



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

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

на тему **МЕТОДИКА КРАТКОСРОЧНОГО
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ
ЗАТОПЛЕНИЯ В БАССЕЙНАХ КОЛУМБИИ**

Исполнитель

Трухильо Еременко Максим

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

д.т.н., профессор

(ученая степень, ученое звание)

Коваленко Виктор Васильевич

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

д.т.н., профессор

(ученая степень, ученое звание)

Коваленко Виктор Васильевич

(фамилия, имя, отчество)

«07» июня 2016 г.

Санкт-Петербург

2016



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

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

на тему **МЕТОДИКА КРАТКОСРОЧНОГО
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ
ЗАТОПЛЕНИЯ В БАССЕЙНАХ КОЛУМБИИ**

Исполнитель	Трухильо Еременко Максим
	(фамилия, имя, отчество)
Руководитель	д.т.н., профессор
	(ученая степень, ученое звание)
	Коваленко Виктор Васильевич
	(фамилия, имя, отчество)
«К защите допускаю» Заведующий кафедрой	
	(подпись)
	(ученая степень, ученое звание)
	(фамилия, имя, отчество)

«07» июня 2016 г.

Санкт–Петербург
2016

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	4
1 Принятые представления о наводнении	5
1.1 Понятие «наводнение»	5
1.2 Классификация наводнений	7
2 Состояние гидрометеорологической службы Колумбии	12
3 Физико-географическое описание Колумбии	16
3.1 Общие сведения	16
3.2 Гидрография Колумбии	17
4 Методика прогноза расходов воды	20
4.1 Ресурсная информация и методика динамического фонового прогноза изменения водности для бассейнов Колумбии	23
5 Методика прогнозирования зон затопления	35
5.1 Формирования базы данных	36
5.2 Описание выбранных водосборов	51
5.3 Описание станций	55
5.4 Поверочные прогнозы	57
5.5 Оценка эффективности методики	89
5.6 Построение карт затопления	90
Заключение	95
Список используемых источников	96
Приложение А – Результаты прогнозов для станций Ла	

Муралья и Мерида	99
Приложение Б – Информация наблюдений для построения кривой $Q = f(H)$ для всех станций	103
Приложение В – Таблицы прогнозов многоводных и маловодных периодов для станции Ла Муралья и Мерида	109
Приложение Г – Кривые $Q = f(H)$ за 2000г. для каждой станции	115

ВВЕДЕНИЕ

Затопление территорий – это глобальная проблема, вызванная множеством факторов, что приводит к последствиям различной степени. Основными последствиями являются экономический ущерб и потери человеческих жизней.

Прогноз таких последствий является одной из важнейших составляющих при ведении различной деятельности на водосборах рек и проектировании гидрологических сооружений.

В данной работе будет разработана методика прогноза затопления территорий для борьбы с этими последствиями на примере Колумбийских рек.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

- сформировать базу данных гидрометеорологических характеристик для рек Колумбии;
- сформировать базу данных прогнозных расходов и уровней воды для рек Колумбии;
- получить оценки $S/\sigma\Delta$ и $P\%$ с помощью которых можно определить эффективность данной методики;
- построить карты зон затопления территорий для водосборов рек Колумбии.
- разработать методика прогноза расходов и уровней.

1 ПРИНЯТЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О НАВОДНЕНИИ

1.1 Понятие «наводнение»

Наводнение – затопление территории земли водой, являющееся стихийным бедствием.

Типы наводнений.

– Половодье – периодически повторяющийся, довольно продолжительный подъем уровня воды в реках, обычно вызываемый весенним таянием снега на равнинах или дождевыми осадками. Затапливает низкие участки местности. Половодье может принимать катастрофический характер, если инфильтрационные свойства почвы значительно уменьшились за счет перенасыщения ее влагой осенью и глубокого промерзания в суровую зиму.

– Паводок – интенсивный сравнительно кратковременный подъем уровня воды в реке, вызываемый обильными дождями, ливнями, иногда быстрым таянием снега при оттепелях. В отличие от половодий, паводки могут повторяться несколько раз в году. Особую угрозу представляют так называемые внезапные паводки, связанные с кратковременными, но очень интенсивными ливнями, которые случаются и зимой из-за оттепелей.

– Затор – закупоривание русла неподвижным ледяным покровом и нагромождением льдин во время весеннего ледохода в сужениях и на излучинах русла реки, стесняющее течение и вызывающее подъем уровня воды в месте скопления льда и выше него. Заторные наводнения образуются в конце зимы или начале весны, и возникают из-за неодновременного вскрытия больших рек, протекающих с юга на север. Вскрывшиеся южные участки реки в своем течении запруживаются скоплением льда в северных районах, что нередко вызывает значительное повышение уровня воды. Заторные наводнения

характеризуются высоким и сравнительно кратковременным подъемом уровня воды в реке.

– Зажор – ледяная пробка, скопление внутриводного, рыхлого льда во время зимнего ледостава в сужениях и на излучинах русла, вызывающее подъем воды на некоторых участках выше уровня основного русла реки. Зажорные наводнения образуются в начале зимы и характеризуются значительным, однако меньшим, чем при заторе, подъемом уровня воды и более значительной продолжительностью наводнения.

– Ветровой нагон – это подъем уровня воды в морских устьях крупных рек и на ветреных участках побережья морей, крупных озер, водохранилищ, вызванный воздействием сильного ветра на водную поверхность. Характеризуются отсутствием периодичности, редкостью и значительным подъемом уровня воды, а также, как правило, кратковременностью. Наводнения такого типа наблюдались в Ленинграде (1824, 1924), Нидерландах (1953).

– Разлив воды из водохранилища, водоема, образующийся при прорыве сооружения напорного фронта гидротехнических сооружений (плотины, дамбы и т. п.), или при аварийном сбросе воды из водохранилища, а также при прорыве естественной плотины, образовавшейся при землетрясениях, оползнях, обвалах и т. п. Характеризуется образованием волны прорыва с последующим неуправляемым перемещением больших масс воды, приводящей к затоплению больших территорий и разрушению или повреждению встречающихся на пути ее движения строений (зданий, сооружений и др.). Наводнение такого типа, тем не менее, очень кратковременно [1].

1.2 Классификация наводнений

– Низкие (малые)

Они наблюдаются на равнинных реках. Охватывают небольшие прибрежные территории. Затопляется менее 10 % сельскохозяйственных угодий. Почти не нарушают ритма жизни населения. Периодичность повторения 5–10 лет.

– Опасные

Наносят ощутимый материальный и моральный ущерб, охватывают сравнительно большие земельные участки речных долин, затапливают примерно 10–20 % сельскохозяйственных угодий. Существенно нарушают хозяйственный и бытовой уклад населения. Приводят к частичной эвакуации людей. Повторяемость 20–25 лет.

– Особо опасные

Наносят большой материальный ущерб, охватывая целые речные бассейны. Затапливают примерно 50–70 % сельскохозяйственных угодий, некоторые населенные пункты. Парализуют хозяйственную деятельность и резко нарушают бытовой уклад жизни населения. Приводят к необходимости массовой эвакуации населения и материальных ценностей из зоны затопления и защиты наиболее важных хозяйственных объектов. Повторяемость 50–100 лет, как видно на рисунке 1 и 2.

– Катастрофические

Приводят к гибели людей, непоправимому экологическому ущербу, наносят материальный ущерб, охватывая громадные территории в пределах одной или нескольких водных систем. Затапливается более 70 % сельскохозяйственных угодий, множество населенных пунктов, промышленных предприятий и инженерных коммуникаций. При этом полностью парализуется хозяйственная и производственная деятельность, временно изменяется жизненный уклад населения. Эвакуация сотен тысяч населения, неизбежная гуманитарная катастрофа требует участия всего Мирное

сообщества проблема одной страны становится проблемой всего мира. В случае близкого расположения города к реке, испытывающей наводнение, на не очень высоком месте, как правило, затапливает и его. Повторяемость 200-300 лет.

Причины наводнений

– Продолжительные дожди

Летние дожди, выпадающие на Абиссинском нагорье, приводят к тому, что Нил ежегодно разливается, затопляя в нижнем течении всю долину – эта особенность была подмечена еще в Древнем Египте и учитывалась в сельском хозяйстве, поскольку разливы приносили плодородный ил и чистую пресную воду, но уничтожали не собранный к тому времени урожай. Возникает чаще всего в исключительно влажных регионах с большим уровнем осадков (например, Черапунджи), сухие же регионы (пустыни и степи) эту проблему испытывают крайне редко, как и регионы с умеренной влажностью.

– Таяние снегов

Интенсивное таяние снега, особенно при промерзшей земле, приводит к подтоплению дорог. Сила такого наводнения сильно зависит от многих факторов, поэтому может быть разной – от самой незначительной до катастрофической. Чаще всего сочетается с другими факторами.

– Волна цунами

На морских побережьях и островах наводнения могут возникнуть следом за цунами, в результате затопления прибрежной полосы волной – образующейся при землетрясениях или извержениях вулканов в океане. Подобные наводнения нередки на берегах Японии и на других островах Тихого океана. В озерах и заливах такие волны могут возникать в результате крупных оползней.

– Поднятие дна

Одной из причин наводнений является повышение дна. Каждая река постепенно накапливает отложения, в перекатах, в устьях и дельтах. Наводнение в таком случае происходит через несколько лет после начала

процесса, имеет медленный характер, но легко предсказуемо и устранимо дноуглубительно-очистительными работами.

– Прорыв плотин или водохранилищ

Возникает в случае, если водохранилище или плотина (в том числе естественные), находящееся на водном объекте выше по течению, уже не могут сдерживать в силу каких-то обстоятельств (например, землетрясения) сильный напор воды. Причиной может также послужить сделанный по какой-то причине (наводнение на водохранилище, например) аварийный сброс воды через водохранилище в обход сооружения. Наводнение при этом получается очень мощным, разрушительным (сносит на своем пути в долине все, вне зависимости от веса) и неравномерным (по разрушительной силе поток воды может быть не слабее, чем волна цунами), но, как правило, кратковременным.

– Иные природные причины

Причинами наводнений могут послужить: штормовые приливы, сгонно-нагонные явления, сейши, а также оползни, перегораживающие русла рек.

– Дополнительные факторы

Дополнительным негативным фактором в условиях города может послужить засор системы дождевой канализации, что в условиях, например, обильных дождей или активного таяния снегов может приводить к затоплению целых городских районов [1].



Рисунок 1 – Последствие наводнения в колумбийской деревне[1].

Как видно на рисунке 1, последствия от наводнений могут нанести колоссальный ущерб населению.

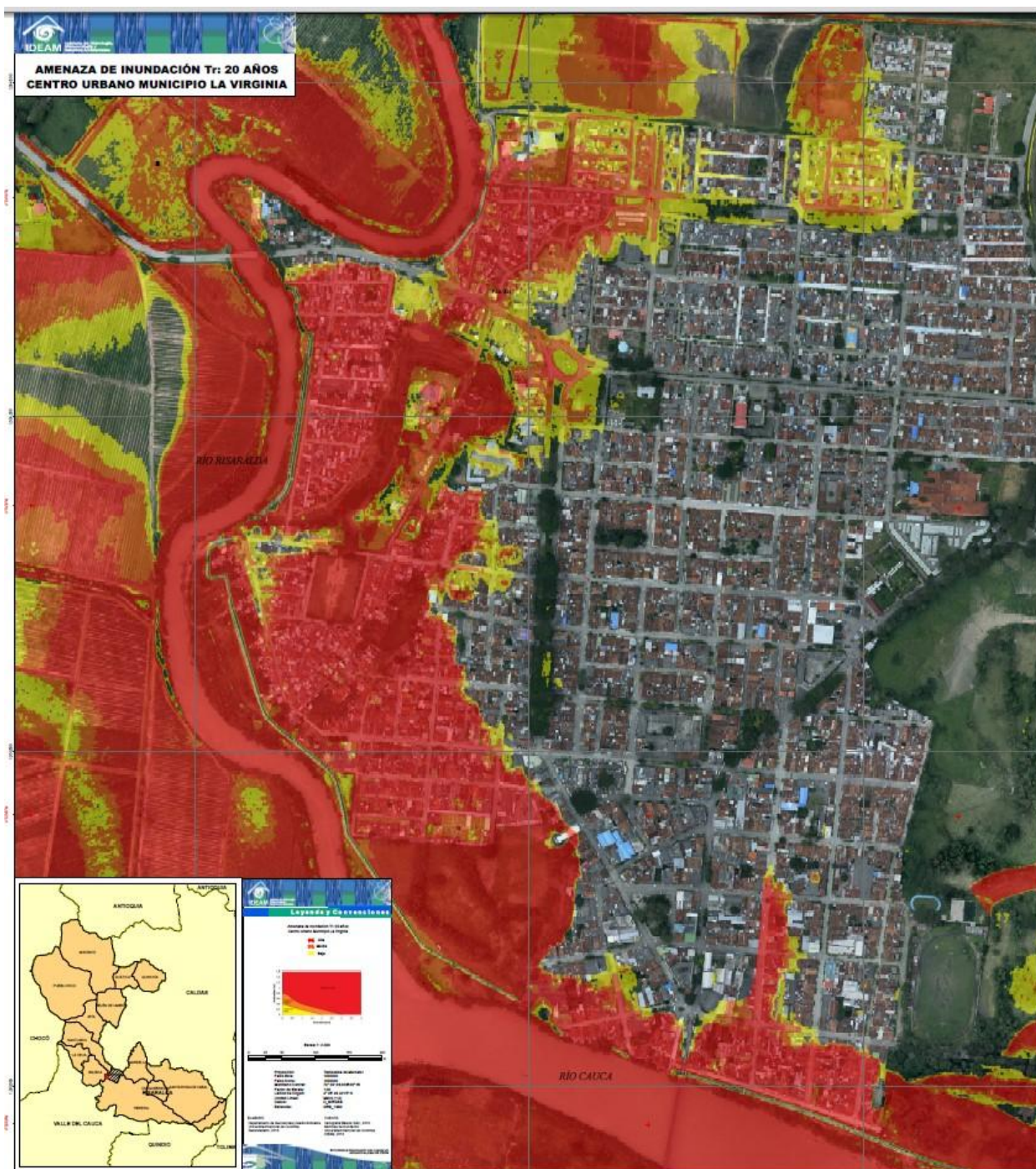


Рисунок 2 – Карта наводнения в г. Ла Вирхиния[1].

На рисунке 2 видна детальная прогнозная карта наводнения для Колумбийского города.

2 СОСТОЯНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ В КОЛУМБИИ

Гидрометеорологическая служба Колумбии (*Instituto de Hidrologia, Meteorología y Estudios Ambientales*) является государственным учреждением научно-технической поддержки национальной системы окружающей среды, которая генерирует знания, производит надежную, последовательную и своевременную информацию о состоянии и динамике природных ресурсов и окружающей среды, для облегчения определения и настройки экологической политики и принятия решений по государственным, частным и государственным секторам в целом.

В 2026 г. институт ИДЕАМ будет моделью, признанной на национальном и международном уровне в качестве субъекта, который генерирует и предоставляет гидрологические, метеорологические и экологические данные для определения государственной политики и решений, связанных с устойчивым развитием и профилактики последствий изменения климата.

Функции ИДЕАМ следующие:

- Обеспечить знаниями и данными экологической информации, необходимой для Министерства охраны окружающей среды и других подразделений национальной экологической системы.
- Выполнить подъем и обработку научно-технической информации об экосистемах, которые являются частью экологического наследия.
- Установить техническую базу для классификации и зонирования использования территории страны для целей планирования и экологического планирования.
- Получение, хранение, анализ, изучение, обработка и распространение основной информации по гидрологии, гидрогеологии, метеорологии, географии основной информации о биофизических аспектах, геоморфологии, почв и растительного покрова для управления и использования

биофизических ресурсов нации, особенно те, в этих областях, до 99 Закона 1993 года они пришли выполнять колумбийского института гидрологии, метеорологии и земли –HIMAT-; Научно-исследовательский институт Geoscience, горно-химическим веществам –INGEOMINAS-;

- Создание национальных океанографической, метеорологической и гидрологической инфраструктуры в целях предоставления информации, прогнозов, предупреждений и консультативных услуг населению.

- Мониторинг биофизических ресурсов нации, особенно в отношении загрязнения и деградации, необходимой для принятия решений природоохранных органов.

- Проведение исследований в области природных ресурсов, особенно связанных с лесными ресурсами и сохранением почв, а также других видов деятельности до 99 Закона 1993 года пришел выполнения Subgerencias лесных ресурсов и разработка Национального института природных ресурсов и охраны окружающей среды -INDERENA-.

- Проведение исследований по гидрологии и метеорологии, что до 99 Закона 1993 года выступала в HIMAT.

- Проведение экологических исследований, чтобы понять последствия социально-экономического развития на природу, ее процессов, окружающей среды и возобновляемых природных ресурсов, а также предложить экологические показатели.

- Сбор, хранение, обработку, анализ и распространение данных, необходимых для мониторинга и взаимодействия социальных, экономических и природных процессов и предложить альтернативные технологии, системы и модели устойчивого развития.

- Режиссура и координации системы экологической информации и работать в сотрудничестве с научными организаций, связанных с Министерством охраны окружающей среды, с корпорациями и другими субъектами SINA.

– Предоставление информационных услуг в сферах их компетенции для пользователей, которым требуется информация.

Цели миссии ИДЕАМ

– Генерация информации и знаний о природных возобновляемых ресурсах. Показатели окружающей среды.

– Экологическая информационная система.

– Мониторинг и отслеживание возобновляемых природных ресурсов.

– Предоставление услуг в авиационной метеорологии, гидрометеорологических сетей, физической лаборатории химии окружающей среды, прогнозов и предупреждений.

ИДЕАМ предоставляет информацию о расходах воды, уровнях, осадках и температуры, исключительно на платной основе.

Современное состояние гидрометеорологической службы можно разделить на две части:

а) Государственный сектор.

б) Частный сектор.

В государственном секторе имеются множество гидропостов, но, они находятся не в лучшем состоянии и, следовательно, имеются множество пропусков в рядах расходов воды и уровнях, особенно в 2000-х годах [2].

Частный сектор, имеет не столь развитую гидрологическую сеть, но, она современная и можно рассчитывать на достоверную информацию для различных проектов с которыми сотрудничают владельцы этой сети.



Рисунок 3 – Нивелирование нуля графика[2].

На рисунке 3 видно, как специалисты ИДЕАМ нивелируют ноль графика.

3 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КОЛУМБИИ

3.1 Общие сведения

Территория республики Колумбия (рисунок 4) расположена в северо-западном углу Южной Америки и имеет континентальную площадь 1,141,748 км² и морскую площадь 928,660 км². Колумбия является двадцать шестой по величине страной в мире и четвертое место в Южной Америке после Бразилии, Аргентины и Перу. Страна обладает суверенитетом в Карибском море, Тихом океане, джунгли Амазонки и в бассейне реки Ориноко и горах Анд. На рисунке 4 изображена детальная физическая карта Колумбии.



Рисунок 4 – Физическая карта Колумбии.

Республика Колумбия расположена в северной части Южной Америки, расположенный между большими тропическими лесами Амазонки, Панамы и Тихого и Атлантического океанов (из которых получает сильные климатические воздействия), а также территорию Колумбии пересекает большая Кордильера Андов, в результате чего страна имеет большое разнообразие климата и экосистем, многие из них собственные только стране. Его привилегированное положение исходит не только от того, что является единственной страной в Южной Америке, которая имеет два берега, Карибское море и Тихий океан (и, следовательно, обширный континентальный шельф), но и то, что она находится в середине Северной и Южной Америки, которая обеспечивает связь со всеми континентами.

Территория страны пересечена от экватора, тем самым разделив территорию в северном и южном полушариях. Из-за этих условий, Колумбии не страдает от времен года, которые не должны приносить с собой экстремальные температуры и ущерб, причиненный ими. Кроме того, его близость к Эквадору гарантирует важный сегмент геостационарной орбиты [3].

3.2 Гидрография Колумбии

Гидрография Колумбии является одной из самых богатых в мире. Ее основными реками являются реки Амазонка, Магдалена, Каука, Гуавьяре, Путумайо и Какета.

В Колумбии, реки расположены в пяти гидрографических областей: Карибское море, Тихий океан, в бассейне реки Амазонки, Ориноко и Кататумбо.

Карибский склонимеет площадь 363,878 км² и состоит из следующих бассейнов:

- Магдалена, речные бассейны системы Каука (270000 км²);
- Бассейна Аtrato (45000 км²);

- Бассейнах рек Сьерры Невада-де-Санта-Марта и Гуахира (30000 км²);
- Речной бассейн Сину (17000 км²);
 - Реки склона бассейна Тихого океана и ее притоки в общей сложности 88000 км² в общей сложности. Она состоит из следующих бассейнов:
- Бассейн реки Патия (24 000 км²)
- Бассейн реки Сан - Хуан (20 000 км²)
- Бассейн реки Мира (11 000 км²)
- Бассейн реки Баудо (8000 км²)
- Другие небольшие бассейны, в том числе Мисау и Гуапи (25000 км²).

Реки бассейна Ориноко

Бассейн реки Ориноко имеет площадь 328000 км², и состоит из следующих суббассейнов:

- Бассейн реки Гуавире (140000 км²)
- Бассейн реки Мета (112000 км²)
- Бассейн реки Вичада (26 000 км²)
- Бассейн реки Томо (20 000 км²)
- Бассейн реки Араука (колумбийская сторона) (8000 км²)
- Другие более мелкие бассейны (22 000 км²).

Бассейн реки Ориноко включает в себя крупные реки, как реки Ориноко, Гуавиаре, Мета, Инирида и реки с меньшей площадью водосбора, как Томо и Вичада. Большинство рек в этом аспекте родились в Восточном горном хребте и спускаются на равнину, где генерируют большие площади затопления.

Бассейн Амазонки.

Это самый большой бассейн в мире, часть этого бассейна принадлежит Колумбии, около 332,000 км², в этом бассейне находятся следующие суббассейны:

- бассейн реки Какэта (200000 км²)
- бассейн реки Путумайо (колумбийская сторона) (54000 км²)
- бассейн реки Ваупес (колумбийская сторона) (38 000 км²)
- Другие более мелкие бассейны (53000 км²)

Бассейн реки Кататумбо.

