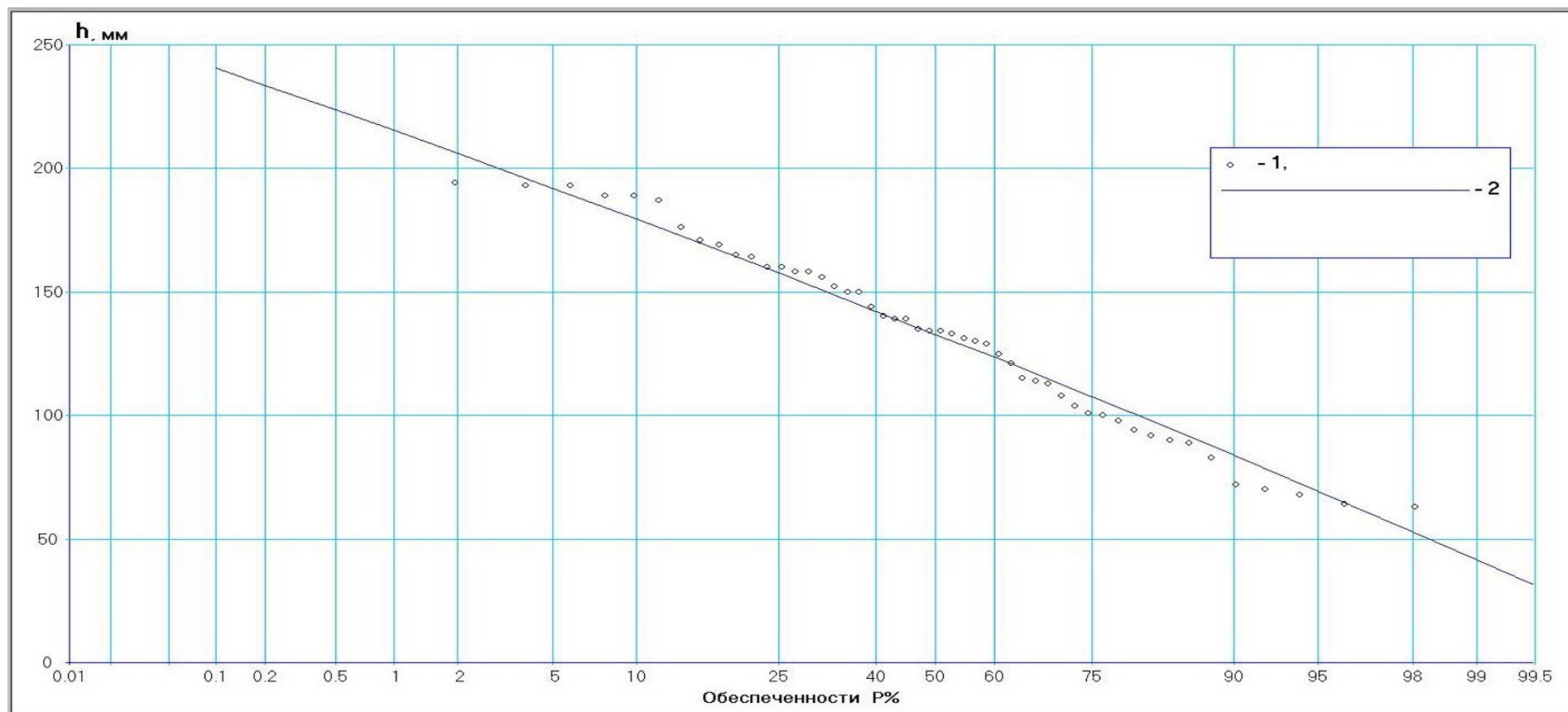


Рисунок Б.30 Эмпирическая (1) и аналитическая (2) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Пирсона III типа для р. Покшеньга – пос. Сылога.

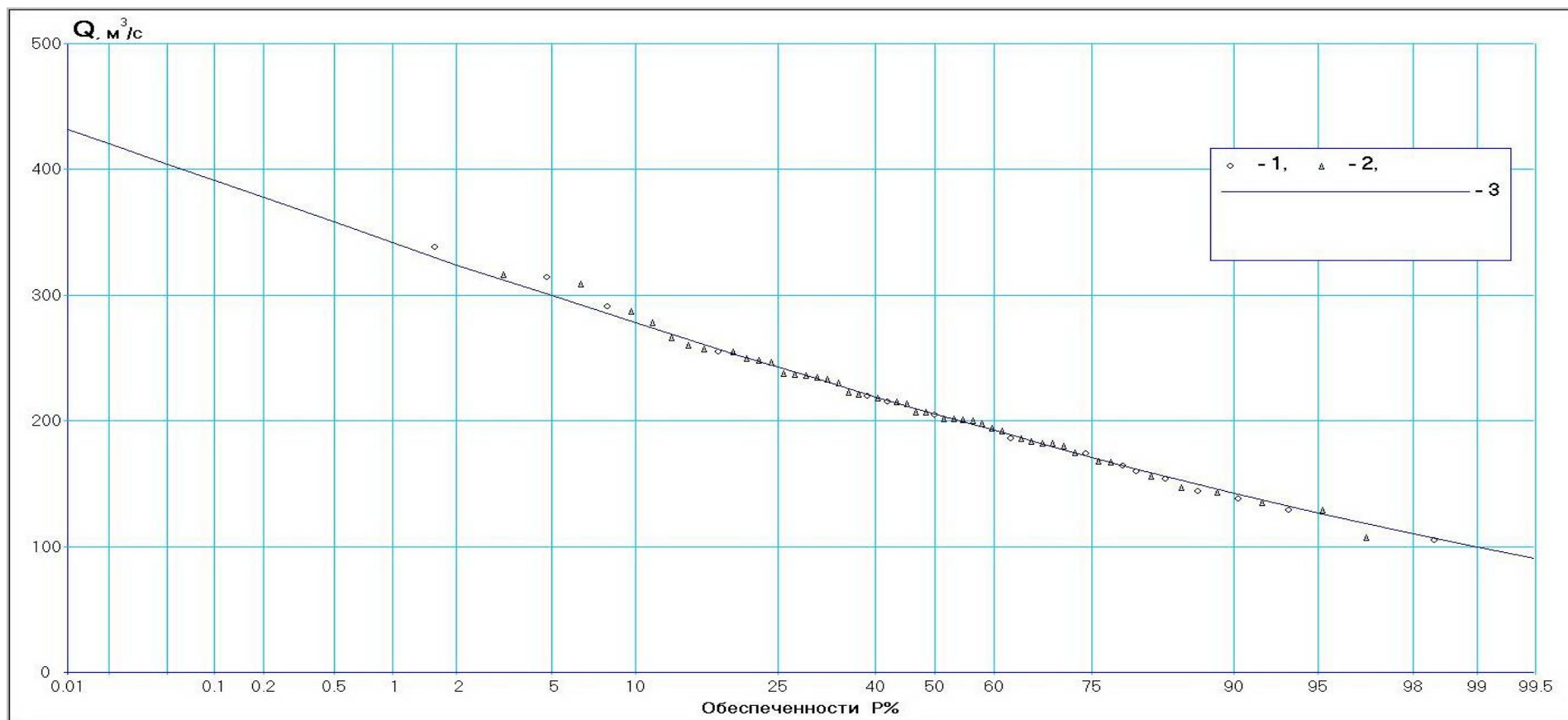


Рисунок Б.31 Эмпирическая (1) и аналитическая (3) кривые обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Ежуга – пос. Сюзьма.