Река Кататумбо с площадью 18700 км², выливается в озеро Маракайбо, со следующими бассейнов: бассейн реки Зулия (Колумбийская часть) (4,800 км²) бассейн реки Зардината(3,400 км²). [3]

4 МЕТОДИКА ПРОГНОЗА РАСХОДОВ ВОДЫ

Производственные функции водозависимых отраслей экономики, отдельных предприятий и водопотребителей включают в себя наряду с трудовыми ресурсами и капиталовложениями также и природные ресурсы, от которых зависит выпуск продукции (безопасность эксплуатации сооружений, экологическая безопасность и т.п. – в зависимости от характера водопользования). Самым динамичным компонентом природных ресурсов является вода, точнее так называемые расчетные гидрологические характеристики, определяющие динамику речного стока (норма, коэффициенты вариации и асимметрии). Однако современный научный уровень гидрологии позволяет производить оценку указанных статистических характеристик только путем обработки фактически наблюдаемых рядов стока, что можно сделать в предположении их стационарности. Именно на этом предположении базируется нормативный документ в области гидрорасчетов СП 33-101-2003 [1]. Однако гипотеза квазистационарности оправдывается только в отношении рядов многолетнего речного стока (хотя и это ставится под сомнение в связи с антропогенным изменением климата). Что же касается внутригодовой динамики стока, то она очевидным образом является нестационарной. Однако в последнее время [4], предложены методы (основанные на стохастических дифференциальных уравнениях), позволяющие моделировать и (в принципе) прогнозировать нестационарные гидрологические случайные процессы, включая внутригодовую динамику.

Тем не менее до настоящего времени в подобных задачах используются модели, основанные на так называемых динамических закономерностях, игнорирующие элементы случайности в формировании стока. Ближайшим аналогом (прототипом) заявляемого исследования является методика, базирующаяся на программе дисциплины «Гидрологические прогнозы», утвержденной УМО гидрометеорологических специальностей

Госкомобразования СССР 31 января 1989 г. В этой методике для прогноза стока на интервал заблаговременности (сутки, декада) используются дифференциальные уравнения первого

$$\tau dQ/dt + Q/k = \dot{X} \quad (1)$$

или второго

$$\tau_2 d^2Q/dt^2 + (\tau_2/k\tau_1 + 1)dQ/dt + Q/k\tau_1 = \dot{X}/\tau_1 \quad (2)$$

порядков (здесь τ_i – время релаксации; Q – расход воды; k – коэффициент сока; $\dot{X}$ – интенсивность осадков; t – время).

Второе уравнение обобщает первое, если бассейн рассматривать как двухемкостную емкость [4]. Обозначим $c = 1/k$, $W_Q = \tau Q$. Тогда первое уравнение примет вид:

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{cQ^2}{W_Q} + \frac{Q\dot{X}}{W_Q} \quad (3)$$

В формировании стока участвуют два резервуара (рисунок 5):

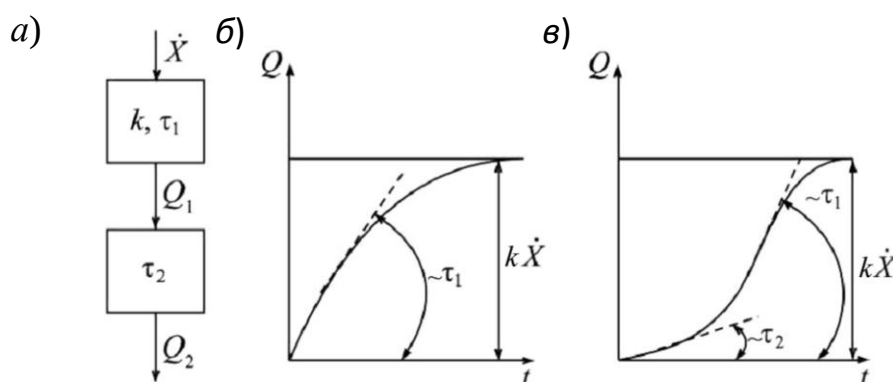


Рисунок 5 – Схема двухемкостной структуры формирования стока (а), реакция однoемкостной (б) и двухемкостной (в) модели на «ступенчатое» воздействие осадков (тангенсы углов наклона пропорциональны временам релаксации τ_1 и τ_2).

поверхностный (параметры k и $\tau = \tau_1$) и подземный, который в конечном итоге разгружается в реку с временем релаксации τ_2 . Балансовое уравнение для верхнего резервуара $dW_1 / dt = (\dot{X} - Q/k)$, учитывая, что $W_1 \approx \tau_1 Q_1$, запишем так:

$$\frac{dQ_1}{dt} = (\dot{X} - Q/k) / \tau_1. \quad (4)$$

Аналогично для второго резервуара ($dW_2 / dt = Q - Q_2$):

$$\frac{dQ_2}{dt} = (Q_1 - Q_2) / \tau_2. \quad (5)$$

Объединяя (4) и (5), получаем уравнение (2) (при $\tau_2 = 0$ естественно приходим к модели линейного формирующего фильтра (1)).

Из математики известно, что уравнение Риккати (3) может быть преобразовано в линейное однородное уравнение второго порядка. Именно таковым и является модель (2), если считать $\dot{X} = \text{const}$ и сделать подстановку $Q^* = Q - k\dot{X}$. Поэтому нелинейное обобщение модели линейного фильтра – это просто учет возможности влияния второй емкости. Решение обобщенного уравнения усложняется (рисунок 5, в). При стохастическом обобщении обе модели приводят к похожим асимметричным распределениям, хотя в случае нелинейной модели возникают нюансы и определенные проблемы.

Рассматриваемая методика обладает следующими недостатками:

- а) Она рассчитана на локальный прогноз (в фиксированном створе).
- б) Во многих случаях нужен прогноз не столько расходов воды, а уровней, так как от последних зависит динамика затапливаемых территорий.
- в) Прогноз делается на сутки (декаду, месяц), т. е. на один шаг дискретности, после которого осуществляется корректировка прогнозных величин измеренными значениями расхода с заданием новых осадков

(суточных, декадных и т. д.) на дату выпуска нового прогноза. На настоящее время подобное ограничение является излишним, так как в открытом доступе существуют Интернет-ресурсы (в виде, например, восьмисуточного прогноза полей осадков) позволяющие уйти от пошаговой корректировки.

г) Методикой не учитывается вероятностный характер прогнозируемой характеристики, на который ориентированы (в соответствии с рекомендациями СНиПов, ГОСТов и СП) потребители прогностической информации.

д) В рамках подобной (строго детерминистической) методики невозможно (даже в принципе) предсказывать катастрофы (в смысле, которой вкладывает в это понятие, нелинейная динамика). В то же самое время «толстые хвосты» вероятностных распределений (катастрофа по дисперсии) обычное явление в гидрологии. Для ликвидации последних необходимо расширение прогнозируемого фазового пространства (привлечение наряду с расходами еще других характеристик). Подобное расширение требует проведение фрактальной диагностики для определения числа фазовых переменных, позволяющих устойчиво прогнозировать динамику стока [4].

4.1 Ресурсная информация и методика динамического фонового прогноза изменения водности для бассейнов Колумбии

Для формирования базы данных с целью разработки методики динамического фонового прогноза были использованы следующие: База данных Гидрометеорологической службы Колумбии. В таблице 1 представлена информация о гидрологических постах в бассейнах Колумбии.

В ниже указанной таблице указаны географическое расположение гидрологических станций, площадь водосбора, а также высота нуля графика над уровнем моря.

Таблица 1 – Гидрологические посты в речных бассейнах Колумбии

Станция	Координаты		Река	Высота нуля графика	Площадь водосбора, км ²
	долгота	широта			
Перикогно	–75.85	2.0532	Магдалена	839	3512
Мерида	–73.16	6.4447	Фонсе	1180	1580
Ла Муралья	–75.47	3.4841	Салдана	522	4446

Для прогноза используется модель склонового стока с сосредоточенными параметрами:

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{1}{k\tau}Q + \frac{\dot{X}}{\tau}, \quad (6)$$

где Q – расход (модуль, слой) стока;

$\dot{X}$ – интенсивность осадков;

k – коэффициент стока;

τ – время релаксации (добегания).

Конечно-разностная схема для этой модели выглядит следующим образом:

$$\frac{Q_{i+1} + Q_i}{\Delta t} = -\frac{1}{k\tau}Q_i + \frac{\dot{X}_i}{\tau}, \quad (7)$$

где i – расчетный момент времени;

Δt – интервал по времени.

Легко выводится выражение для нахождения расхода воды в следующий момент времени:

$$Q_{i+1} = \left(-\frac{1}{k\tau}Q_i + \frac{\dot{X}_i}{\tau}\right)\Delta t - Q_i. \quad (8)$$

Методика оптимизации коэффициента стока и времени добегания заключается в следующем.

а) Рассчитывается допустимая погрешность:

$$\delta_{\text{доп}} = \pm 0,674\sigma_{\Delta}, \quad (9)$$

где σ_{Δ} – среднее квадратическое отклонение изменения прогнозируемой величины за период заблаговременности прогноза от среднего значения этого изменения:

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}} \quad (10)$$

где Δ_i – изменение прогнозируемой величины за период заблаговременности прогноза;
 $\bar{\Delta}$ – среднее значение этих изменений;
 n – число изменений.

Заблаговременность краткосрочных прогнозов времени наступления гидрологических явлений (водных и ледовых) определяется периодом от даты выпуска прогноза до указанной в прогнозе даты. В нашем случае заблаговременность равняется 1 суткам.

б) Оценивается оправдываемость отдельного прогноза. Прогноз считается оправдавшимся, если абсолютная величина его погрешности меньше или равна допустимой [5].

в) Оценивается эффективность методики. Мерой точности методики прогнозирования является средняя квадратическая погрешность проверочных прогнозов, вычисляемая по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{n - m}} \quad (11)$$

где y_i и y'_i – соответственно фактическое и предсказанное значения;

n – число членов ряда;

m – число степеней свободы, равное числу постоянных в прогностическом уравнении.

За критерий применимости и качества методики принимается отношение S/σ .

Погрешности определения S и σ зависят и от числа членов ряда n , поэтому учитываются следующие условия применимости методик прогнозирования:

при $n \leq 15$ $S/\sigma \leq 0.70$,

при $15 < n < 25$ $S/\sigma \leq 0.75$,

при $n \geq 25$ $S/\sigma \leq 0.80$.

г) Определяется обеспеченность методики:

$$P = \frac{n'}{n} * 100, \quad (12)$$

где n' – число оправдавшихся прогнозов.

г) За оптимальные значения коэффициента стока и времени добегания принимаются те значения, с которыми при поверочном прогнозе получены минимальное соотношение S/σ и максимальная величина P . [5]

В данной работе был использован достаточно распространенный критерий оценки эффективности по всему миру, критерий Нэша.

Критерий Нэша изменяется от $-\infty$ до 1,0 включительно. В гидрологии, в частности в гидропрогнозах критерий Нэша меняется от 0 до 1,0 включительно, в случае, когда критерий дает отрицательные значения можно сказать, что методика не эффективна. Для гидрологического прогнозирования на основе динамической модели, критерий Нэша должен быть $> 0,4$ для положительной оценки эффективности [6].

$$Nash = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \right], \quad (13)$$

где Y_i^{obs} – фактическое значение

Y_i^{sim} – прогнозное значение

Y^{mean} – среднее значение совокупного фактического ряда

n – длина ряда

Для того чтобы прогнозировать по модели (1) значения расходов воды мало знать оптимизированные значения коэффициента стока и времени добегания по предшествующим 30 суткам, необходимо еще знание прогнозного хода осадков. Известны, по крайней мере, три адреса доступных Интернет-ресурсов (<http://www.westwind.ch>; <http://www.gismeteo.ru>; <http://www.wetterzentale.de>), в которых имеется информация о прогнозных осадках.

Требования, предъявляемые к информации об осадках на сайтах Интернета: возможность получения количества осадков в точке на местности, определенной широтой и долготой; возможность получения динамики полей осадков (в мм слоя); достоверность прогнозных значений осадков.

Всем перечисленным требованиям в наибольшей степени удовлетворяет сайт [westwind.ch](http://www.westwind.ch). К тому же на сайте [gismeteo.ru](http://www.gismeteo.ru) есть возможность получения

только осадков для крупных населенных пунктов. А домен wetterzentale.de к моменту написания данного отчета выставлен на продажу, это говорит о переориентировке или закрытии этого сайта (доступ к данным пока отсутствует).

Рассмотрим технологию получения данных об осадках с сайта westwind.ch.

а) На рисунке 6 показана главная страница сайта. На этой же странице можно ознакомиться с алгоритмами, по которым рассчитываются прогнозные значения метеорологических показателей.

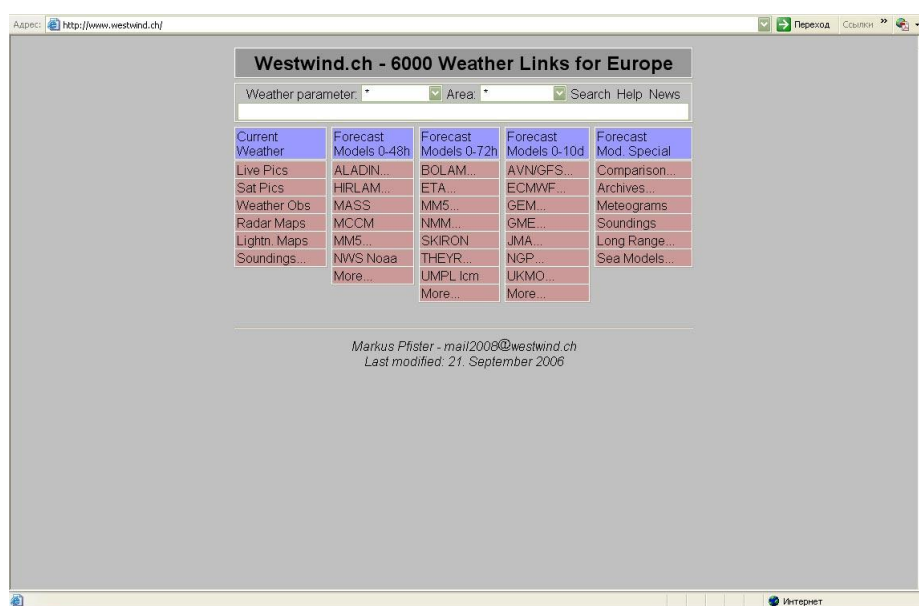


Рисунок 6 – Главная страница сайта westwind.ch.

б) На странице, показанной на рисунке 76 можно выбрать любую точку земного шара путем наведения курсора на карту. Имеется возможность получения прогнозных характеристик через 2, 3 и 8 суток.

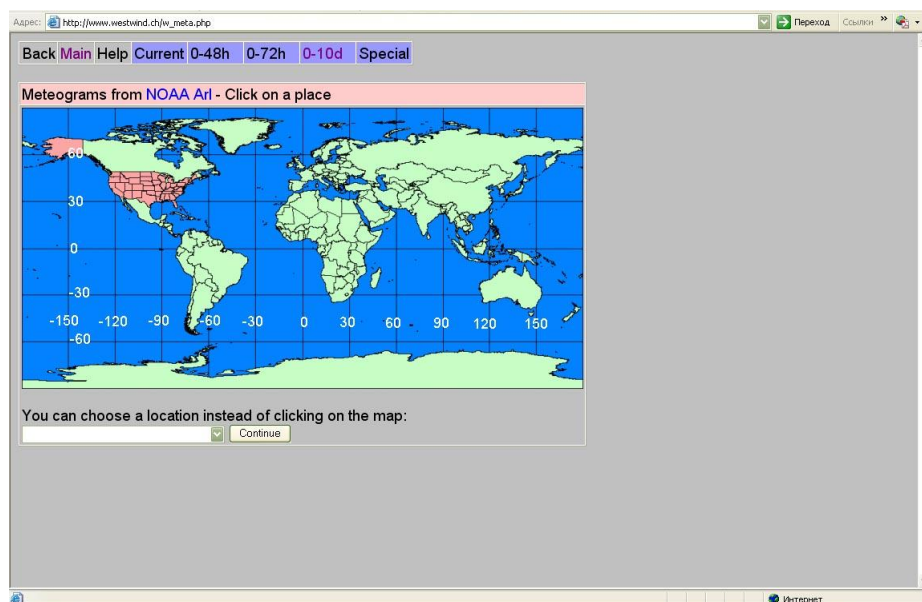


Рисунок 7 – Страница с возможностью выбора любой точки на Земле для получения прогнозных метеохарактеристик.

в) На рисунке 8 показана страница для ввода широты и долготы интересующей точки, а также различные предварительные параметры прогноза.

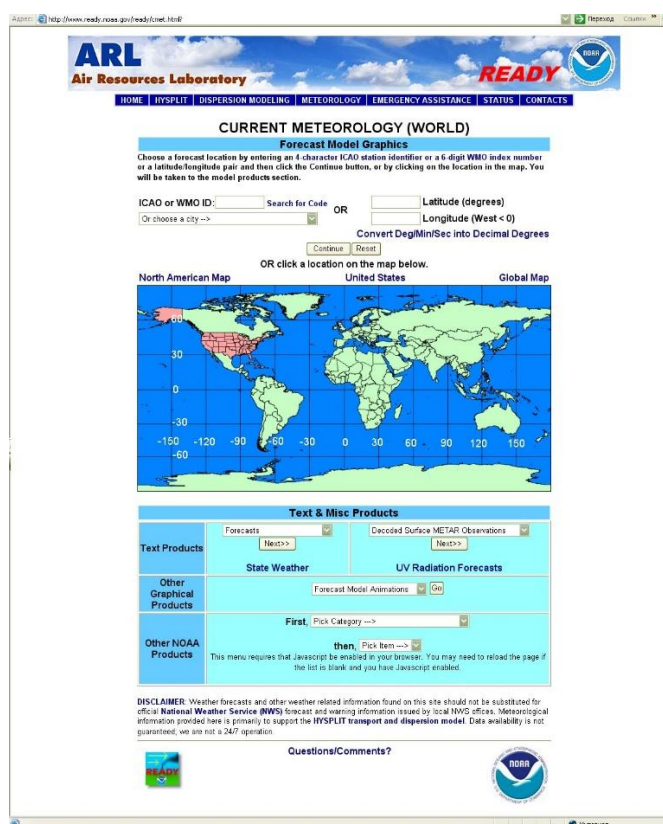


Рисунок 8 – Страница с окнами для ввода широты и долготы.

г) На рисунке 9 показана страница, которая появляется после ввода географических координат на предыдущей странице и на которой конкретизируются параметры прогноза, в том числе выставляется максимальная заблаговременность. Эта страница отличается еще тем, что требует ввода подтверждающего кода. Обычно подобные окна на сайтах делаются для исключения автоматического получения информации вредоносными программами. Но это затягивает работу с сайтом, т. е. для каждой точки необходимо будет вводить код в соответствующее поле.

Рисунок 9 – Страница с конкретными параметрами прогноза.

д) Можно получить прогнозные значения метеорологических характеристик в виде графиков или в виде текстового файла (рисунки 2.5, 2.6).

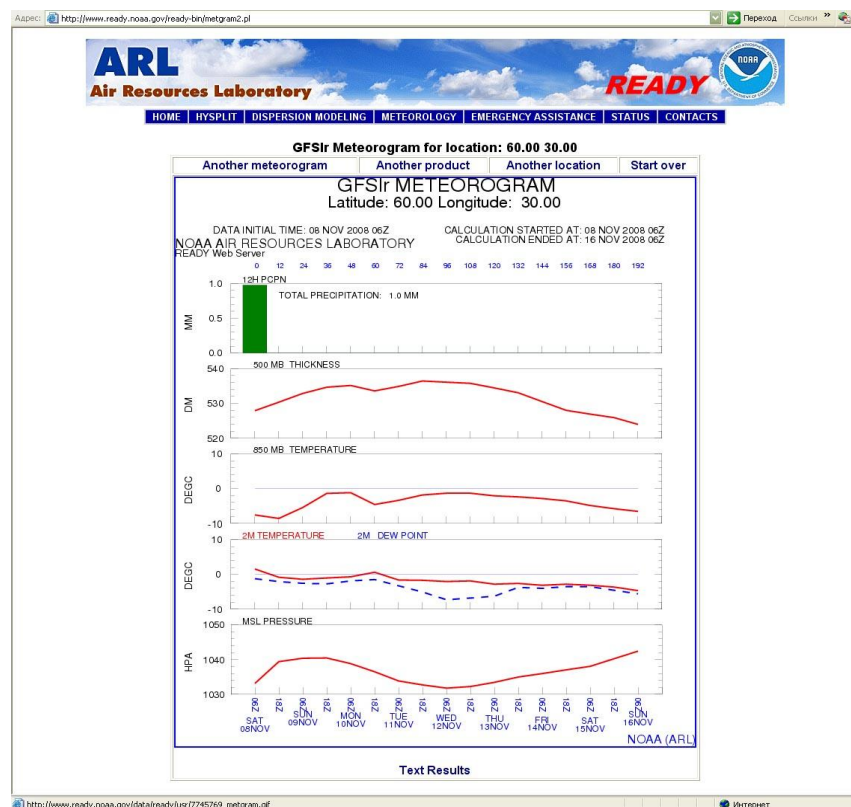


Рисунок 10 – Страница с результатами по запросу в виде графиков.

Готово

Интернет

Адрес: http://www.ready.noaa.gov/data/ready/jur/7745769_METGRAM.TXT

GFS1c#
Latitude: 60.00 Longitude: 30.00 &
DATA INITIAL TIME: 08 NOV 2008 06Z &
CALCULATION STARTED AT: 08 NOV 2008 06Z &
HOURS OF CALCULATION: 192 &

FIELD LEVEL UNITS	MSL PRESSURE HPA	TEMPERATURE 2M DEGC	DEW POINT 2M DEGC	TEMPERATURE 850 MB DEGC	THICKNESS 500 MB DM	HEIGHT 500 MB DM	12H PCPN MM
+ 0.	1033.1	1.6	-1.2	-7.6	527.9	554.1	0.98
+ 12.	1039.4	-0.8	-2.1	-8.6	530.3	561.1	0.00
+ 24.	1040.4	-1.4	-2.6	-5.4	532.9	564.5	0.00
+ 36.	1040.5	-1.0	-2.7	-1.4	534.6	566.5	0.00
+ 48.	1038.8	-0.7	-1.9	-1.2	535.1	565.8	0.00
+ 60.	1036.5	0.6	-1.5	-4.6	533.6	562.4	0.00
+ 72.	1033.9	-1.6	-3.3	-3.4	534.9	561.7	0.00
+ 84.	1032.7	-1.7	-5.1	-1.9	536.4	562.3	0.00
+ 96.	1031.8	-2.0	-7.3	-1.4	536.1	561.3	0.00
+108.	1032.2	-1.9	-6.8	-1.4	535.8	561.5	0.00
+120.	1033.4	-2.8	-6.3	-2.1	534.4	560.8	0.00
+132.	1035.0	-2.6	-3.7	-2.4	533.0	560.9	0.00
+144.	1036.0	-3.1	-4.0	-2.9	530.5	559.2	0.00
+156.	1037.0	-2.8	-3.5	-3.5	528.0	557.3	0.00
+168.	1038.0	-3.1	-3.5	-4.9	526.9	556.8	0.00
+180.	1040.2	-3.6	-4.6	-5.8	525.9	557.2	0.00
+192.	1042.4	-4.7	-5.6	-6.6	524.0	556.7	0.00

Рисунок 11 – Страница с результатами по запросу в виде таблицы со значениями через каждые 12 часов до 192 часов (8 суток).

Для расчетов удобнее использовать прогнозы в виде таблицы. Можно копировать информацию прямо со страницы и вставлять в приложение электронные таблицы *Excel* (рисунок 12).

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2		Latitude:	59.7	Longitude:	31.1	&							
3		DATA INITIAL TIME:	2	APR	2008	06Z							
4		CALCULATED START TIME:	2	APR	2008	06Z							
5		HOURS OF	CALCULATED	192	&								
6													
7	FIELD	MSL	PRESSURE	TEMPERATURE	DEW POINT	TEMPERATURE	THICKNESS	HEIGHT	12H	PCPN			
8	LEVEL	2M	2M	850 MB	500 MB	500 MB							
9	UNITS	HPA	DEGC	DEGC	DM	DM	MM						
10		HR											
11	+	0	1023.4	-4.2	-3.6	0.6	536.5	555.3	0.53				
12	+	12	1023.5	-3.8	-3	-4.1	533.1	552.2	0				
13	+	24	1023	-1.9	-1.1	-7.3	526	544.4	0				
14	+	36	1020.7	-1	0.1	-7.7	521.7	538.3	0.64				
15	+	48	1018.8	-0.5	-2.2	-10.7	517.5	532.5	1.26				
16	+	60	1019.9	-2.4	-5	-12.9	517	532.7	0.09				
17	+	72	1014.8	-3.1	-7.8	-11.5	517.9	529.6	0				
18	+	84	1006.7	-2.6	-6.6	-11.1	520.2	525.3	0				
19	+	96	1004.9	-3.9	-8.1	-11.5	518.5	522.3	0.08				
20		108	1006.7	-3.8	-8.4	-12.8	518.2	523.4	0.14				
21		120	1007	-5.2	-10.9	-14.9	513.2	518.7	0.11				
22		132	1006.2	-4.8	-9.7	-14.3	511.8	516.6	0				
23		144	1006.6	-4.5	-9.7	-15.1	511.1	516.4	0				
24		156	1004	-2.4	-10.3	-11.8	513	516	0				
25		168	1001.7	-1.4	-5.4	-11.3	512.9	514.5	0.14				
26		180	1001.2	-1.9	-2.8	-9	517.5	518.7	1.81				
27		192	1001.6	-1.2	-2.9	-8.1	520.2	521.5	0.05				
28													
29		GFSI#											
30		Latitude:	59.5	Longitude:	30.6	&							
31		DATA INITIAL TIME:	2	APR	2008	06Z							
32		CALCULATED START TIME:	2	APR	2008	06Z							
33		HOURS OF	CALCULATED	192	&								
34													
35	FIELD	MSL	PRESSURE	TEMPERATURE	DEW POINT	TEMPERATURE	THICKNESS	HEIGHT	12H	PCPN			
36	LEVEL	2M	2M	850 MB	500 MB	500 MB							
37	UNITS	HPA	DEGC	DEGC	DM	DM	MM						
38		HR											
39	+	0	1023.4	-4	-3.4	0.5	536.6	555.4	0.65				
40	+	12	1023.6	-3.4	-2.6	-4.1	533.2	552.4	0				
41	+	24	1023.1	-1.8	-1.1	-7	526.1	544.6	0				
42	+	36	1020.8	-1.1	0.3	-7.5	522.1	538.8	0.77				
43	+	48	1018.7	-0.3	-1.8	-10.3	517.9	532.9	1.71				
44	+	60	1020	-2.3	-4.6	-12.6	517.2	533	0.21				
45	+	72	1014.8	-3	-7.5	-11.3	518.2	529.9	0				
46	+	84	1006.2	-2.5	-6.2	-10.9	520.8	525.6	0				
47	+	96	1004	-3.6	-7.5	-11.3	519	522.2	0.18				
48		108	1006.1	-3.6	-8	-12.4	518.6	523.3	0.31				
49		120	1006.7	-5	-10.4	-14.9	513.6	519	0.1				
50		132	1006.2	-4.8	-9.5	-14	512.5	517.3	0				
51		144	1006.5	-4.4	-9.6	-14.9	511.6	516.7	0				

Рисунок 12 – Таблицы прогнозных метеохарактеристик в Excel.

Конечно-разностная схема двухъямкостной модели выглядит следующим образом:

$$\tau_2 \frac{Q_{i+1} - 2Q_i + Q_{i-1}}{\Delta t^2} + \left(\frac{\tau_2}{k\tau_1} + 1 \right) \left(\frac{Q_{i+1} - Q_i}{\Delta t} \right) + \frac{1}{k\tau_1} Q_i = \frac{\dot{X}_i}{\tau_1}, \quad (13)$$

где i – расчетный момент времени;

Δt – интервал по времени.

Алгоритм прогноза:

$$Q_{i+1} = \frac{(X_i / \tau_i - Q_i / k\tau_1) \Delta t^2 + Q_i ((\tau_2 + k\tau_1) / k\tau_1 + 2\tau_2) - \tau_2 Q_{i-1}}{(\tau_2 + (\tau_2 + k\tau_1) / k\tau_1)}. \quad (14)$$

Для визуализации полученных результатов использовались программы ArcView.

4.2 Программное обеспечение

Для алгоритма обработки данных была создана программа, внешний вид которой представлен ниже.

Программа, рассчитывает по выражению (14) и определяет оптимальные параметры[5].

Гидрологическая модель

Input Data :

Name River : Río Negro

Area (Km2) : 3115

X : /home/Fabian/Documents/ПТ Select X

Q : /Q31Jan2009Colorados.dat Select Q

Plot Data

Parametrisation :

Model I Model II Model III

Parameters

	Min			Max			N ₂		
K :	0	—	+	5	—	+	10	—	+
tau :	0	—	+	5	—	+	10	—	+

Generals options

Delta t = 1 — + t Param = 10 — +

t forecast = 1 — +

Results

K = --- tau = --- S/SDelta = 1.260 P = 51.61 %Nash = 0.112

Opt. t Para Calculate Caluculate t fore Plot

Forecast :

☐ Model I ☐ Model II ☐ Model III

k = 0.00 — + Area = 3115

tau 1 = 0.00 — + X: Select X

tau 2 = 0.00 — + Q: Select Q

t forecast = 1 — + delta t = 1 — + Calculate

Рисунок 13 – Окно расчета программы.

Данная программа просит внести значения осадков, расходов и площади водосбора, после этого происходит расчет прогнозных значений, а также и расчет оценок эффективности.

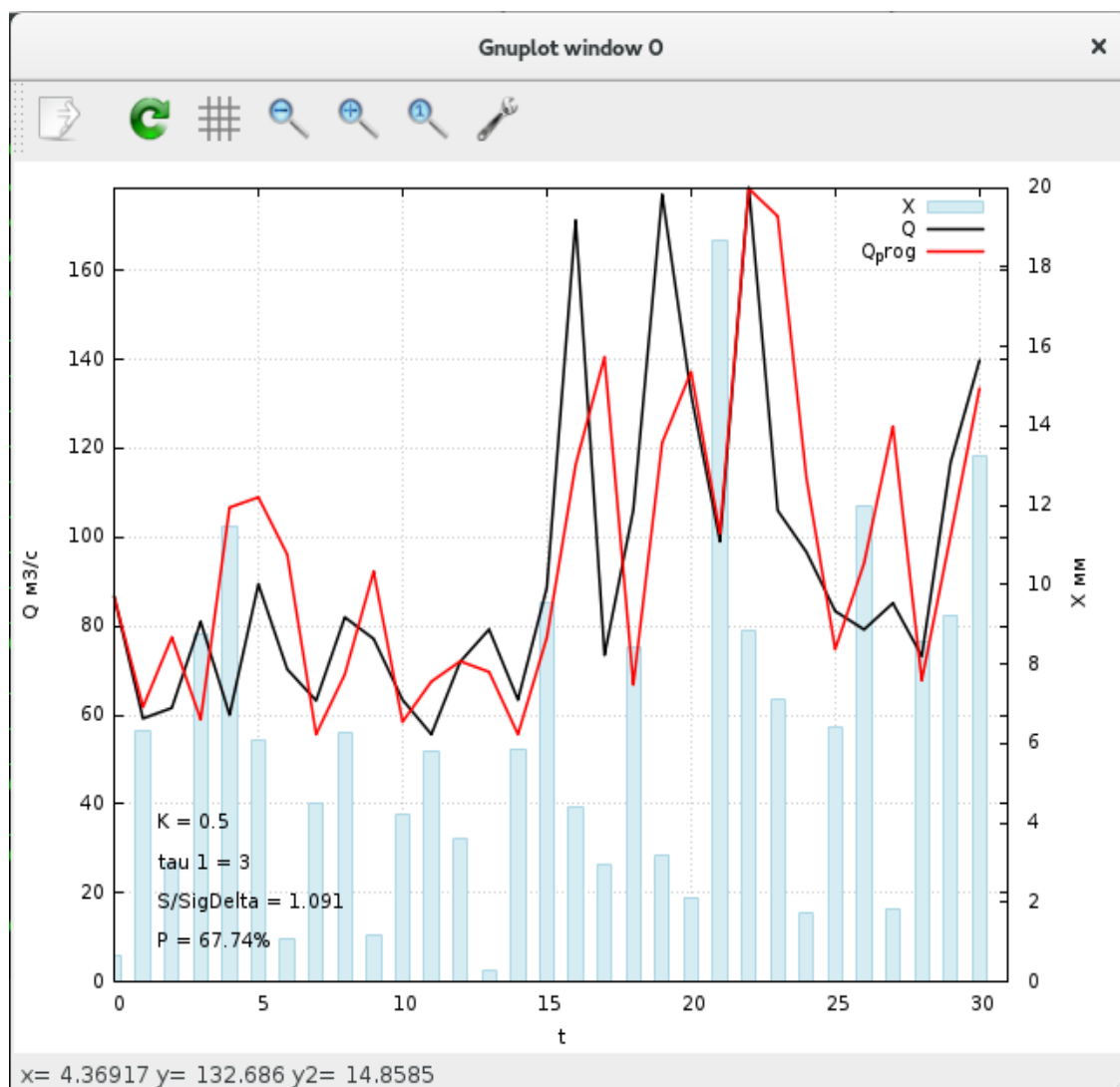


Рисунок 14 – Вывод результатов в виде графика.

Программа выводит результаты в графической форме как представлено на выше указанном рисунке.

5 МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ

Во многих практических случаях важны не прогнозные расходы (пусть даже фоновые, по огромной территории и в динамике на 8 суток вперед), а уровни воды, от которых зависит подтопление дорог, населенных пунктов, мостов и т.п. (хотя и прогноз низких уровней не менее важен, т. к. ими могут лимитироваться экологические показатели, оголения водозаборов и т. д.).

При использовании для прогноза расхода уравнения (1) мы используем ежедневные расходы воды как для обеспечения математической корректности самого прогноза (задание начального условия), так и для сравнения прогнозных значений с фактическими (а также при оптимизации параметров k и τ). Но ведь реально расходы измеряют только несколько десятков за год. Для получения же ежедневных их значений пользуются всевозможными косвенными методами учета стока, в основном зависимостью расхода от уровня $Q = f(H)$. Потому для того, чтобы перейти от расхода к уровню достаточно в моделях (1) и (2) вместо расхода подставить функции $f(H)$ [5]:

$$\frac{df(H)}{dt} = -\frac{1}{k\tau} f(H) + \frac{\dot{X}}{\tau}. \quad (15)$$

Рассмотрим в качестве примера р. Магдалена – пост Перикогно. График зависимости $Q = f(H)$ представлен на рисунке 15.

Аппроксимирующая зависимость, полученная методом наименьших квадратов ($R^2 = 0.99$) имеет вид:

$$H = -9E-05Q^2 + 0,4578Q + 58,653. \quad (16)$$

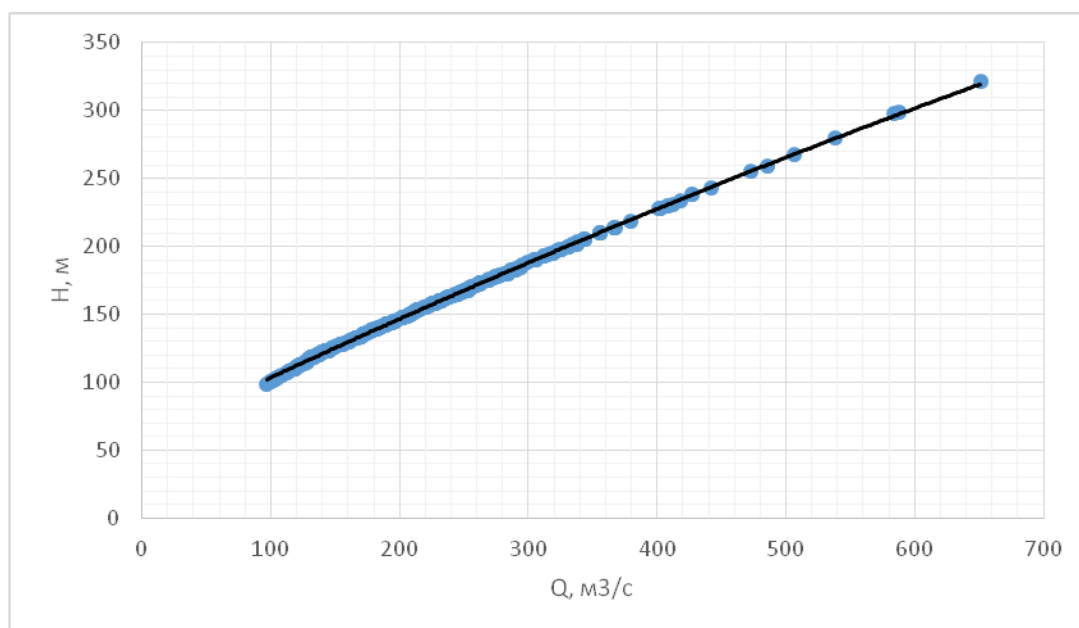


Рисунок 15 – График зависимости $Q = f(H)$.

Подставляя это выражение в прогностическое уравнение (15) получим алгоритм прогноза уровней воды:

$$f(H_{i+1}) = f(H_i)/(k\tau) + \dot{X}_{i+1}/\tau. \quad (17)$$

Методика его использования ничем не отличается от предыдущей. Однако, имея фоновый прогноз уровней и используя ту же самую ГИС-технология, можно строить прогнозные карты, показывающие динамику затопляемых или осушаемых площадей. Это позволяет информировать потребителей не просто о динамике ожидаемых расходов, а о реально угрожаемых территориях и степени этой угрозы [5].

5.1 Формирования базы данных

Для формирования базы данных были взяты данные гидрометеорологической службы Колумбии за 2000 год. Были построены хронологические графики расходов воды, а также осадков.

Таблица 2 – База данных для гидрологической станции Перикогно

Дата	X , мм	$Q_{\text{факт}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	$H_{\text{факт}}$, м
01.01.2000	1.5	76.4	117
02.01.2000	1.2	71.6	113
03.01.2000	0.2	67.4	110
04.01.2000	2	71.6	113
05.01.2000	1.8	68.6	111
06.01.2000	15.4	66.4	109
07.01.2000	11.4	68	110
08.01.2000	2.6	191	190
09.01.2000	5.2	121.6	151
10.01.2000	5.2	101.1	137
11.01.2000	3.8	134.4	159
12.01.2000	3.6	115.5	147
13.01.2000	1.1	95.3	133
14.01.2000	1.5	78.8	119
15.01.2000	5.8	77	118
16.01.2000	7.6	111.8	144
17.01.2000	11.3	117.3	148
18.01.2000	0.4	167.2	178
19.01.2000	6	107.1	141
20.01.2000	3	84.8	124
21.01.2000	3.6	163.5	165
22.01.2000	1.6	150.3	168
23.01.2000	0	93.5	131
24.01.2000	0	79.4	120
25.01.2000	1.4	69.2	111

Дата	X , мм	$Q_{\text{факт}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	$H_{\text{факт}}$, м
26.01.2000	4.1	66.9	109
27.01.2000	22.1	83.9	123
28.01.2000	3.3	171	180
29.01.2000	7	129.6	156
30.01.2000	19.6	202.5	195
31.01.2000	7.3	259	220
01.02.2000	2.1	210.5	199
02.02.2000	1.2	206.5	197
03.02.2000	3.2	155.5	170
04.02.2000	2.8	183.9	186
05.02.2000	2.5	102.4	138
06.02.2000	0.1	103.9	139
07.02.2000	0	101.1	137
08.02.2000	0.2	80	120
09.02.2000	0	66.9	109
10.02.2000	1	72.8	114
11.02.2000	0	65.8	108
12.02.2000	0.1	59.2	102
13.02.2000	1.1	57.5	101
14.02.2000	0	57	100
15.02.2000	0	62.5	105
16.02.2000	10.1	57	100
17.02.2000	5.7	67	109
18.02.2000	6.7	77.6	118
19.02.2000	3.5	76.4	117

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м
20.02.2000	2.1	71.7	113
21.02.2000	16.3	74	115
22.02.2000	5.6	168.2	177
23.02.2000	14.8	130	156
24.02.2000	6.8	150.7	169
25.02.2000	16.7	161.5	175
26.02.2000	8.9	220.6	202
27.02.2000	7.5	257	217
28.02.2000	4.8	229.3	208
29.02.2000	6.4	215	200
01.03.2000	1.9	246.5	215
02.03.2000	11.6	191	190
03.03.2000	6.7	171	180
04.03.2000	7	171	180
05.03.2000	4.1	187.5	188
06.03.2000	5.7	152	170
07.03.2000	15.1	120	150
08.03.2000	1	136	160
09.03.2000	2.6	152	170
10.03.2000	1	135.7	159
11.03.2000	0.3	93.3	131
12.03.2000	4	89.7	128
13.03.2000	0.9	105.2	139
14.03.2000	0.1	80	120
15.03.2000	0	91.3	129
16.03.2000	0.3	81.2	121
17.03.2000	5	72.8	114

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м
18.03.2000	7	80	120
19.03.2000	7.9	84.8	124
20.03.2000	2.7	90.8	129
21.03.2000	1.6	90.9	129
22.03.2000	0.1	73.4	115
23.03.2000	17.9	89.2	126
24.03.2000	29.8	86	125
25.03.2000	12.4	464.2	279
26.03.2000	5.9	255.8	217
27.03.2000	26.4	134.4	159
28.03.2000	4.7	337.5	245
29.03.2000	1	221.4	201
30.03.2000	0.6	137.6	161
31.03.2000	1.4	165.1	176
01.04.2000	0.4	129.9	156
02.04.2000	1.7	97.2	134
03.04.2000	4.9	86	125
04.04.2000	18.3	86	125
05.04.2000	5.9	182	186
06.04.2000	1.1	166.3	177
07.04.2000	2.4	122.3	151
08.04.2000	1.2	132.2	158
09.04.2000	1.1	122.3	151
10.04.2000	1.5	105	140
11.04.2000	0.8	97.2	134
12.04.2000	11.1	84.8	124
13.04.2000	6	174.1	178

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м
14.04.2000	9.7	197	190
15.04.2000	15.9	149.1	168
16.04.2000	6.4	196.2	191
17.04.2000	4.6	185.6	186
18.04.2000	16.3	136.3	160
19.04.2000	4.3	233.7	206
20.04.2000	4.5	249.7	216
21.04.2000	2.1	156.9	172
22.04.2000	3.5	131.4	157
23.04.2000	4.2	116	147
24.04.2000	3.5	138.9	162
25.04.2000	2.1	129.9	156
26.04.2000	2.6	118	149
27.04.2000	3.9	183.6	185
28.04.2000	12.5	121.1	151
29.04.2000	4.6	185.9	185
30.04.2000	2.1	213.6	200
01.05.2000	3.2	149.8	168
02.05.2000	6.7	129	156
03.05.2000	10.9	133.8	159
04.05.2000	8.6	183	178
05.05.2000	4.7	370.8	248
06.05.2000	9.2	170.2	180
07.05.2000	3	177.1	183
08.05.2000	2.7	155.8	172
09.05.2000	11.5	170.9	180
10.05.2000	12.2	214.1	200

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м
11.05.2000	4.7	255.3	217
12.05.2000	1.6	180.4	184
13.05.2000	4.4	145.4	166
14.05.2000	5.6	142	164
15.05.2000	2.1	175.6	181
16.05.2000	6.4	140.6	163
17.05.2000	7.4	137.6	161
18.05.2000	14.5	431	255
19.05.2000	5.2	492.5	285
20.05.2000	30.6	244	211
21.05.2000	9.6	930	395
22.05.2000	25.1	323.5	240
23.05.2000	27.7	710	340
24.05.2000	22.1	910	390
25.05.2000	11.8	730	345
26.05.2000	7.2	376.8	257
27.05.2000	17.9	348	249
28.05.2000	13.5	510	290
29.05.2000	6.1	468	280
30.05.2000	3.9	333.5	245
31.05.2000	4.1	311	235
01.06.2000	1.5	253.5	218
02.06.2000	1.3	231.3	208
03.06.2000	0.3	165.3	177
04.06.2000	1.8	145.6	166
05.06.2000	0.6	145.6	166
06.06.2000	0.8	129.6	156

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м
07.06.2000	2.8	112.1	144
08.06.2000	8.9	128	155
09.06.2000	3.1	149.4	168
10.06.2000	1.9	157.7	173
11.06.2000	8	114	146
12.06.2000	2.6	140.8	163
13.06.2000	2.1	145.9	166
14.06.2000	1.1	118.7	149
15.06.2000	4.8	106.7	141
16.06.2000	17.9	319	235
17.06.2000	5.2	710	340
18.06.2000	0.5	276	225
19.06.2000	2.6	189.6	189
20.06.2000	3.5	136	160
21.06.2000	5.3	153.1	169
22.06.2000	8.9	181.6	185
23.06.2000	3.8	501.8	288
24.06.2000	13.2	330	240
25.06.2000	6.7	220.9	204
26.06.2000	5.1	240.3	213
27.06.2000	7.8	214.5	200
28.06.2000	2.4	189	189
29.06.2000	1.3	147.8	167
30.06.2000	0.9	134.4	159
01.07.2000	1.1	144.6	165
02.07.2000	1.8	103.7	139
03.07.2000	2.2	140.8	163