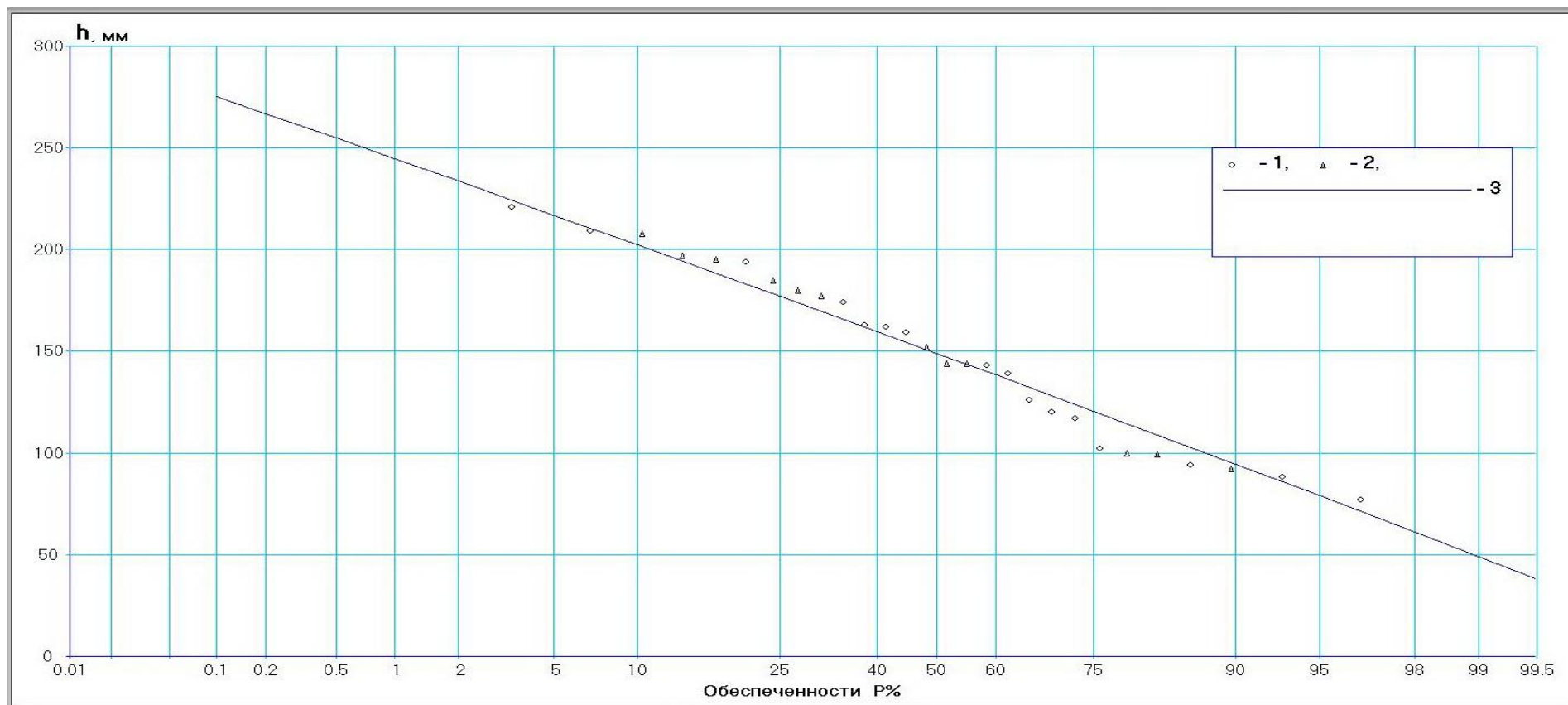


Рисунок Б.32 Эмпирическая (1) и аналитическая (3) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Пирсона III типа для р. Ежуга – пос. Сюзьма.