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м
04.07.2000	5.5	139.2	162
05.07.2000	6.6	201.5	195
06.07.2000	2.7	292.6	232
07.07.2000	1.1	201.5	195
08.07.2000	0.5	134.4	159
09.07.2000	1.1	111	144
10.07.2000	0.6	97.2	134
11.07.2000	7	90.8	129
12.07.2000	2.9	90.8	129
13.07.2000	11.5	148.8	168
14.07.2000	2.9	293	230
15.07.2000	0.1	310.2	237
16.07.2000	0.2	167.4	178
17.07.2000	2.5	117.2	148
18.07.2000	1.1	99.8	136
19.07.2000	15.9	144	165
20.07.2000	4.5	300	230
21.07.2000	3.3	197	193
22.07.2000	2	163.5	176
23.07.2000	0.2	159.1	173
24.07.2000	1.7	141.7	163
25.07.2000	6.2	126.5	154
26.07.2000	4	250.2	215
27.07.2000	1.7	320.7	237
28.07.2000	1.1	162.5	176
29.07.2000	1.9	123.5	152
30.07.2000	0.5	131.2	157

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м
31.07.2000	0	109.7	143
01.08.2000	0.7	98.5	135
02.08.2000	8.6	90.8	129
03.08.2000	9.7	128.4	153
04.08.2000	3.5	249.5	215
05.08.2000	1.2	198.7	193
06.08.2000	1.4	145.6	166
07.08.2000	4.1	123.7	152
08.08.2000	2.9	139.8	162
09.08.2000	11.7	146.5	166
10.08.2000	6.8	194.9	191
11.08.2000	1.4	239	210
12.08.2000	2.6	171.5	180
13.08.2000	4.2	106.7	141
14.08.2000	4.6	99.8	136
15.08.2000	14.5	101.1	137
16.08.2000	7.9	452.5	263
17.08.2000	6.5	449	275
18.08.2000	10.5	241.1	211
19.08.2000	7.1	414.5	263
20.08.2000	7.9	293.7	227
21.08.2000	3.2	165.3	177
22.08.2000	5.5	159.6	174
23.08.2000	6.3	246.5	215
24.08.2000	14.8	235.5	210
25.08.2000	12.8	452	270
26.08.2000	7.2	509	290

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м
27.08.2000	11.6	268.3	220
28.08.2000	4.7	353.5	250
29.08.2000	5.4	243.2	212
30.08.2000	5.7	253.7	216
31.08.2000	13.2	147.2	167
01.09.2000	1.3	452.5	275
02.09.2000	2.3	182	185
03.09.2000	3.6	137.6	161
04.09.2000	9.4	142.5	163
05.09.2000	1.6	233.4	209
06.09.2000	4.9	128	155
07.09.2000	2.5	138.3	161
08.09.2000	5.8	162.3	175
09.09.2000	1.9	117.1	148
10.09.2000	4.1	109.5	143
11.09.2000	0.2	131.2	157
12.09.2000	0.6	108	142
13.09.2000	0.6	96.6	134
14.09.2000	1.1	94.6	132
15.09.2000	1	92	130
16.09.2000	5	83.6	123
17.09.2000	5.8	83.6	123
18.09.2000	0.8	139.2	162
19.09.2000	1.3	120.3	150
20.09.2000	2	133	158
21.09.2000	2.1	93.4	131
22.09.2000	5.1	81.2	121

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м
23.09.2000	8.1	155.8	164
24.09.2000	4.3	150.3	168
25.09.2000	9.7	130	156
26.09.2000	6.8	358.6	239
27.09.2000	0.5	202.5	195
28.09.2000	0.9	149.7	168
29.09.2000	1.5	103.9	139
30.09.2000	0.4	89.6	128
01.10.2000	1	103.6	138
02.10.2000	6	136.7	159
03.10.2000	2	92.8	131
04.10.2000	0.6	84.2	124
05.10.2000	0.9	81.2	121
06.10.2000	3	84.8	124
07.10.2000	5.8	115.5	147
08.10.2000	1.9	99.8	136
09.10.2000	6	122	151
10.10.2000	8.5	208.1	198
11.10.2000	2	216.7	202
12.10.2000	1.4	132.8	158
13.10.2000	4.8	101.5	137
14.10.2000	6.5	92.3	130
15.10.2000	4.9	137.6	161
16.10.2000	4.2	198.7	193
17.10.2000	5.3	183.9	186
18.10.2000	2.6	113.3	146
19.10.2000	1.2	155.1	171

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м
20.10.2000	3.1	111.2	144
21.10.2000	2.2	108.6	142
22.10.2000	2.1	103.9	139
23.10.2000	2.9	90.8	129
24.10.2000	7.4	113.3	146
25.10.2000	11.7	122.2	151
26.10.2000	21.7	149.1	168
27.10.2000	5.3	570	305
28.10.2000	3.1	219.5	200
29.10.2000	1.2	111.8	145
30.10.2000	1	121.6	151
31.10.2000	9.9	316.7	237
01.11.2000	2.7	233.6	206
02.11.2000	3.2	185.4	187
03.11.2000	0.8	130	156
04.11.2000	1.2	98.5	135
05.11.2000	1.3	97.2	134
06.11.2000	2.8	87.2	126
07.11.2000	6.1	86	125
08.11.2000	2.8	98.5	135
09.11.2000	0.6	78.8	119
10.11.2000	0.4	81.2	121
11.11.2000	23.4	114	146
12.11.2000	1.5	136.7	159
13.11.2000	6.7	82.4	122
14.11.2000	3.8	77.6	118
15.11.2000	12.2	125.2	153

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м
16.11.2000	5.8	252	210
17.11.2000	11.5	129.7	156
18.11.2000	9.7	223	205
19.11.2000	8	215	200
20.11.2000	10.3	256.5	219
21.11.2000	10.6	223	205
22.11.2000	2.4	251.7	216
23.11.2000	2.6	137.6	161
24.11.2000	5.9	108	142
25.11.2000	0.4	207.8	198
26.11.2000	0.9	151.9	169
27.11.2000	2.1	106.9	141
28.11.2000	4.4	90.8	129
29.11.2000	0.6	99.8	136
30.11.2000	3.2	105.4	140
01.12.2000	2.2	111	144
02.12.2000	1.6	107.3	142
03.12.2000	0.7	103.7	139
04.12.2000	5.5	99.8	136
05.12.2000	3.2	95.3	133
06.12.2000	9.5	92	130
07.12.2000	24.6	174.2	180
08.12.2000	13.1	378.8	245

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м
09.12.2000	1	235.1	206
10.12.2000	2.9	136.9	160
11.12.2000	0.3	139.2	162
12.12.2000	1.2	107.6	142
13.12.2000	0.1	99.4	136
14.12.2000	2.2	94.1	132
15.12.2000	1	110.5	143
16.12.2000	1.3	81.8	121
17.12.2000	4.6	76.8	117
18.12.2000	4	86.3	125
19.12.2000	0.5	84.2	123
20.12.2000	2.3	80.1	120
21.12.2000	0.5	72.2	114
22.12.2000	0.5	67.3	109
23.12.2000	2	62.5	105
24.12.2000	2.2	63	105
25.12.2000	3.9	83.1	123
26.12.2000	2.8	105.3	139
27.12.2000	2.5	98.9	135
28.12.2000	4	106.9	139
29.12.2000	7.8	105	140
30.12.2000	5.3	147.1	166
31.12.2000	5.2	133.1	150

Графики по данным станций Ла муралья и Мерида представлены в приложении Б.

На рисунке 16 представлен хронологический ряд расходов на станции Перикогно на графике можно увидеть маловодные и многоводные периоды в году.

На рисунке 17 виден хронологический график осадков, из него видна связь между многоводным и маловодным периодом реки и осадками.

На рисунке 18 виден ход расходов воды в течении года для станции Ла Муралья при этом, не наблюдается такая наглядная связь с осадками, представленными на рисунке 19, как на станции Перикогно.

На рисунке 20 представлен хронологический график расходов воды для станции Мерида, связь с расхода с осадками (рисунок 21) имеет более тесную связь, которая наглядно выражена на пиках водности.

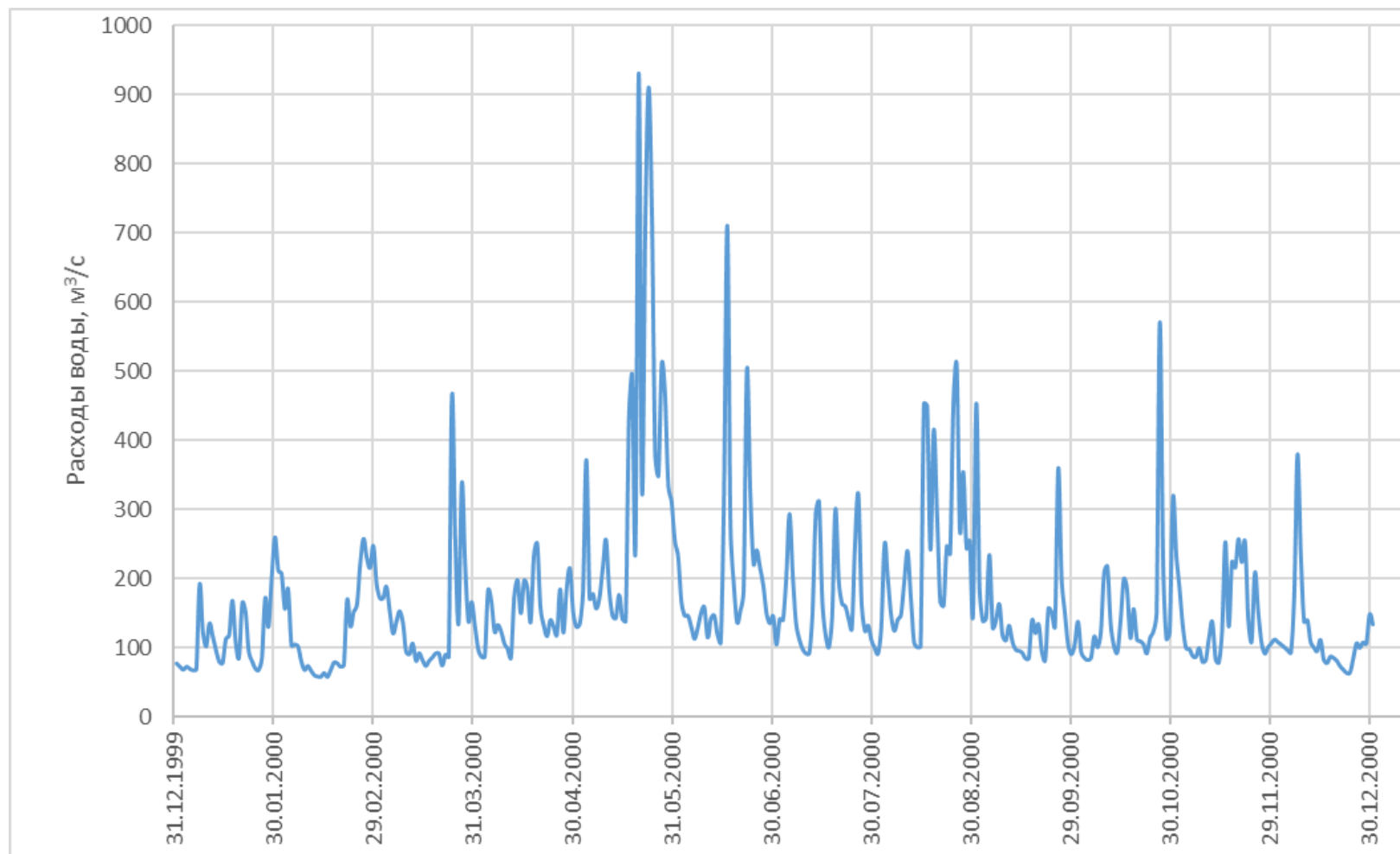


Рисунок 16 – Хронологический график расходов на станции Перикогно.

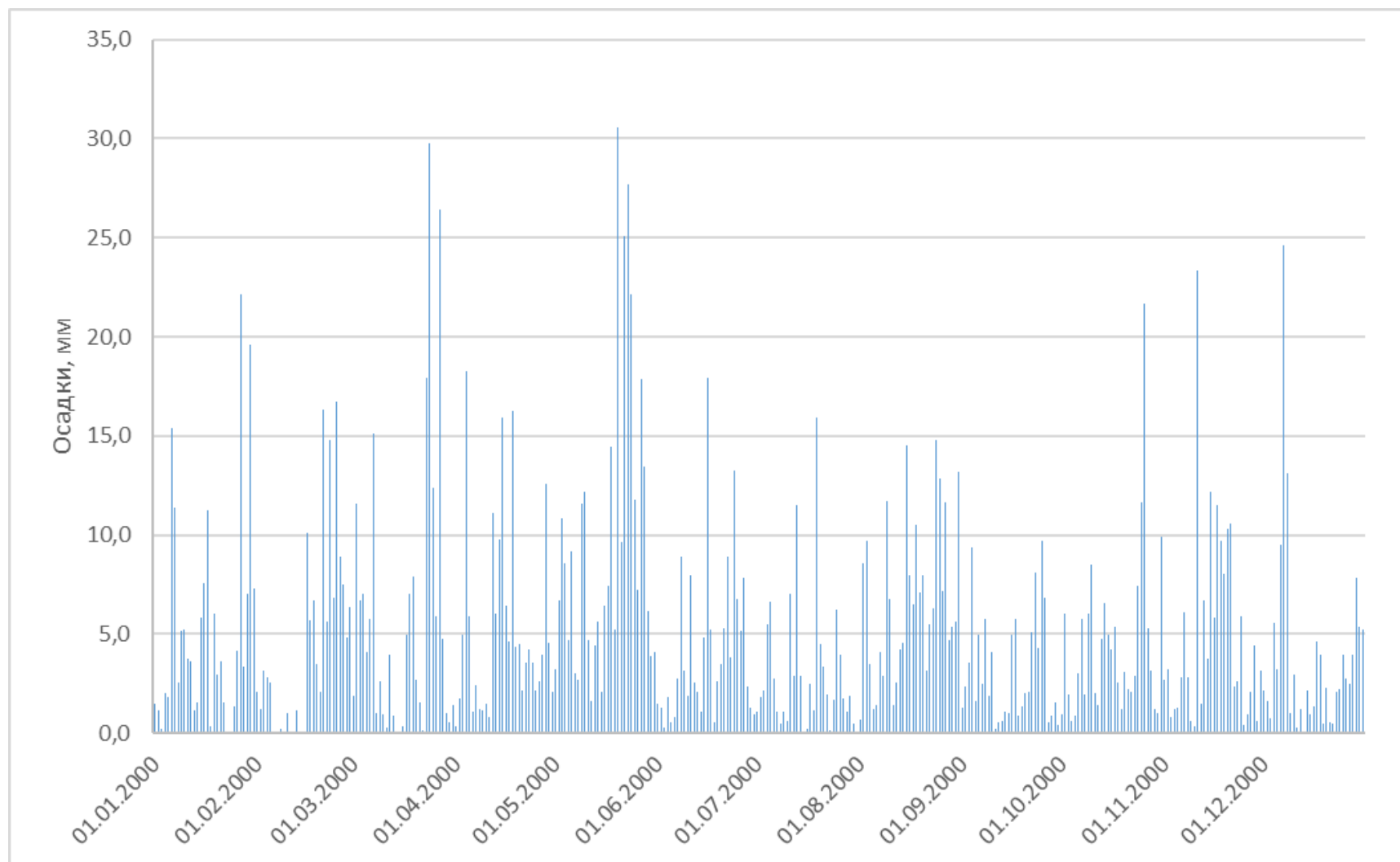


Рисунок 17 – Хронологический график осадков на станции Перикогно.

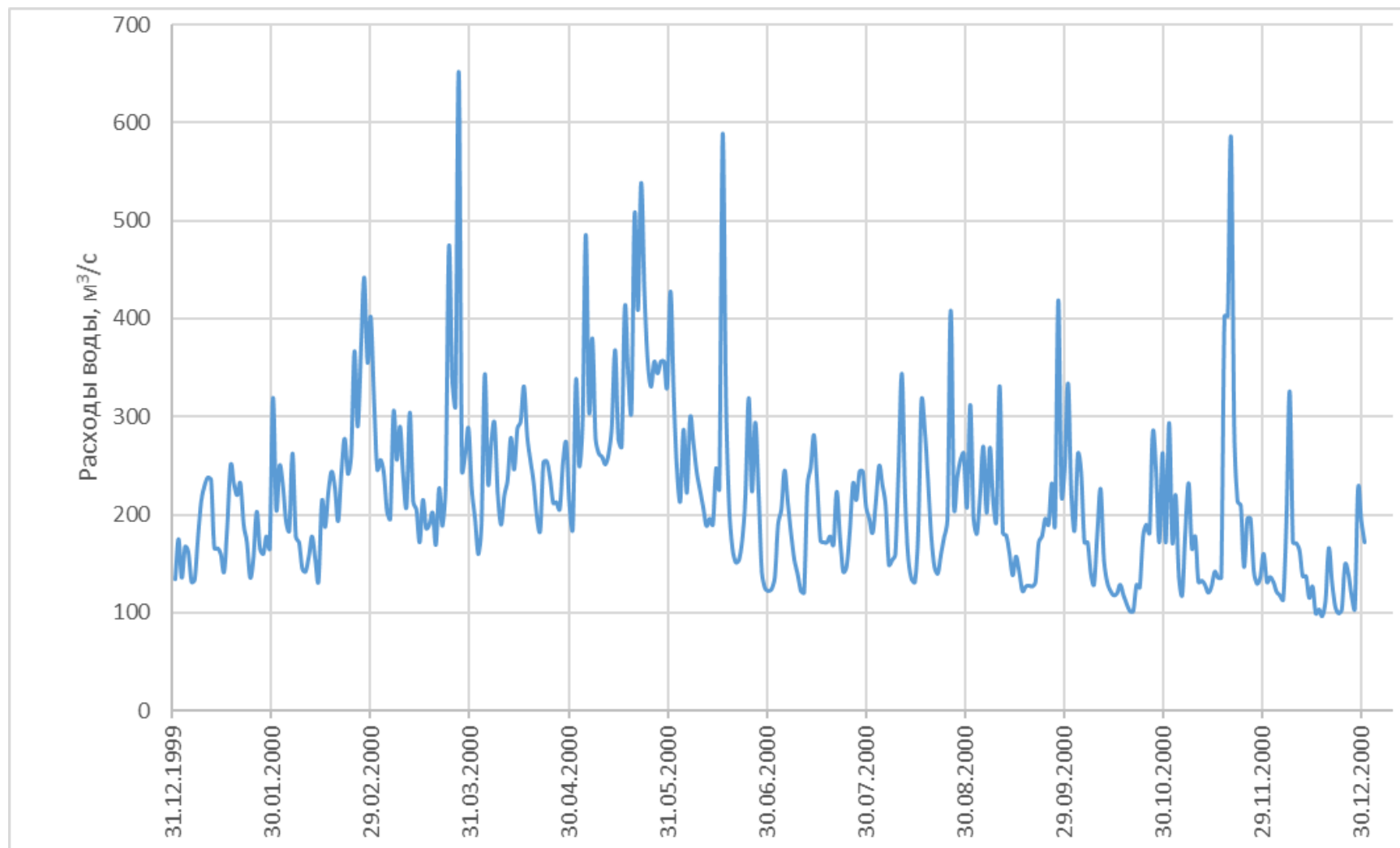


Рисунок 18 – Хронологический график расходов на станции Ла Муралья.

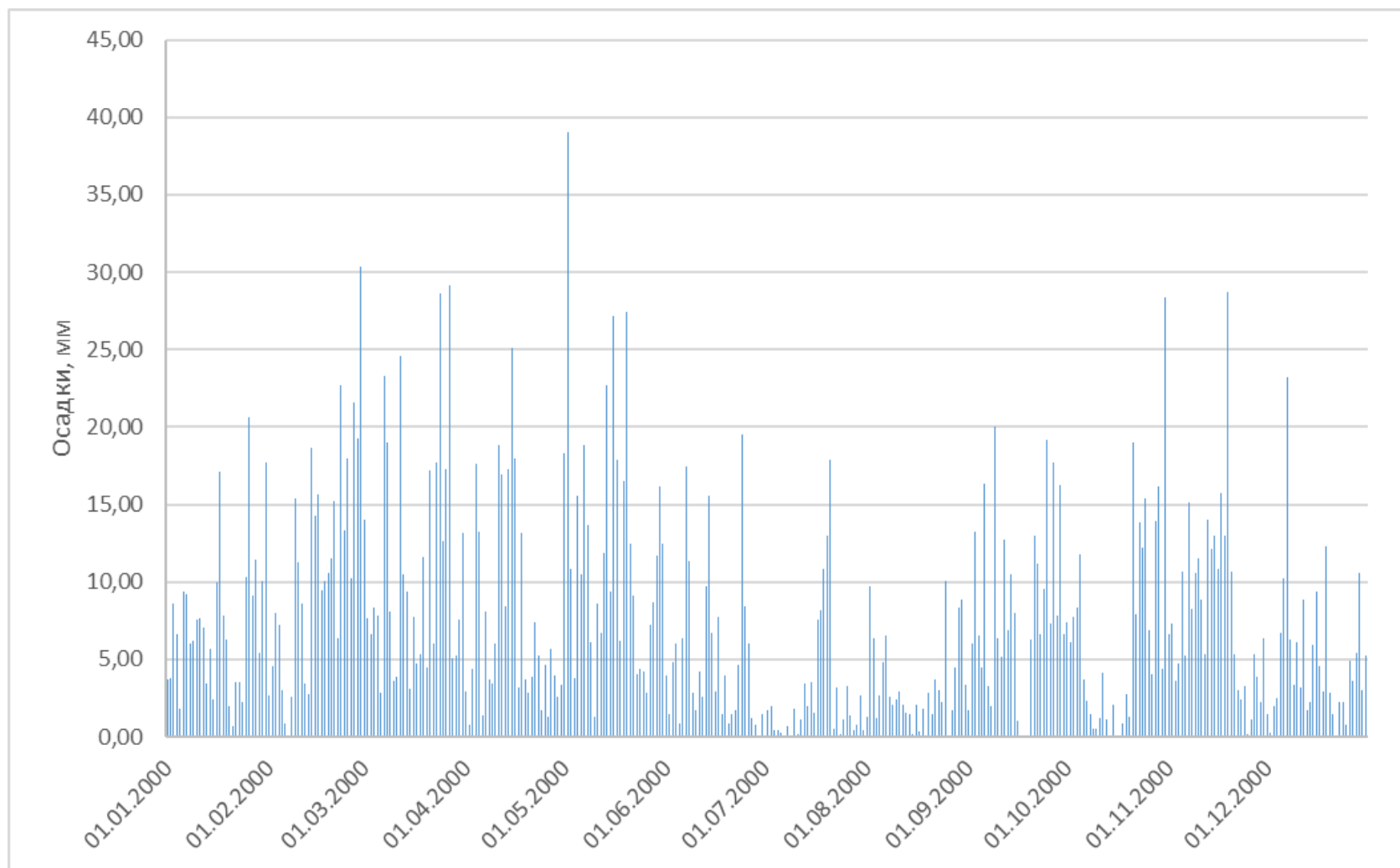


Рисунок 19– Хронологический график осадков на станции Ла Муралья.

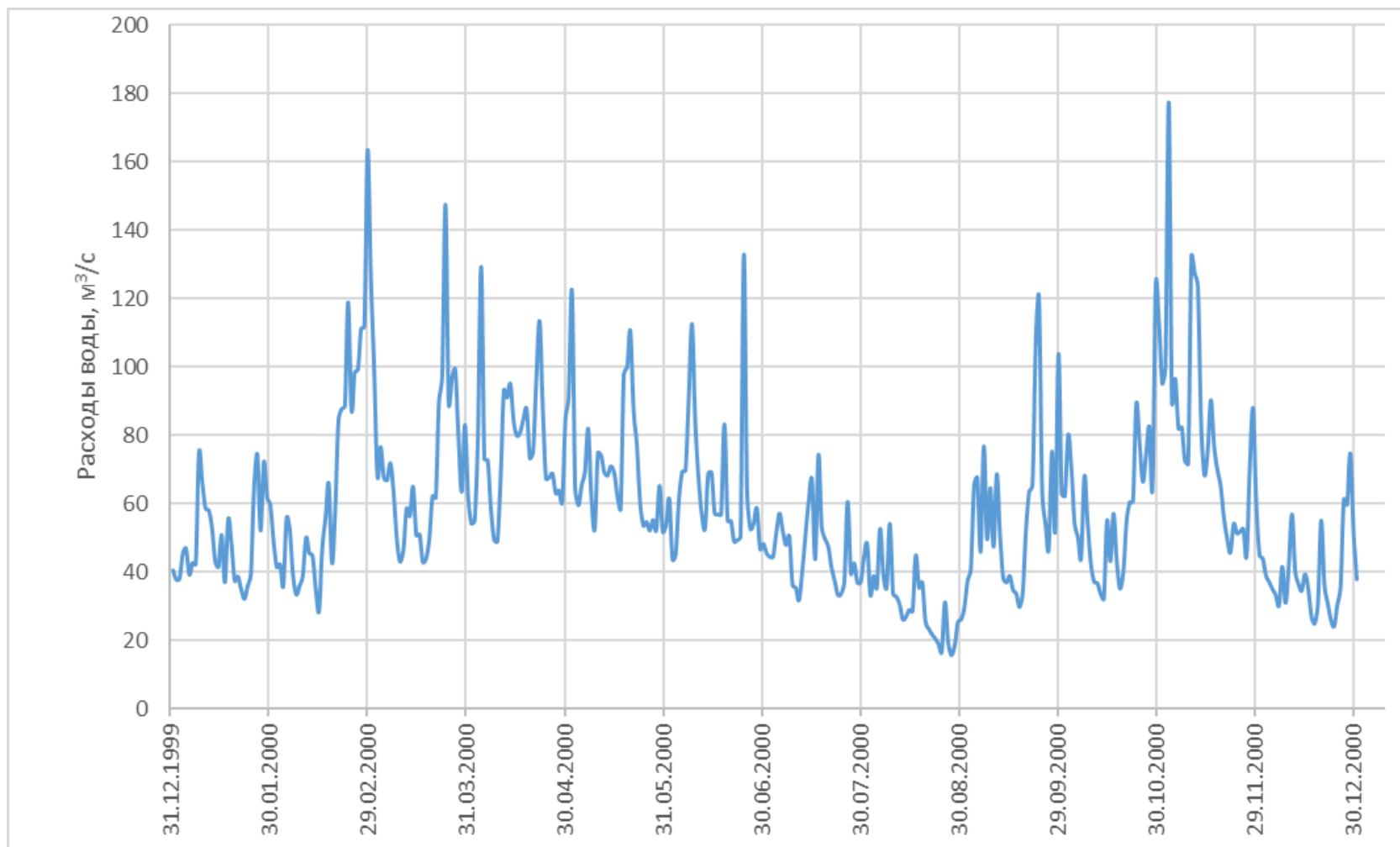


Рисунок 20 – Хронологический график расходов станции Мерида.

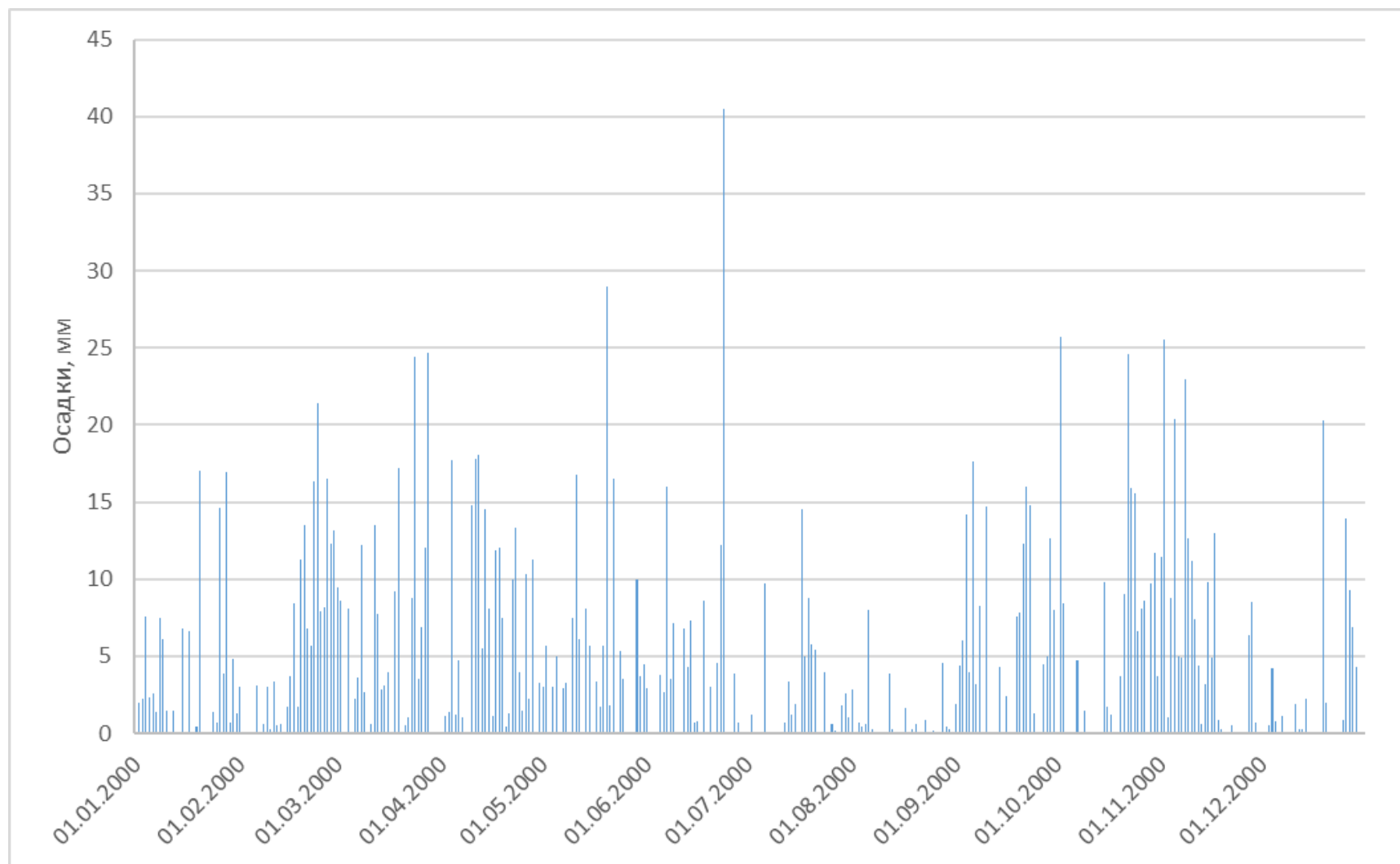


Рисунок 21 – Хронологический график осадков станции Мерида.

5.2 Описание выбранных водосборов

Описание водосбора реки Магдалена

Река Магдалена протекает около 1,550 км от рождения в лагуне Ла-Магдалена, расположенном в колумбийском массиве к морю Карибский Бокас-де-Сениса (Барранкилья) и канал дельДикэ (Картахена). Средний расход 7100 м³/с на высоте Каламар, до его раздвоения в канале дельДикэ. Магдалена является типичным примером рек в которой роль осадков имеет наибольшее влияние. Уровень их воды представляет значительные изменения из-за сильных локальных дождей, как на своем канале, так и на ее притоки. Эти вариации наиболее заметны в отдельных секторах, на пример, в нижней Магдалены контроль осуществляется в болотистой местности, где в дополнение к сокращению количество осадков, большое количество воды накапливаются во время дождей, которые возвращаются в канал в периоды засухи. Изменение потока относительно каждой области, в различных секторах, можно увидеть в ниже представленном графике[7]:

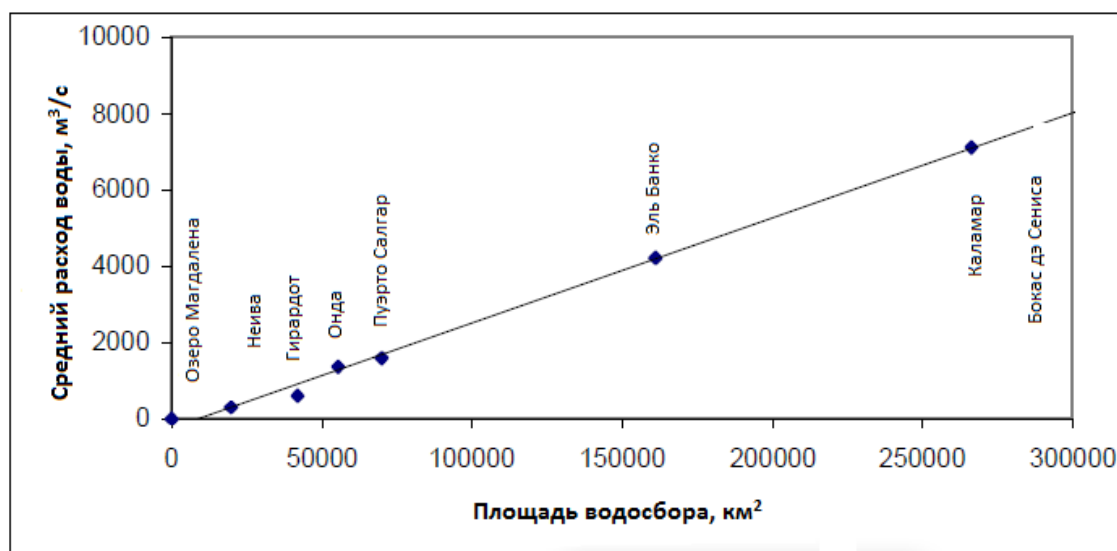


Рисунок 22 – Изменение расходов воды по площади водосбора.

Для более точной оценки реки Магдалена, ее разделили на 3 части, высокая, средняя и нижняя часть реки.

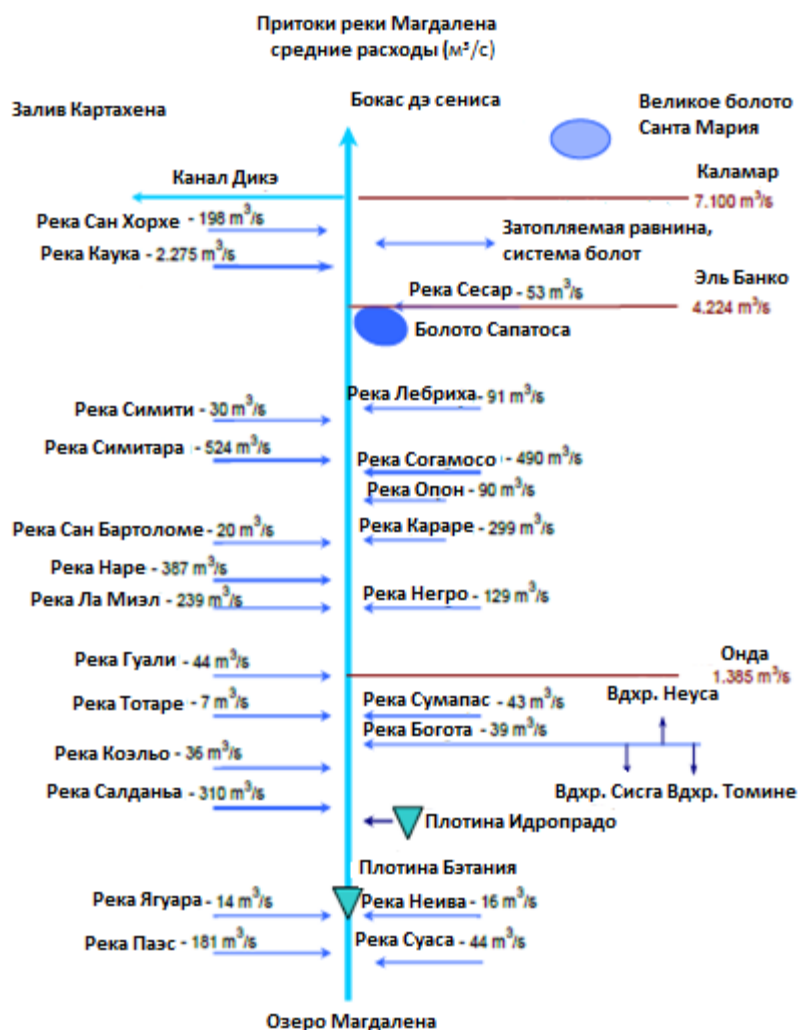


Рисунок 23 – Притоки реки Магдалена.

Альто-Магдалена (высокая часть реки)

Река поднимается до 3,685 метров над уровнем моря, в пустыне Лас-Рарас. В Ато, в 100 км от его рождения, где происходит спад на 30 м/км, а также высота 700 метров, входит в долину Гарсона. Продолжает снижаться к городу Нейва, расположенный на высоте 472 метров, а оттуда в Онда опускается до 229 метров со средним градиентом 0,6 м/км. До этой точки река имеет длину 565 км и площадь водосбора 55,441 км², средний расход

1385 м³/с на высоте Онда. Таким образом, он получает воду из Паес, Салдана, Коэльо, рек и Тотаре

Магдалена Медьо (средняя часть реки)

Она начинается в Онда и распространяется на банк в устье Сесара, муниципалитет расположен на высоте 33 метров над уровнем моря, расстояние по этому маршруту составляет 542 км, со средним уклоном 0,35 м/км, площадь водосбора 105,850 км² и средний расход 4,224 м³/с на высоте Банка.

В этой области большое количество болот и ручьев начинает формироваться, они имеют свое происхождение от динамики рек и рельефа плоской области. Эти болота оказывают регулирующее действие и ведут себя как приток или отток, в зависимости от уровня воды в реке. В этом секторе реки Магдалена, она получает вклады рек Гуарино, Мед, Наре, Сабля и Симити по-западному берегу. С востока река Негро, Кэраре, Опон, Согамосо и Лебриха.

Нижняя Магдалена

Начинается от реки Бокас-де-Сенiza до залива Картахены. В этом участке река падает 33 м на расстоянии 400 км, площадь водосбора 105,250 км² и средний расход 7100 м³/с на высоте Каламар. В водосборе Момпосина образуется внутренняя дельта, где сходятся реки в Каука, Сесар и Сан-Хорхе, образуя обширную затопленную область с системой из островов, труб, болот с учетом сезонных колебаний в уровне. Река Сесар протекает незадолго до развилки реки Магдалена в Лоба и Момпо, которые соединяются снова к югу от Такамочо, где пойма заканчивается. В Каламар река разветвляется в канал Дикэ который ведет воды к бухте Картахены и в основной канал в Бокас-де-Сениса в Барранкилья.

Описание водосбора реки Салдана

Бассейн реки Салдана, которая берет свое начало в Парамо-де-Санто-Доминго в Национальном парке Невадо-дель-Уила на высоте 3.900 метров над уровнем моря и впадает в реку Магдалена на высоте 285 м, длина реки составляет 222,5 км. Первый приток реки Салдана является река Эрехе далее потоки рек: Гуаябос, Барбакоас, Эль Амаре и многочисленные водные системы до ее впада в реку Магдалена. В водосборе находится гора Невадо-дель-Уила с высотой 5750 метров над уровнем моря, снег имеет около 7300 га площади начиная с высоты 4550 метров. Область расположена в Центральной Кордильеры, в муниципалитетах Паес, Торибио и Коринто (Каука), Планадас и села Эррера (Толима) и Теруэль, Икира, Палермо и Нейва (Уила) и Национальный парк который занимает площадь 158,000 га. Снежная шапка около 14,5 километров длиной простирается от 4450 метров до 5750 метров, образуя три пика мало известных, Северный, Центральный и Южный.

Климат колеблется от холодного до снежного, температура которого колеблется в пределах от 3 ° C на торфянике и 13 ° C на склонах, по оценкам, среднегодовое количество осадков 3000 мм на высоте Паес. Самые сухие в периоды с января по март и с июля по август. Самые дождливые месяцы в период с марта по июнь и с сентября по ноябрь [7].

Потенциал воды в Невадо-дель- Уила огромен. Здесь рождаются Салдана, Сикила, Атта, Рио Кларо, Нарваэс, черный, Паес, Баче и некоторые притоки реки Ягуара. Реки выше, являются частью верхней части бассейна реки Магдалена; в то время как реки Исабелильо и Пало впадают в бассейне реки Каука.

Описание водосбора реки Фонсе

Площадь речного бассейна реки Фонсе занимает 239,032 га. Река рождается на стыке рек Такиса и Пиента и впадает в реку Суарес недалеко от

муниципалитета Эль- Пальмар. Водосбор охватывает важные муниципалитеты таких как: Энсино, Короморо, Чарала, Окамонте, Парамо, Валье-де- Сан-Хосе, Моготес, Курути, Пинчоте и Сан Хиль, с общим населением 106,148 жителей. Суббассейны, которые являются частью этого важного водосбора являются: река Курути, река Моголитос, Такиса и река Туре Пинта, которые генерируют поток поверхностного стока среднемноголетнего $90 \text{ м}^3/\text{с}$. [8]

5.3 Описание станций

В связи с получением данных на платной основе от гидрометеорологической службы Колумбии, описание гидрологических станций отсутствует, в связи с этим, в данной работе присутствует описание водосборов рек, на которых расположены гидрологические посты. От ИДЕАМ были получены продольные профили створов рек на каждом посту.

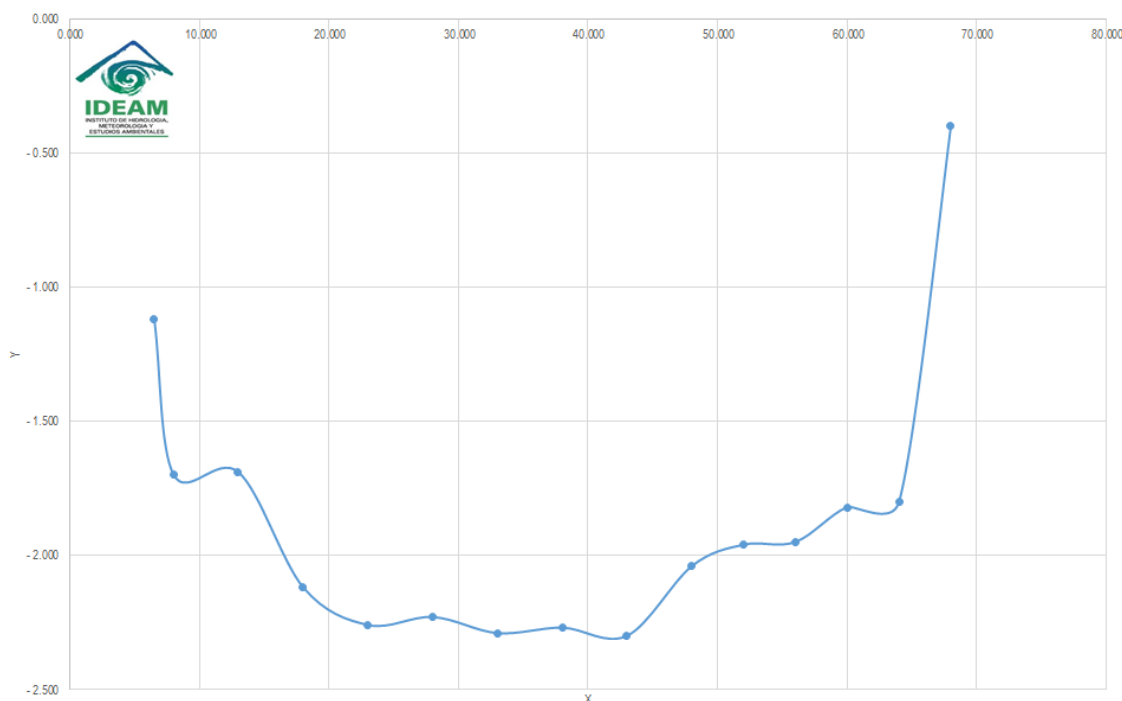


Рисунок 24 – Поперечный профиль реки Магдалена в створе станции
Перикогно за 2000 г.