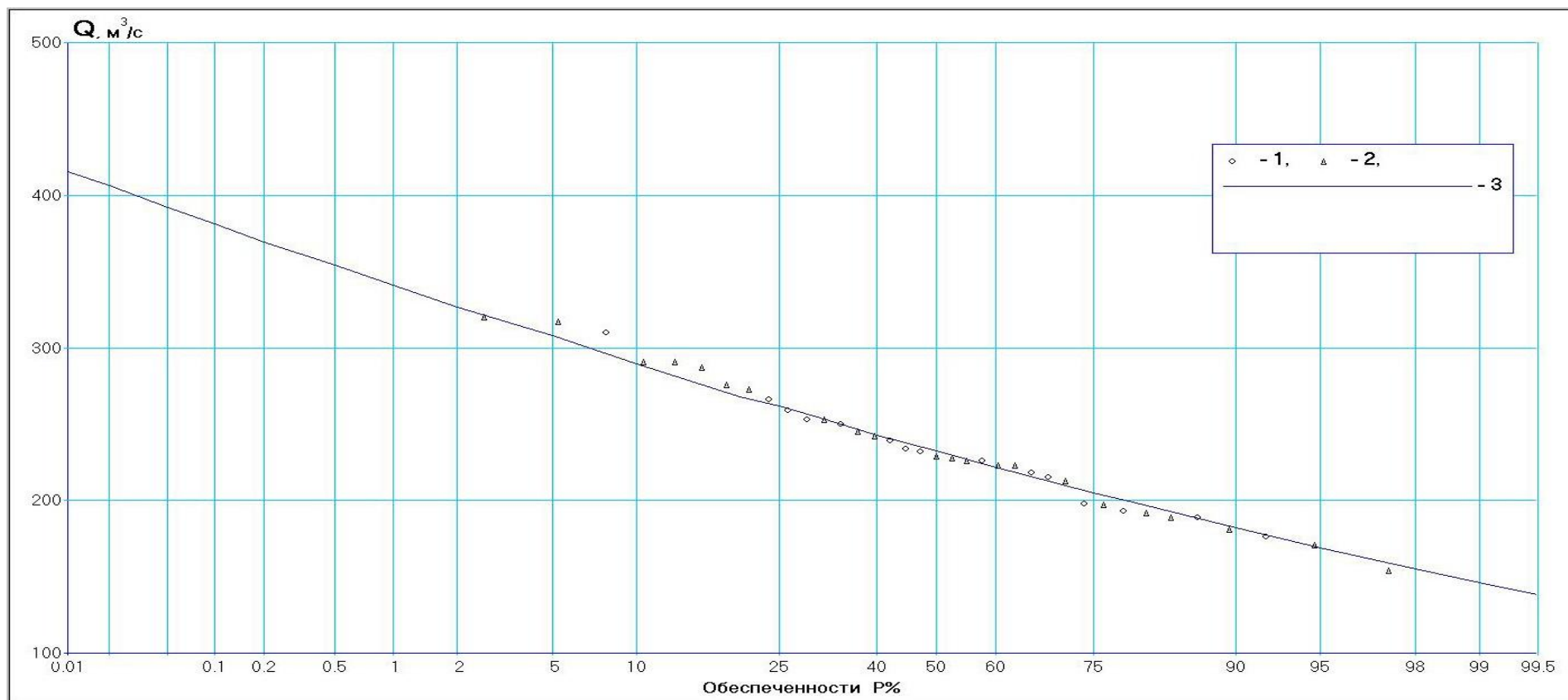


Рисунок Б.33 Эмпирическая (1) и аналитическая (3) кривые обеспеченностей максимальных расходов
весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Ежуга – пос. Широкое.

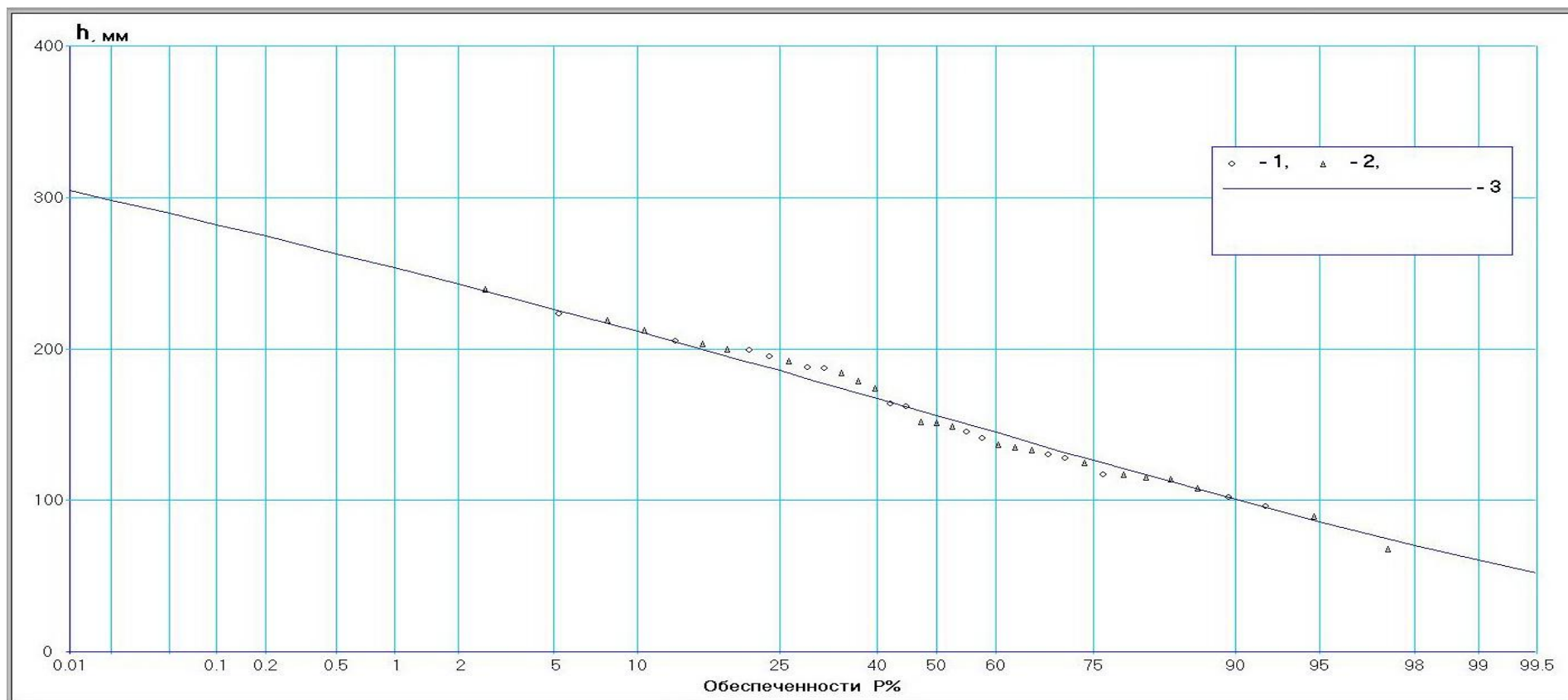


Рисунок Б.34 Эмпирическая (1) и аналитическая (3) кривые обеспеченностей слоев стока
весеннего половодья Крицкого – Менкеля для р. Ежуга – пос. Широкое.