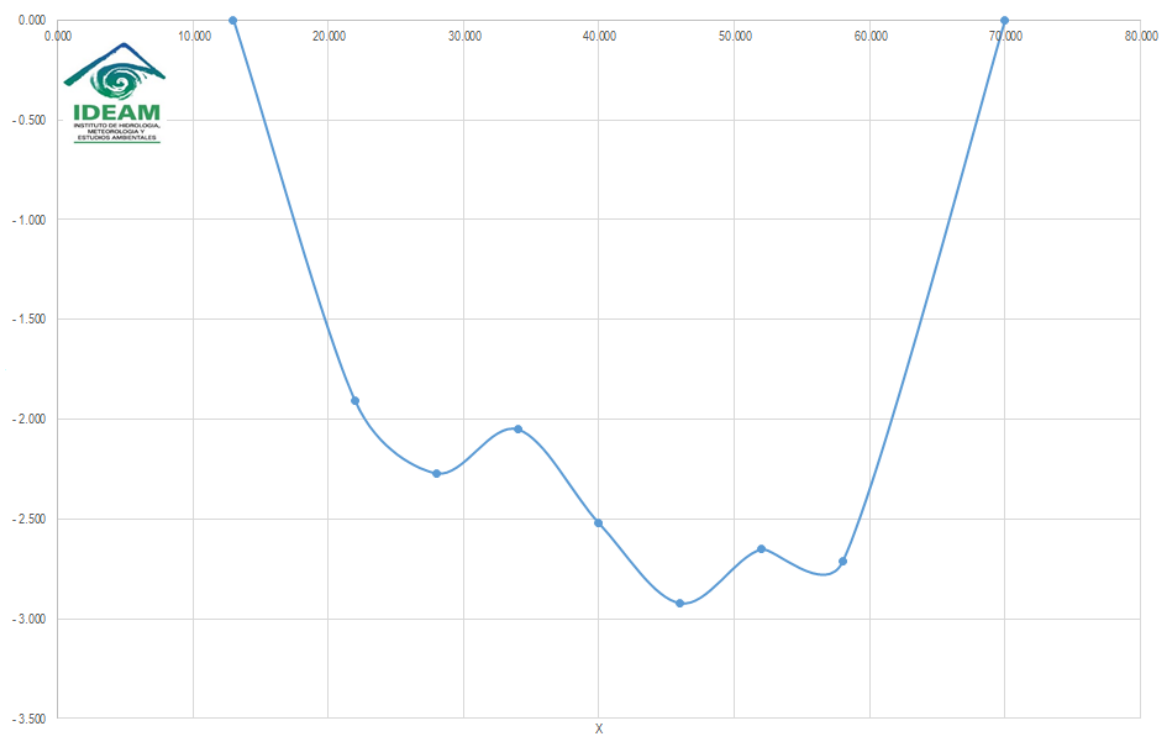


Рисунок 25 – Поперечный профиль реки Салдана в створе станции Ла Муралья за 2000 г.

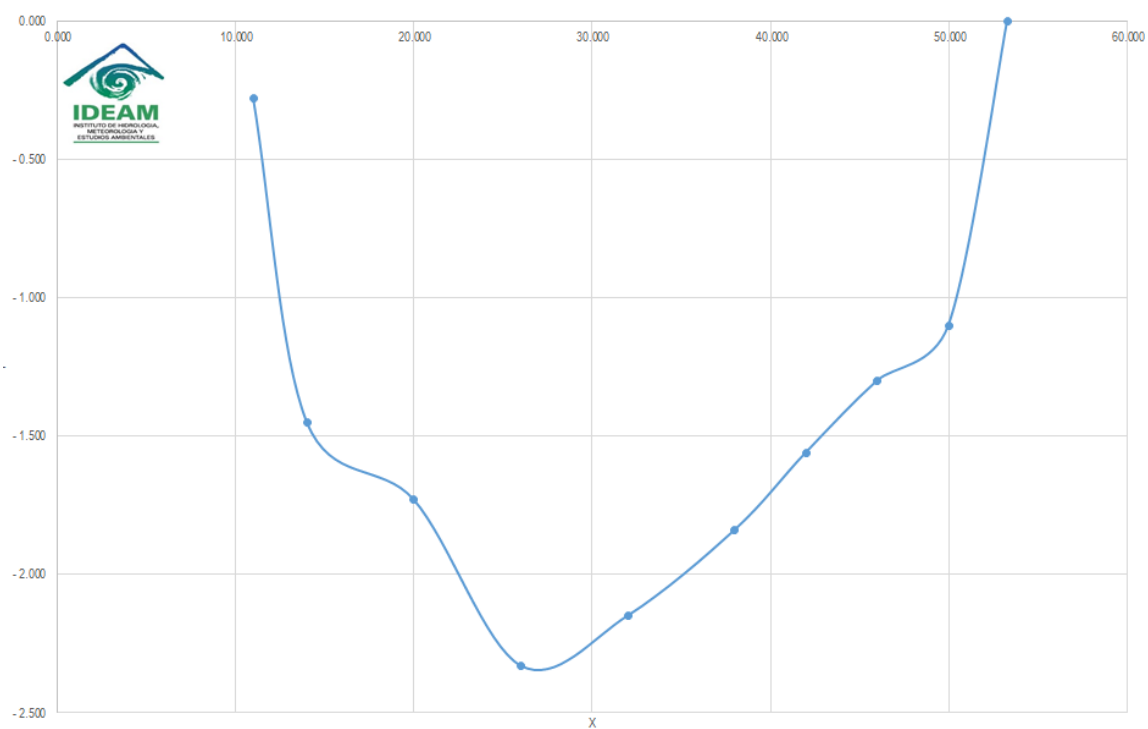


Рисунок 26 – Поперечный профиль реки Фонсе в створе станции Мерида за 2000г.

5.4 Поверочные прогнозы

Поверочные прогнозы были сделаны по методике у казанной в главе 4. Следует заметить, что для годового ряда брался период параметризации равному 30 суток. Для прогноза маловодного и многоводного периода, период параметризации был равен 10 суткам.

Для получения кривых $Q=f(H)$ были использованы данные за три года с 1998г. по 2000г. представлены в приложении Б, это было сделано в связи с тем, что при использования кривой только за 2000г. кривая имела практически прямую зависимость.

Кривые $Q=f(H)$ за период 2000г. представлены в приложении Г.

Прямая связь между расходом и уровнем воды за годовой период можно связать с недостаточной точностью расчета кривой $Q=f(H)$ используемой в ИДЕАМ при которой обрабатывались измеренные расходы, но, следует заметить, что при использовании более длинного периода кривая уходит от прямой связи.

На последующих страницах представлены графики $Q=f(H)$.

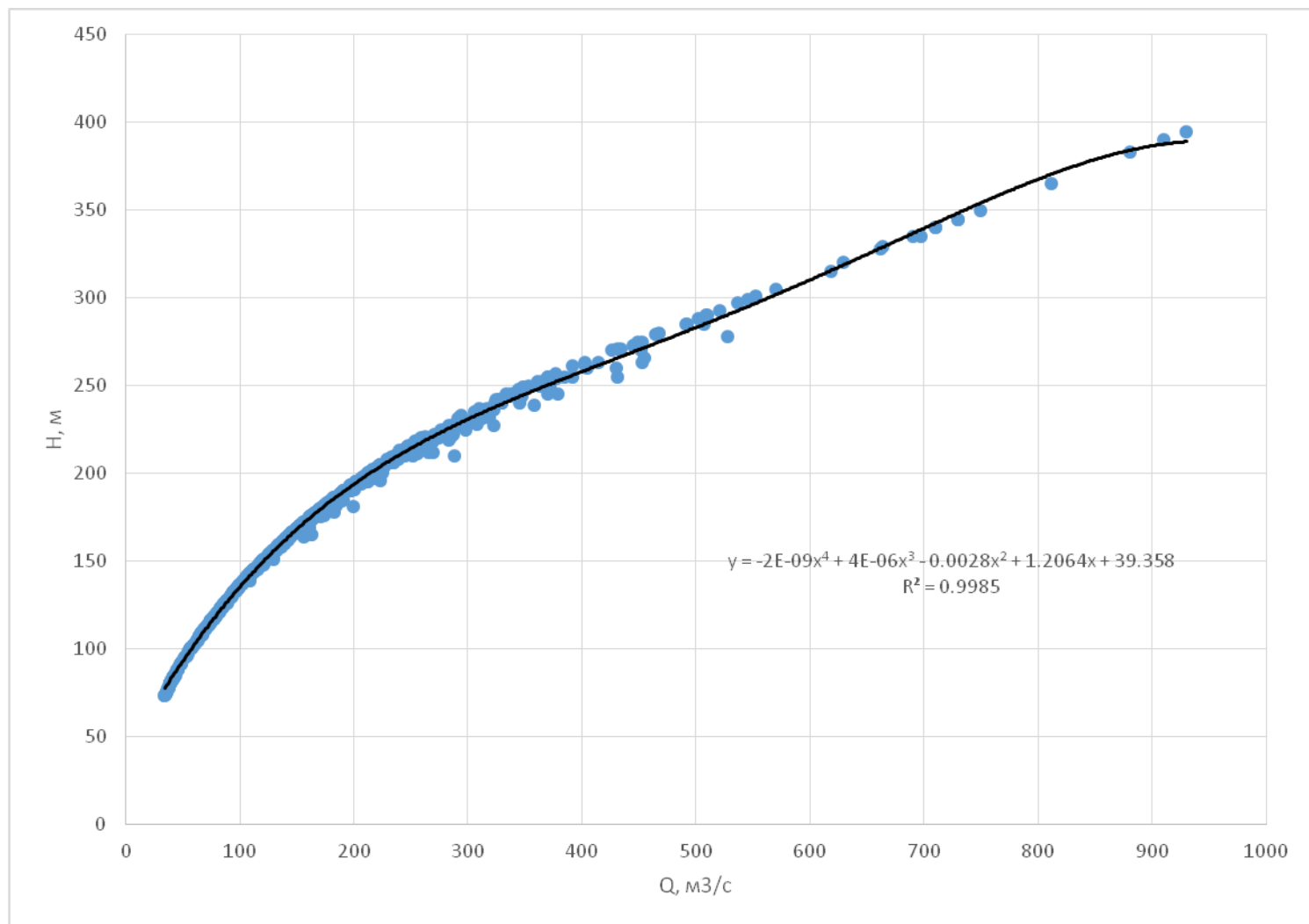


Рисунок 27 – Кривая $Q=f(H)$ для станции Перикогно.

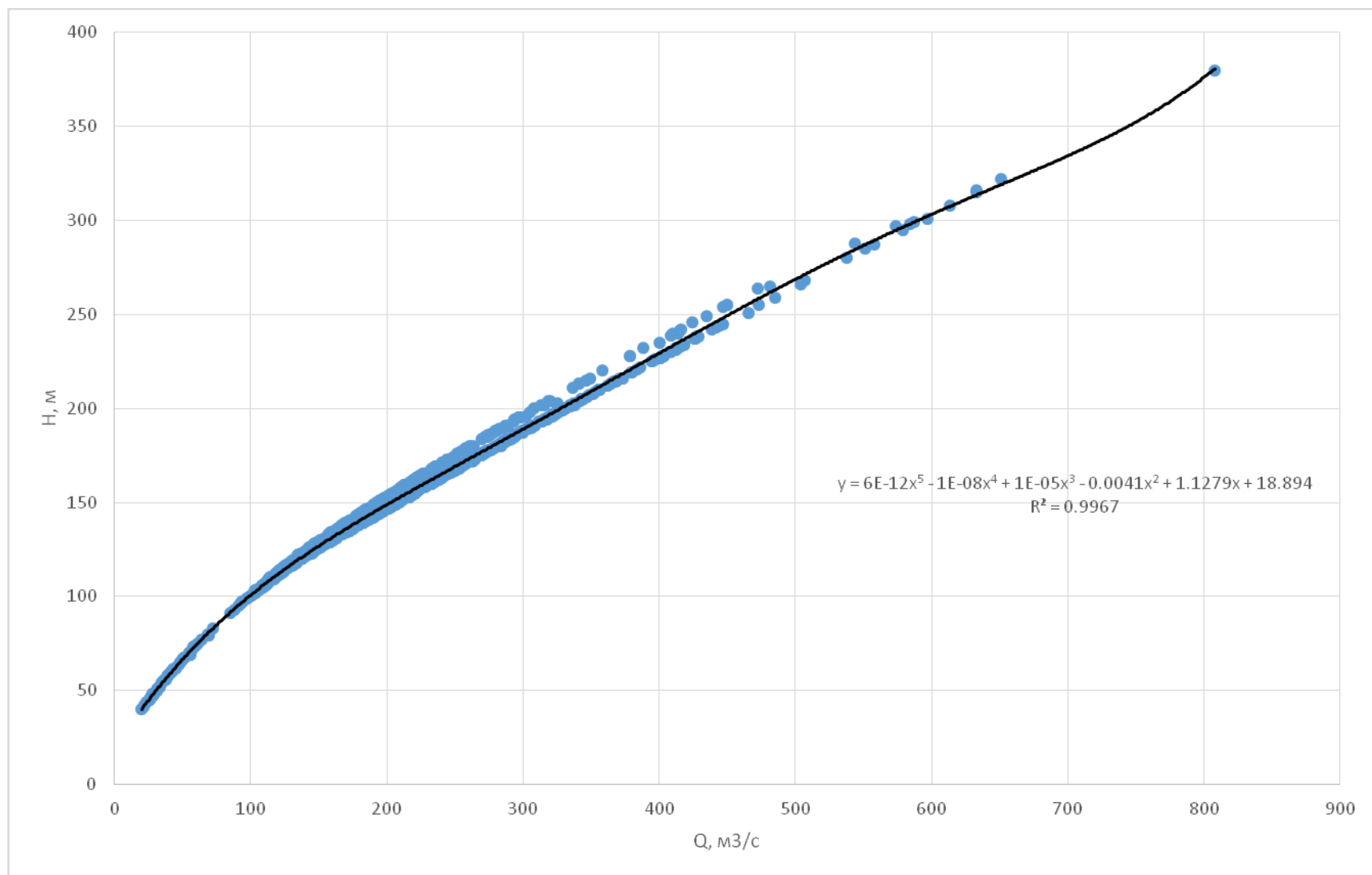


Рисунок 28 – Кривая $Q=f(H)$ для станции Ла Муралья.

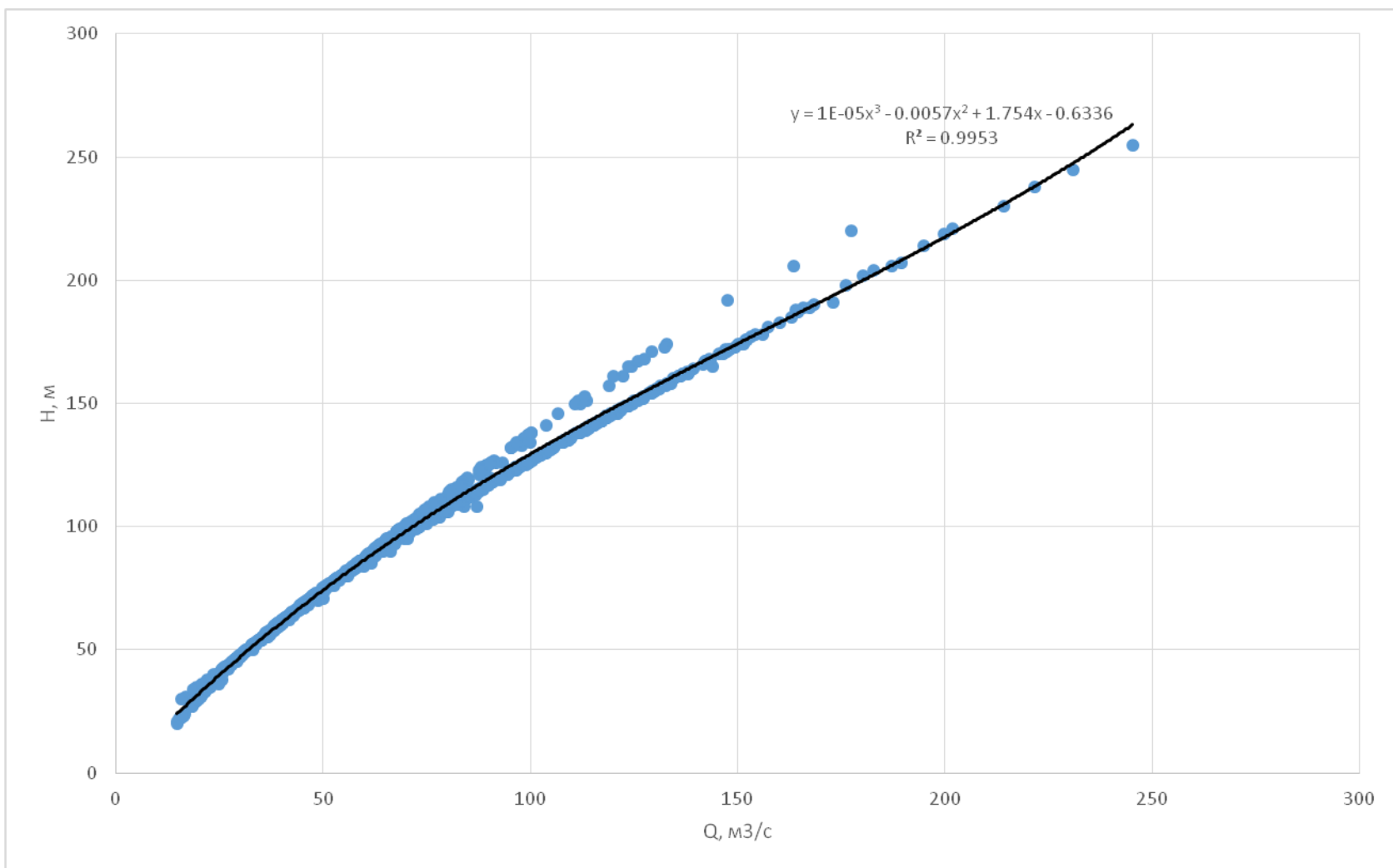


Рисунок 29 – Кривая $Q=f(H)$ для станции Мерида.

Ниже представлены таблицы с результатами прогноза для станции Перикогно, таблицы с результатами прогнозов для станций Ла Муралья и Мерида представлены в приложении А. В таблице представлены Фактические и прогнозные характеристики для станции Перикогно.

Таблица 3 – Результаты прогнозов для поста Перикогно

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
01.01.2000	1,5	76,4	117	76,4	01.01.2001	117
02.01.2000	1,2	71,6	113	66,4	02.01.2001	108
03.01.2000	0,2	67,4	110	66,4	03.01.2001	108
04.01.2000	2	71,6	113	66,4	04.01.2001	108
05.01.2000	1,8	68,6	111	66,4	05.01.2001	108
06.01.2000	15,4	66,4	109	66,4	06.01.2001	108
07.01.2000	11,4	68,0	110	137	07.01.2001	162
08.01.2000	2,6	191	190	115	08.01.2001	147
09.01.2000	5,2	122	151	152	09.01.2001	171
10.01.2000	5,2	101	137	117	10.01.2001	148
11.01.2000	3,8	134	159	102	11.01.2001	138
12.01.2000	3,6	116	147	118	12.01.2001	149
13.01.2000	1,1	95,3	133	103	13.01.2001	138
14.01.2000	1,5	78,8	119	74,5	14.01.2001	115
15.01.2000	5,8	77,0	118	66,4	15.01.2001	108
16.01.2000	7,6	112	144	88,7	16.01.2001	127
17.01.2000	11,3	117	148	124	17.01.2001	153
18.01.2000	0,4	167	178	149	18.01.2001	169
19.01.2000	6	107	141	122	19.01.2001	152
20.01.2000	3	84,8	124	111	20.01.2001	144
21.01.2000	3,6	164	165	78,0	21.01.2001	118

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
22.01.2000	1,6	150	168	138	22.01.2001	162
23.01.2000	0	93,5	131	117	23.01.2001	148
24.01.2000	0	79,4	120	66,8	24.01.2001	109
25.01.2000	1,4	69,2	111	66,4	25.01.2001	108
26.01.2000	4,1	66,9	109	66,4	26.01.2001	108
27.01.2000	22,1	83,9	123	71,6	27.01.2001	113
28.01.2000	3,3	171	180	188	28.01.2001	191
29.01.2000	7	130	156	141	29.01.2001	164
30.01.2000	19,6	203	195	133	30.01.2001	159
31.01.2000	7,3	259	220	258	31.01.2001	224
01.02.2000	2,1	211	199	227	01.02.2001	211
02.02.2000	1,2	207	197	163	02.02.2001	177
03.02.2000	3,2	156	170	154	03.02.2001	173
04.02.2000	2,8	184	186	130	04.02.2001	157
05.02.2000	2,5	102	138	152	05.02.2001	171
06.02.2000	0,1	104	139	85,2	06.02.2001	124
07.02.2000	0	101	137	74,8	07.02.2001	116
08.02.2000	0,2	80,0	120	75,8	08.02.2001	116
09.02.2000	0	66,9	109	66,9	09.02.2001	109
10.02.2000	1	72,8	114	66,9	10.02.2001	109
11.02.2000	0	65,8	108	66,9	11.02.2001	109
12.02.2000	0,1	59,2	102	65,8	12.02.2001	108
13.02.2000	1,1	57,5	101	59,2	13.02.2001	102
14.02.2000	0	57,0	100	57,5	14.02.2001	100
15.02.2000	0	62,5	105	57,0	15.02.2001	100
16.02.2000	10,1	57,0	100	57,0	16.02.2001	100
17.02.2000	5,7	67,0	109	94,1	17.02.2001	131

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
18.02.2000	6,7	77,6	118	77,9	18.02.2001	118
19.02.2000	3,5	76,4	117	90,6	19.02.2001	129
20.02.2000	2,1	71,7	113	75,2	20.02.2001	116
21.02.2000	16,3	74	115	65,3	21.02.2001	107
22.02.2000	5,6	168	177	131	22.02.2001	158
23.02.2000	14,8	130	156	155	23.02.2001	173
24.02.2000	6,8	151	169	173	24.02.2001	183
25.02.2000	16,7	162	175	148	25.02.2001	168
26.02.2000	8,9	221	202	206	26.02.2001	200
27.02.2000	7,5	257	217	211	27.02.2001	203
28.02.2000	4,8	229	208	231	28.02.2001	212
29.02.2000	6,4	215	200	196	01.03.2001	196
01.03.2000	1,9	247	215	196	02.03.2001	195
02.03.2000	11,6	191	190	205	03.03.2001	200
03.03.2000	6,7	171	180	201	04.03.2001	198
04.03.2000	7	171	180	163	05.03.2001	178
05.03.2000	4,1	188	188	165	06.03.2001	178
06.03.2000	5,7	152	170	167	07.03.2001	180
07.03.2000	15,1	120	150	144	08.03.2001	166
08.03.2000	1	136	160	162	09.03.2001	177
09.03.2000	2,6	152	170	113	10.03.2001	145
10.03.2000	1	136	159	132	11.03.2001	159
11.03.2000	0,3	93,3	131	113	12.03.2001	145
12.03.2000	4	89,7	128	75,9	13.03.2001	116
13.03.2000	0,9	105	139	88,0	14.03.2001	126
14.03.2000	0,1	80,0	120	87,8	15.03.2001	126
15.03.2000	0	91,3	129	64,4	16.03.2001	106

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
16.03.2000	0,3	81,2	121	73,0	17.03.2001	114
17.03.2000	5	72,8	114	66,2	18.03.2001	108
18.03.2000	7	80,0	120	78,6	19.03.2001	119
19.03.2000	7,9	84,8	124	92,5	20.03.2001	130
20.03.2000	2,7	90,8	129	100	21.03.2001	136
21.03.2000	1,6	90,9	129	83,6	22.03.2001	123
22.03.2000	0,1	73,4	115	79,2	23.03.2001	119
23.03.2000	17,9	89,2	126	72,8	24.03.2001	114
24.03.2000	29,8	86	125	144	25.03.2001	166
25.03.2000	12,4	464	279	190	26.03.2001	192
26.03.2000	5,9	256	217	379	27.03.2001	271
27.03.2000	26,4	134	159	188	28.03.2001	191
28.03.2000	4,7	338	245	335	29.03.2001	255
29.03.2000	1	221	201	217	30.03.2001	206
30.03.2000	0,6	138	161	121	31.03.2001	151
31.03.2000	1,4	165	176	74,9	01.04.2001	116
01.04.2000	0,4	130	156	96,8	02.04.2001	133
02.04.2000	1,7	97,2	134	72,8	03.04.2001	114
03.04.2000	4,9	86,0	125	72,8	04.04.2001	114
04.04.2000	18,3	86,0	125	92,8	05.04.2001	130
05.04.2000	5,9	182	186	229	06.04.2001	211
06.04.2000	1,1	166	177	151	07.04.2001	170
07.04.2000	2,4	122	151	94,3	08.04.2001	131
08.04.2000	1,2	132	158	85,5	09.04.2001	124
09.04.2000	1,1	122	151	78,3	10.04.2001	118
10.04.2000	1,5	105	140	72,8	11.04.2001	114
11.04.2000	0,8	97,2	134	72,8	12.04.2001	114

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
12.04.2000	11,1	84,8	124	72,8	13.04.2001	114
13.04.2000	6	174	178	155	14.04.2001	173
14.04.2000	9,7	197	190	148	15.04.2001	169
15.04.2000	15,9	149	168	197	16.04.2001	196
16.04.2000	6,4	196	191	236	17.04.2001	215
17.04.2000	4,6	186	186	163	18.04.2001	178
18.04.2000	16,3	136	160	140	19.04.2001	163
19.04.2000	4,3	234	206	234	20.04.2001	213
20.04.2000	4,5	250	216	161	21.04.2001	176
21.04.2000	2,1	157	172	171	22.04.2001	182
22.04.2000	3,5	131	157	100	23.04.2001	136
23.04.2000	4,2	116	147	101	24.04.2001	137
24.04.2000	3,5	139	162	101	25.04.2001	136
25.04.2000	2,1	130	156	112	26.04.2001	145
26.04.2000	2,6	118	149	95,0	27.04.2001	132
27.04.2000	3,9	184	185	96,3	28.04.2001	133
28.04.2000	12,5	121	151	154	29.04.2001	172
29.04.2000	4,6	186	185	159	30.04.2001	175
30.04.2000	2,1	214	200	159	01.05.2001	175
01.05.2000	3,2	150	168	165	02.05.2001	179
02.05.2000	6,7	129	156	126	03.05.2001	154
03.05.2000	10,9	134	159	131	04.05.2001	158
04.05.2000	8,6	183	178	159	05.05.2001	175
05.05.2000	4,7	371	248	181	06.05.2001	187
06.05.2000	9,2	170	180	335	07.05.2001	254
07.05.2000	3	177	183	177	08.05.2001	185
08.05.2000	2,7	156	172	131	09.05.2001	158

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
09.05.2000	11,5	171	180	115	10.05.2001	147
10.05.2000	12,2	214	200	196	11.05.2001	195
11.05.2000	4,7	255	217	228	12.05.2001	211
12.05.2000	1,6	180	184	191	13.05.2001	193
13.05.2000	4,4	145	166	121	14.05.2001	151
14.05.2000	5,6	142	164	123	15.05.2001	152
15.05.2000	2,1	176	181	131	16.05.2001	158
16.05.2000	6,4	141	163	116	17.05.2001	148
17.05.2000	7,4	138	161	135	18.05.2001	161
18.05.2000	14,5	431	255	144	19.05.2001	166
19.05.2000	5,2	493	285	484	20.05.2001	311
20.05.2000	30,6	244	211	399	21.05.2001	278
21.05.2000	9,6	930	395	644	22.05.2001	379
22.05.2000	25,1	324	240	660	23.05.2001	386
23.05.2000	27,7	710	340	788	24.05.2001	437
24.05.2000	22,1	910	390	987	25.05.2001	450
25.05.2000	11,8	730	345	902	26.05.2001	461
26.05.2000	7,2	377	257	563	27.05.2001	344
27.05.2000	17,9	348	249	321	28.05.2001	249
28.05.2000	13,5	510	290	601	29.05.2001	360
29.05.2000	6,1	468	280	536	30.05.2001	332
30.05.2000	3,9	334	245	321	31.05.2001	249
31.05.2000	4,1	311	235	217	01.06.2001	206
01.06.2000	1,5	254	218	215	02.06.2001	205
02.06.2000	1,3	231	208	134	03.06.2001	160
03.06.2000	0,3	165	177	138	04.06.2001	162
04.06.2000	1,8	146	166	138	05.06.2001	162

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
05.06.2000	0,6	146	166	138	06.06.2001	162
06.06.2000	0,8	130	156	138	07.06.2001	162
07.06.2000	2,8	112	144	130	08.06.2001	157
08.06.2000	8,9	128	155	113	09.06.2001	146
09.06.2000	3,1	149	168	284	10.06.2001	235
10.06.2000	1,9	158	173	134	11.06.2001	160
11.06.2000	8	114	146	112	12.06.2001	145
12.06.2000	2,6	141	163	255	13.06.2001	223
13.06.2000	2,1	146	166	117	14.06.2001	148
14.06.2000	1,1	119	149	112	15.06.2001	145
15.06.2000	4,8	107	141	112	16.06.2001	145
16.06.2000	17,9	319	235	166	17.06.2001	179
17.06.2000	5,2	710	340	591	18.06.2001	356
18.06.2000	0,5	276	225	378	19.06.2001	270
19.06.2000	2,6	190	189	107	20.06.2001	141
20.06.2000	3,5	136	160	134	21.06.2001	159
21.06.2000	5,3	153	169	140	22.06.2001	164
22.06.2000	8,9	182	185	195	23.06.2001	195
23.06.2000	3,8	502	288	302	24.06.2001	242
24.06.2000	13,2	330	240	270	25.06.2001	229
25.06.2000	6,7	221	204	468	26.06.2001	305
26.06.2000	5,1	240	213	247	27.06.2001	219
27.06.2000	7,8	215	200	218	28.06.2001	206
28.06.2000	2,4	189	189	283	29.06.2001	234
29.06.2000	1,3	148	167	128	30.06.2001	156
30.06.2000	0,9	134	159	107	01.07.2001	141
01.07.2000	1,1	145	165	107	02.07.2001	141

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
02.07.2000	1,8	104	139	107	03.07.2001	141
03.07.2000	2,2	141	163	104	04.07.2001	139
04.07.2000	5,5	139	162	107	05.07.2001	141
05.07.2000	6,6	202	195	195	06.07.2001	195
06.07.2000	2,7	293	232	246	07.07.2001	219
07.07.2000	1,1	202	195	171	08.07.2001	182
08.07.2000	0,5	134	159	104	09.07.2001	139
09.07.2000	1,1	111	144	104	10.07.2001	139
10.07.2000	0,6	97,2	134	104	11.07.2001	139
11.07.2000	7	90,8	129	97,2	12.07.2001	134
12.07.2000	2,9	90,8	129	220	13.07.2001	207
13.07.2000	11,5	149	168	109	14.07.2001	142
14.07.2000	2,9	293	230	361	15.07.2001	264
15.07.2000	0,1	310	237	176	16.07.2001	185
16.07.2000	0,2	167	178	106	17.07.2001	140
17.07.2000	2,5	117	148	90,8	18.07.2001	129
18.07.2000	1,1	99,8	136	111	19.07.2001	144
19.07.2000	15,9	144	165	90,8	20.07.2001	129
20.07.2000	4,5	300	230	345	21.07.2001	258
21.07.2000	3,3	197	193	261	22.07.2001	225
22.07.2000	2	164	176	172	23.07.2001	183
23.07.2000	0,2	159	173	136	24.07.2001	161
24.07.2000	1,7	142	163	116	25.07.2001	147
25.07.2000	6,2	127	154	118	26.07.2001	149
26.07.2000	4	250	215	168	27.07.2001	181
27.07.2000	1,7	321	237	221	28.07.2001	208
28.07.2000	1,1	163	176	266	29.07.2001	228

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
29.07.2000	1,9	124	152	123	30.07.2001	153
30.07.2000	0,5	131	157	108	31.07.2001	142
31.07.2000	0	110	143	90,8	01.08.2001	129
01.08.2000	0,7	98,5	135	90,8	02.08.2001	129
02.08.2000	8,6	90,8	129	90,8	03.08.2001	129
03.08.2000	9,7	128	153	194	04.08.2001	195
04.08.2000	3,5	250	215	217	05.08.2001	206
05.08.2000	1,2	199	193	214	06.08.2001	204
06.08.2000	1,4	146	166	149	07.08.2001	169
07.08.2000	4,1	124	152	116	08.08.2001	148
08.08.2000	2,9	140	162	138	09.08.2001	162
09.08.2000	11,7	147	166	132	10.08.2001	159
10.08.2000	6,8	195	191	256	11.08.2001	223
11.08.2000	1,4	239	210	222	12.08.2001	208
12.08.2000	2,6	172	180	178	13.08.2001	186
13.08.2000	4,2	107	141	150	14.08.2001	170
14.08.2000	4,6	100	136	128	15.08.2001	156
15.08.2000	14,5	101	137	129	16.08.2001	156
16.08.2000	7,9	453	263	264	17.08.2001	227
17.08.2000	6,5	449	275	400	18.08.2001	279
18.08.2000	10,5	241	211	375	19.08.2001	269
19.08.2000	7,1	415	263	334	20.08.2001	254
20.08.2000	7,9	294	227	352	21.08.2001	261
21.08.2000	3,2	165	177	307	22.08.2001	244
22.08.2000	5,5	160	174	148	23.08.2001	168
23.08.2000	6,3	247	215	192	24.08.2001	193
24.08.2000	14,8	236	210	251	25.08.2001	221

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
25.08.2000	12,8	452	270	419	26.08.2001	286
26.08.2000	7,2	509	290	486	27.08.2001	312
27.08.2000	11,6	268	220	401	28.08.2001	279
28.08.2000	4,7	354	250	370	29.08.2001	268
29.08.2000	5,4	243	212	272	30.08.2001	230
30.08.2000	5,7	254	216	231	31.08.2001	212
31.08.2000	13,2	147	167	243	01.09.2001	217
01.09.2000	1,3	453	275	342	02.09.2001	257
02.09.2000	2,3	182	185	186	03.09.2001	190
03.09.2000	3,6	138	161	123	04.09.2001	152
04.09.2000	9,4	143	163	143	05.09.2001	166
05.09.2000	1,6	233	209	302	06.09.2001	242
06.09.2000	4,9	128	155	121	07.09.2001	151
07.09.2000	2,5	138	161	175	08.09.2001	185
08.09.2000	5,8	162	175	114	09.09.2001	146
09.09.2000	1,9	117	148	211	10.09.2001	203
10.09.2000	4,1	110	143	100	11.09.2001	136
11.09.2000	0,2	131	157	148	12.09.2001	168
12.09.2000	0,6	108	142	100	13.09.2001	136
13.09.2000	0,6	96,6	134	100	14.09.2001	136
14.09.2000	1,1	94,6	132	96,6	15.09.2001	133
15.09.2000	1	92,0	130	94,6	16.09.2001	132
16.09.2000	5	83,6	123	92,0	17.09.2001	130
17.09.2000	5,8	83,6	123	163	18.09.2001	178
18.09.2000	0,8	139	162	185	19.09.2001	190
19.09.2000	1,3	120	150	83,6	20.09.2001	123
20.09.2000	2	133	158	83,6	21.09.2001	123

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
21.09.2000	2,1	93	131	98,5	22.09.2001	135
22.09.2000	5,1	81	121	88,0	23.09.2001	126
23.09.2000	8,1	156	164	165	24.09.2001	179
24.09.2000	4,3	150	168	271	25.09.2001	230
25.09.2000	9,7	130	156	167	26.09.2001	180
26.09.2000	6,8	359	239	262	27.09.2001	226
27.09.2000	0,5	203	195	304	28.09.2001	243
28.09.2000	0,9	150	168	81,2	29.09.2001	121
29.09.2000	1,5	104	139	81,2	30.09.2001	121
30.09.2000	0,4	90	128	81,2	01.10.2001	121
01.10.2000	1	104	138	81,2	02.10.2001	121
02.10.2000	6	137	159	81,2	03.10.2001	121
03.10.2000	2	92,8	131	180	04.10.2001	187
04.10.2000	0,6	84,2	124	81,2	05.10.2001	121
05.10.2000	0,9	81,2	121	81,2	06.10.2001	121
06.10.2000	3	84,8	124	81,2	07.10.2001	121
07.10.2000	5,8	115,5	147	81,2	08.10.2001	121
08.10.2000	1,9	99,8	136	120	09.10.2001	150
09.10.2000	6	122	151	81,2	10.10.2001	121
10.10.2000	8,5	208	198	122	11.10.2001	152
11.10.2000	2	217	202	137	12.10.2001	162
12.10.2000	1,4	133	158	81,2	13.10.2001	121
13.10.2000	4,8	102	137	81,2	14.10.2001	121
14.10.2000	6,5	92,3	130	93,6	15.10.2001	131
15.10.2000	4,9	138	161	172	16.10.2001	183
16.10.2000	4,2	199	193	81,2	17.10.2001	121
17.10.2000	5,3	184	186	188	18.10.2001	191

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
18.10.2000	2,6	113	146	197	19.10.2001	196
19.10.2000	1,2	155	171	110	20.10.2001	143
20.10.2000	3,1	111	144	113	21.10.2001	145
21.10.2000	2,2	109	142	117	22.10.2001	148
22.10.2000	2,1	104	139	101	23.10.2001	137
23.10.2000	2,9	91	129	96,5	24.10.2001	133
24.10.2000	7,4	113	146	104	25.10.2001	139
25.10.2000	11,7	122	151	207	26.10.2001	201
26.10.2000	21,7	149	168	168	27.10.2001	181
27.10.2000	5,3	570	305	222	28.10.2001	208
28.10.2000	3,1	220	200	428	29.10.2001	289
29.10.2000	1,2	112	145	81,2	30.10.2001	121
30.10.2000	1	122	151	81,2	31.10.2001	121
31.10.2000	9,9	317	237	81,2	01.11.2001	121
01.11.2000	2,7	234	206	201	02.11.2001	198
02.11.2000	3,2	185	187	81,2	03.11.2001	121
03.11.2000	0,8	130	156	81,2	04.11.2001	121
04.11.2000	1,2	98,5	135	81,2	05.11.2001	121
05.11.2000	1,3	97,2	134	84,8	06.11.2001	124
06.11.2000	2,8	87,2	126	90,8	07.11.2001	129
07.11.2000	6,1	86	125	87,2	08.11.2001	126
08.11.2000	2,8	98,5	135	124	09.11.2001	153
09.11.2000	0,6	78,8	119	86,0	10.11.2001	125
10.11.2000	0,4	81,2	121	78,8	11.11.2001	119
11.11.2000	23,4	114	146	78,8	12.11.2001	119
12.11.2000	1,5	137	159	355	13.11.2001	262
13.11.2000	6,7	82,4	122	78,8	14.11.2001	119

Дата	X, мм	Q _{факт} , м ³ /с	H _{факт} , м	Q _{прог} , м ³ /с	Дата	H _{прог} , м
14.11.2000	3,8	77,6	118	118	15.11.2001	149
15.11.2000	12,2	125	153	77,6	16.11.2001	118
16.11.2000	5,8	252	210	207	17.11.2001	201
17.11.2000	11,5	130	156	163	18.11.2001	177
18.11.2000	9,7	223	205	199	19.11.2001	197
19.11.2000	8	215	200	206	20.11.2001	200
20.11.2000	10,3	257	219	180	21.11.2001	187
21.11.2000	10,6	223	205	225	22.11.2001	210
22.11.2000	2,4	252	216	218	23.11.2001	206
23.11.2000	2,6	138	161	116	24.11.2001	148
24.11.2000	5,9	108	142	81,1	25.11.2001	121
25.11.2000	0,4	208	198	116	26.11.2001	147
26.11.2000	0,9	152	169	108	27.11.2001	142
27.11.2000	2,1	107	141	114	28.11.2001	146
28.11.2000	4,4	90,8	129	88,6	29.11.2001	127
29.11.2000	0,6	99,8	136	90,4	30.11.2001	128
30.11.2000	3,2	105	140	77,6	01.12.2001	118
01.12.2000	2,2	111	144	91,9	02.12.2001	130
02.12.2000	1,6	107	142	88,9	03.12.2001	127
03.12.2000	0,7	104	139	82,4	04.12.2001	122
04.12.2000	5,5	99,8	136	77,6	05.12.2001	118
05.12.2000	3,2	95,3	133	104	06.12.2001	139
06.12.2000	9,5	92,0	130	85,2	07.12.2001	124
07.12.2000	24,6	174	180	126	08.12.2001	154
08.12.2000	13,1	379	245	283	09.12.2001	234
09.12.2000	1	235	206	334	10.12.2001	254
10.12.2000	2,9	137	160	149	11.12.2001	169

Дата	X , мм	$Q_{\text{факт.}}$, м ³ /с	$H_{\text{фак.}}$, м	$Q_{\text{прог.}}$, м ³ /с	Дата	$H_{\text{прог.}}$, м
11.12.2000	0,3	139	162	106	12.12.2001	140
12.12.2000	1,2	108	142	77,6	13.12.2001	118
13.12.2000	0,1	99,4	136	77,6	14.12.2001	118
14.12.2000	2,2	94,1	132	77,6	15.12.2001	118
15.12.2000	1	110,5	143	90,8	16.12.2001	129
16.12.2000	1,3	81,8	121	90,8	17.12.2001	129
17.12.2000	4,6	76,8	117	81,8	18.12.2001	121
18.12.2000	4	86,3	125	85,1	19.12.2001	124
19.12.2000	0,5	84,2	123	83,8	20.12.2001	123
20.12.2000	2,3	80,1	120	76,8	21.12.2001	117
21.12.2000	0,5	72,2	114	76,8	22.12.2001	117
22.12.2000	0,5	67,3	109	72,2	23.12.2001	113
23.12.2000	2	62,5	105	67,3	24.12.2001	109
24.12.2000	2,2	63	105	62,5	25.12.2001	105
25.12.2000	3,9	83,1	123	62,5	26.12.2001	105
26.12.2000	2,8	105	139	81,2	27.12.2001	121
27.12.2000	2,5	98,9	135	81,1	28.12.2001	121
28.12.2000	4	107	139	74,9	29.12.2001	116
29.12.2000	7,8	105	140	94,1	30.12.2001	131
30.12.2000	5,3	147	166	132	31.12.2001	158
31.12.2000	5,2	133	150	127	01.01.2002	155

Ниже представлены графики осадков, фактических и прогнозных расходов.

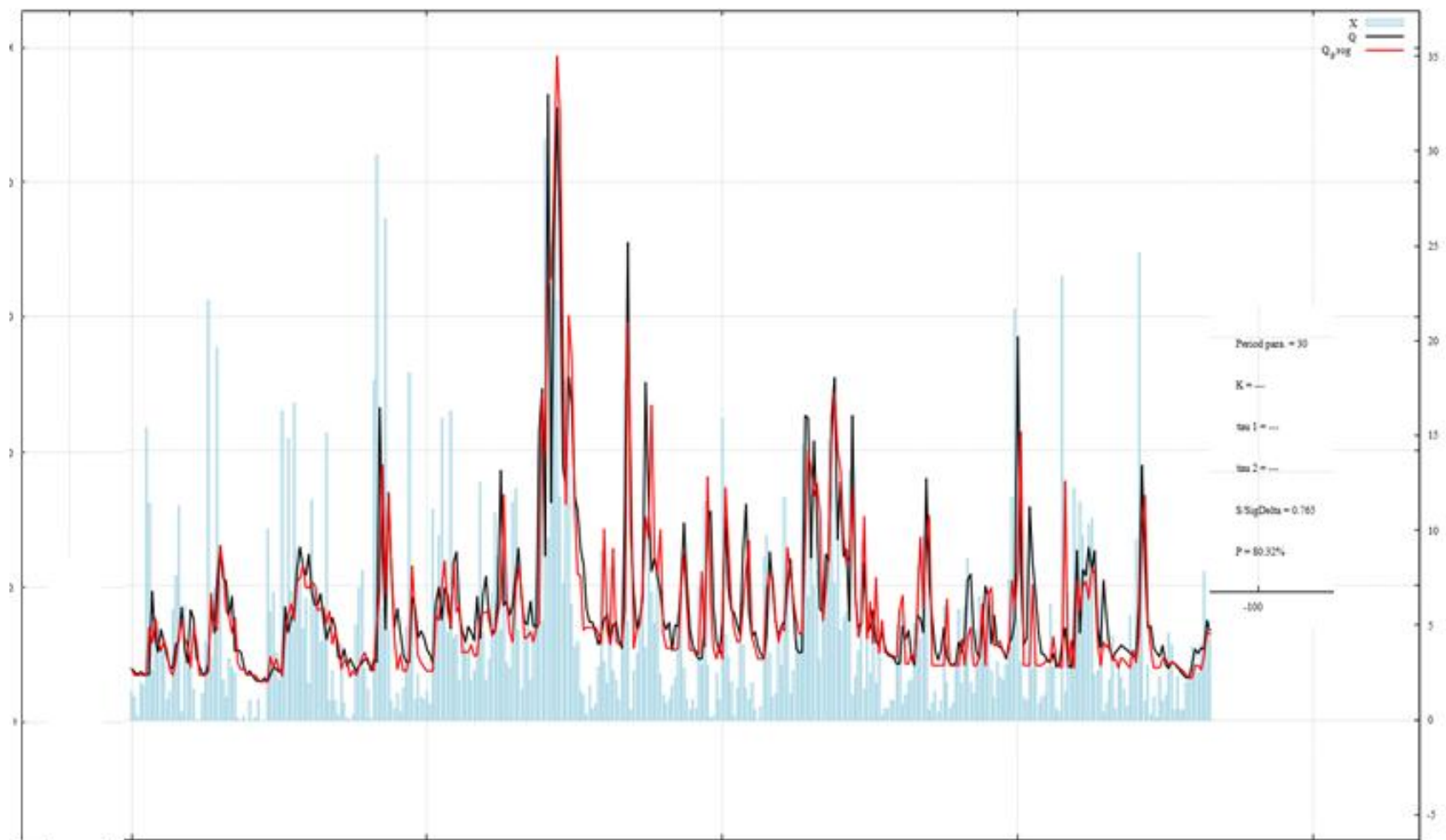


Рисунок 30 – Хронологический график прогнозных расходов.

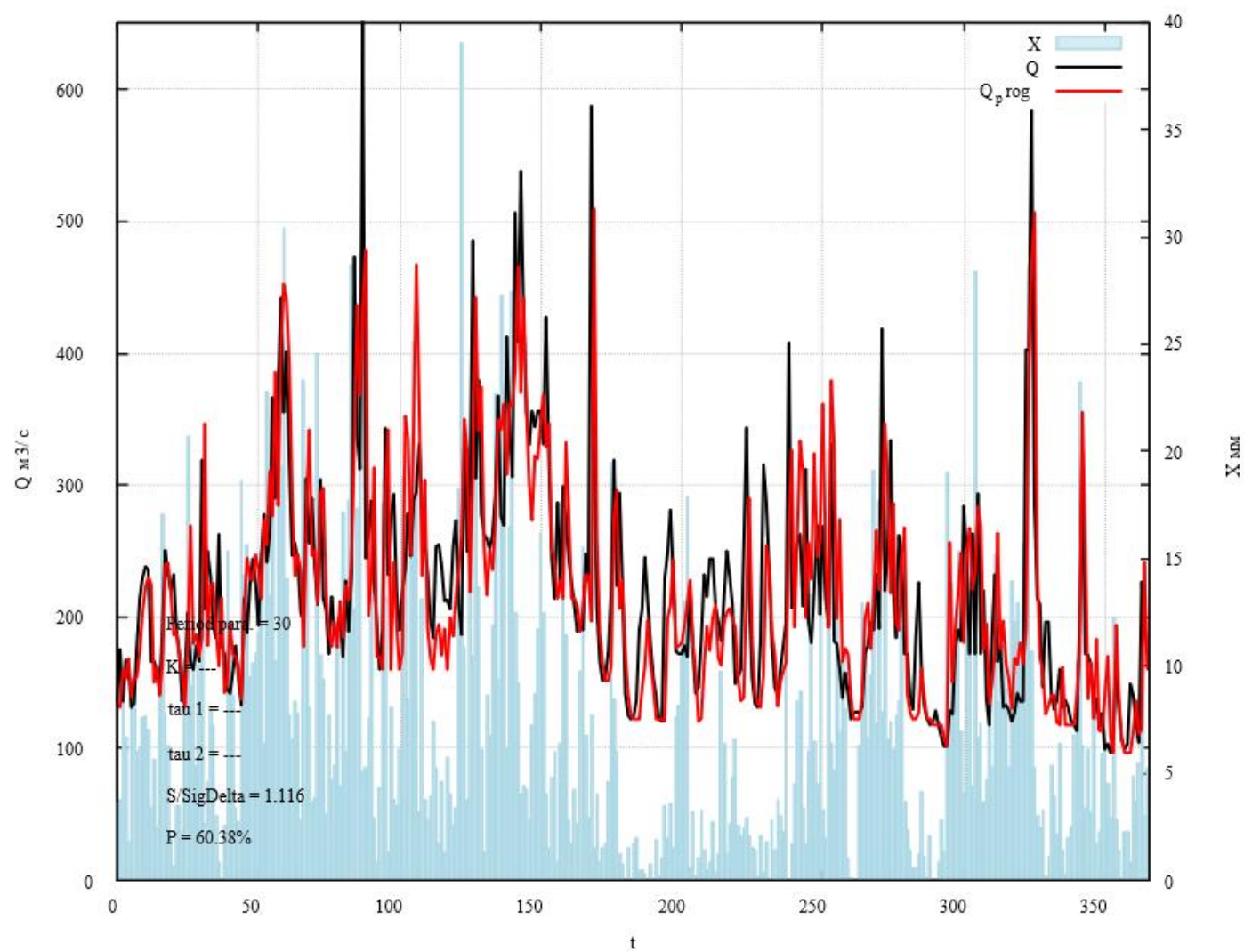


Рисунок 31 – Хронологический график прогнозных расходов.

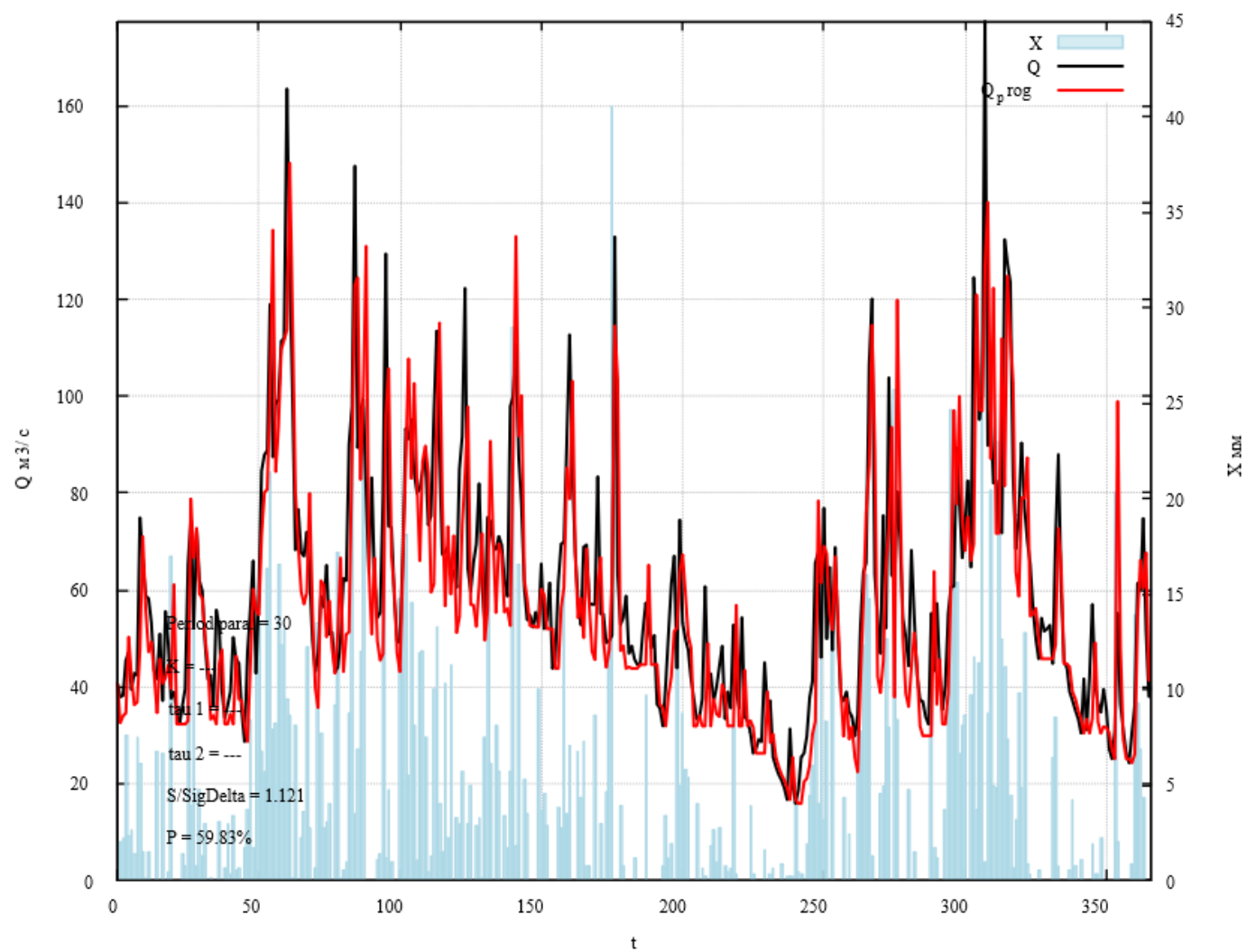


Рисунок 32– Хронологический график прогнозных расходов для станции Мерида.

Из графиков видно, что прогнозные значения расхода имеют схожую динамику с фактическими значениями.

Для полной проверки метода период прогноза был разделен на три этапа, целый год, многоводный период и маловодный период.

Ниже представлены таблицы с результатами прогноза для многоводной и маловодной фазы для станции Перикогно. Таблицы с результатами прогнозов для станций Ла Муралья и Мерида представлены в приложении В.

Таблица 4 – Результаты прогнозов для многоводного периода для станции Перикогно

Дата	$Q_{\text{факт}},$ $\text{м}^3/\text{с}$	Дата	$Q_{\text{прог}},$ $\text{м}^3/\text{с}$
18.05.2000	431	18.05.2001	431
19.05.2000	493	19.05.2001	537
20.05.2000	244	20.05.2001	305
21.05.2000	930	21.05.2001	911
22.05.2000	324	22.05.2001	570
23.05.2000	710	23.05.2001	788
24.05.2000	910	24.05.2001	987
25.05.2000	730	25.05.2001	902
26.05.2000	377	26.05.2001	563
27.05.2000	348	27.05.2001	321
28.05.2000	510	28.05.2001	601
29.05.2000	468	29.05.2001	536
30.05.2000	334	30.05.2001	321
31.05.2000	311	31.05.2001	324
01.06.2000	254	01.06.2001	311
02.06.2000	231	02.06.2001	254
03.06.2000	165	03.06.2001	231

Дата	Q _{факт} , м ³ /с	Дата	Q _{прог} , м ³ /с
04.06.2000	146	04.06.2001	165
05.06.2000	146	05.06.2001	146
06.06.2000	130	06.06.2001	146
07.06.2000	112	07.06.2001	130
08.06.2000	128	08.06.2001	112
09.06.2000	149	09.06.2001	175
10.06.2000	158	10.06.2001	132
11.06.2000	114	11.06.2001	142
12.06.2000	141	12.06.2001	124
13.06.2000	146	13.06.2001	123
14.06.2000	119	14.06.2001	134
15.06.2000	107	15.06.2001	112
16.06.2000	319	16.06.2001	124
17.06.2000	710	17.06.2001	473
18.06.2000	276	18.06.2001	638
19.06.2000	190	19.06.2001	107
20.06.2000	136	20.06.2001	107
21.06.2000	153	21.06.2001	142
22.06.2000	182	22.06.2001	215
23.06.2000	502	23.06.2001	362
24.06.2000	330	24.06.2001	154
25.06.2000	221	25.06.2001	647
26.06.2000	240	26.06.2001	255
27.06.2000	215	27.06.2001	218
28.06.2000	189	28.06.2001	266
29.06.2000	148	29.06.2001	143
30.06.2000	134	30.06.2001	136

Дата	$Q_{\text{факт}},$ $\text{м}^3/\text{с}$	Дата	$Q_{\text{прог}},$ $\text{м}^3/\text{с}$
01.07.2000	145	01.07.2001	134
02.07.2000	104	02.07.2001	134
03.07.2000	141	03.07.2001	104
04.07.2000	139	04.07.2001	113
05.07.2000	202	05.07.2001	134
06.07.2000	293	06.07.2001	215
07.07.2000	202	07.07.2001	267
08.07.2000	134	08.07.2001	148
09.07.2000	111	09.07.2001	104
10.07.2000	97	10.07.2001	104
11.07.2000	91	11.07.2001	97
12.07.2000	91	12.07.2001	225
13.07.2000	149	13.07.2001	100
14.07.2000	293	14.07.2001	255
15.07.2000	310	15.07.2001	223
16.07.2000	167	16.07.2001	243
17.07.2000	117	17.07.2001	114

Таблица 5 – Результаты прогнозов для маловодного периода на станции
Перикогно

Дата	$Q_{\text{факт}},$ $\text{м}^3/\text{с}$	Дата	$Q_{\text{прог}},$ $\text{м}^3/\text{с}$
01.01.2000	76,4	01.01.2001	76,4
02.01.2000	71,6	02.01.2001	66,4
03.01.2000	67,4	03.01.2001	66,4
04.01.2000	71,6	04.01.2001	66,4
05.01.2000	68,6	05.01.2001	66,4

Дата	$Q_{\text{факт}},$ $\text{м}^3/\text{с}$	Дата	$Q_{\text{прог}},$ $\text{м}^3/\text{с}$
06.01.2000	66,4	06.01.2001	66,4
07.01.2000	68	07.01.2001	137
08.01.2000	191	08.01.2001	115
09.01.2000	122	09.01.2001	152
10.01.2000	101	10.01.2001	117
11.01.2000	134	11.01.2001	102
12.01.2000	116	12.01.2001	118
13.01.2000	95,3	13.01.2001	103
14.01.2000	78,8	14.01.2001	74,5
15.01.2000	77	15.01.2001	66,4
16.01.2000	112	16.01.2001	88,7
17.01.2000	117	17.01.2001	140
18.01.2000	167	18.01.2001	173
19.01.2000	107	19.01.2001	87,7
20.01.2000	84,8	20.01.2001	113
21.01.2000	164	21.01.2001	77,0
22.01.2000	150	22.01.2001	127
23.01.2000	93,5	23.01.2001	111
24.01.2000	79,4	24.01.2001	77,0
25.01.2000	69,2	25.01.2001	77,0
26.01.2000	66,9	26.01.2001	69,2
27.01.2000	83,9	27.01.2001	72,4
28.01.2000	171	28.01.2001	206
29.01.2000	130	29.01.2001	145
30.01.2000	203	30.01.2001	133
31.01.2000	259	31.01.2001	251
01.02.2000	211	01.02.2001	227

Дата	$Q_{\text{факт}},$ $\text{м}^3/\text{с}$	Дата	$Q_{\text{прог}},$ $\text{м}^3/\text{с}$
02.02.2000	207	02.02.2001	163
03.02.2000	156	03.02.2001	161
04.02.2000	184	04.02.2001	133
05.02.2000	102	05.02.2001	156
06.02.2000	104	06.02.2001	89,5
07.02.2000	101	07.02.2001	102
08.02.2000	80	08.02.2001	101
09.02.2000	66,9	09.02.2001	80,0
10.02.2000	72,8	10.02.2001	66,9
11.02.2000	65,8	11.02.2001	66,9
12.02.2000	59,2	12.02.2001	65,8
13.02.2000	57,5	13.02.2001	59,2
14.02.2000	57	14.02.2001	57,5
15.02.2000	62,5	15.02.2001	57,0
16.02.2000	57	16.02.2001	57,0
17.02.2000	67	17.02.2001	128
18.02.2000	77,6	18.02.2001	57,0
19.02.2000	76,4	19.02.2001	89,3
20.02.2000	71,7	20.02.2001	75,3
21.02.2000	74,0	21.02.2001	65,9

Были построены графики с результатами прогнозов представленными на последующих страницах (рисунки 33–38).

Из графиков видно, что методика более эффективно работает при многоводном периоде, когда связь с осадками более тесна, а при маловодном периоде, когда связь с осадками слабая, методика не показывает себя также эффективно, как для многоводного периода.

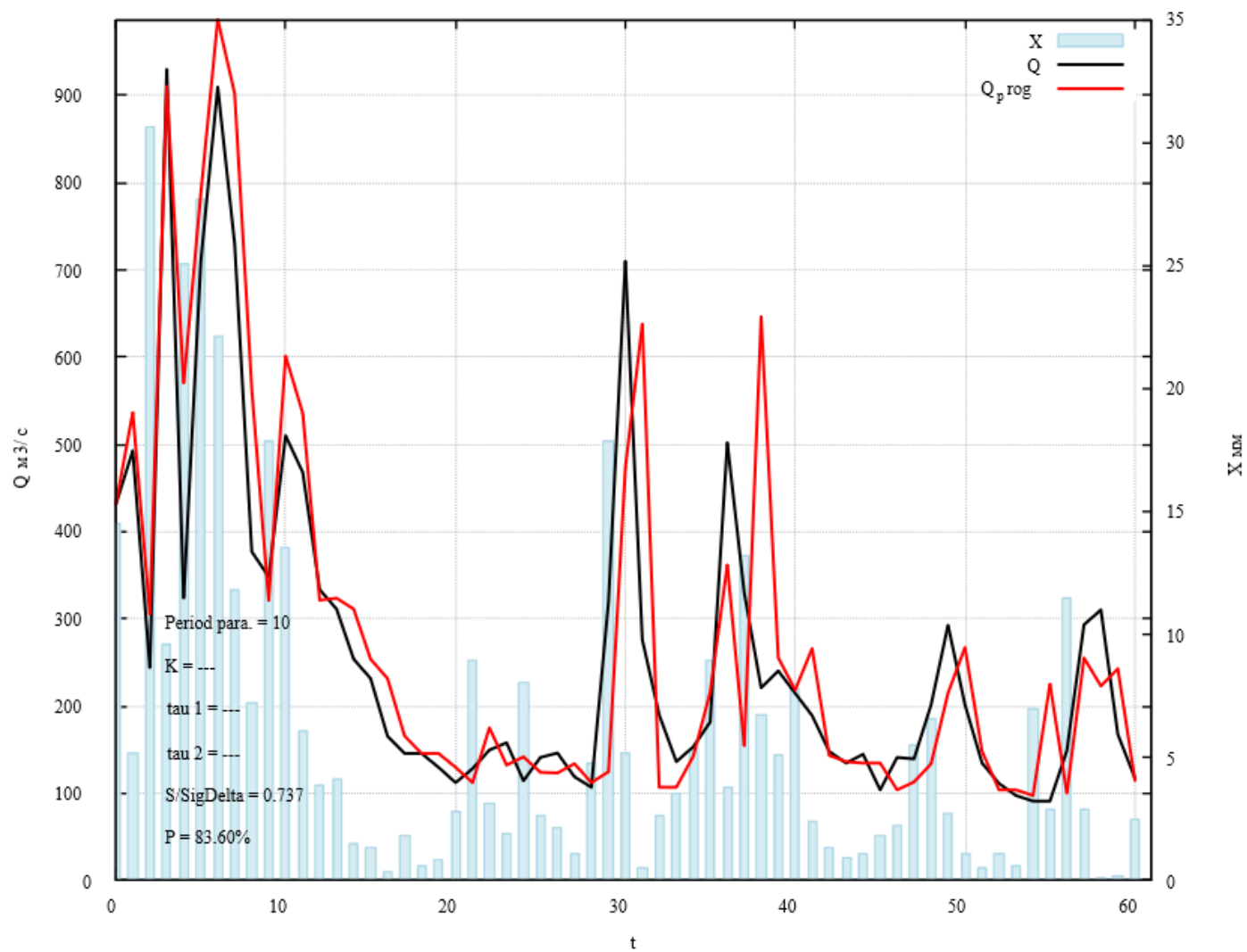


Рисунок 33 – График с фактическими и прогнозными значениями для станции Перикогно в многоводный период.

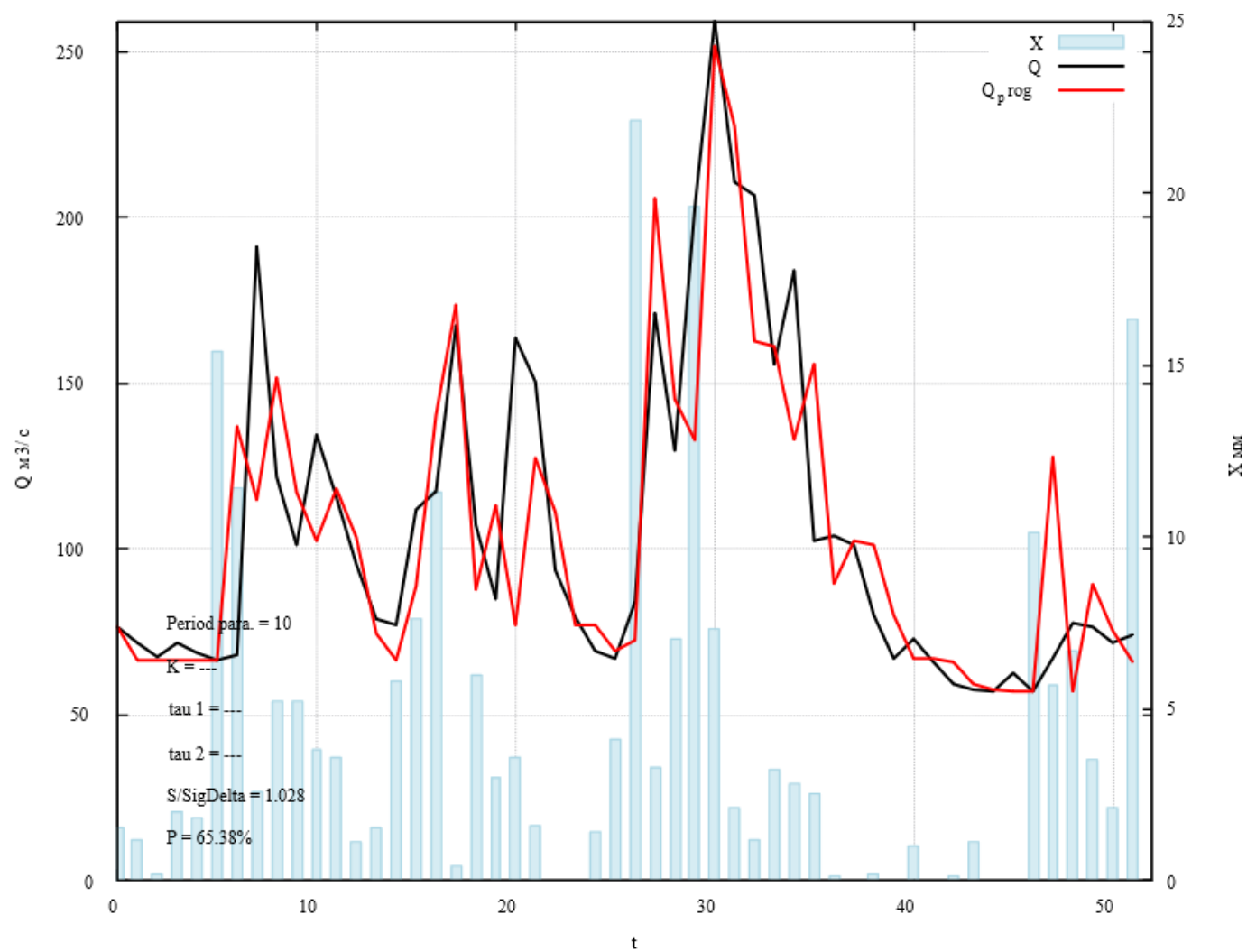


Рисунок 34 – График с фактическими и прогнозными значениями для станции Перикогно в маловодный период.

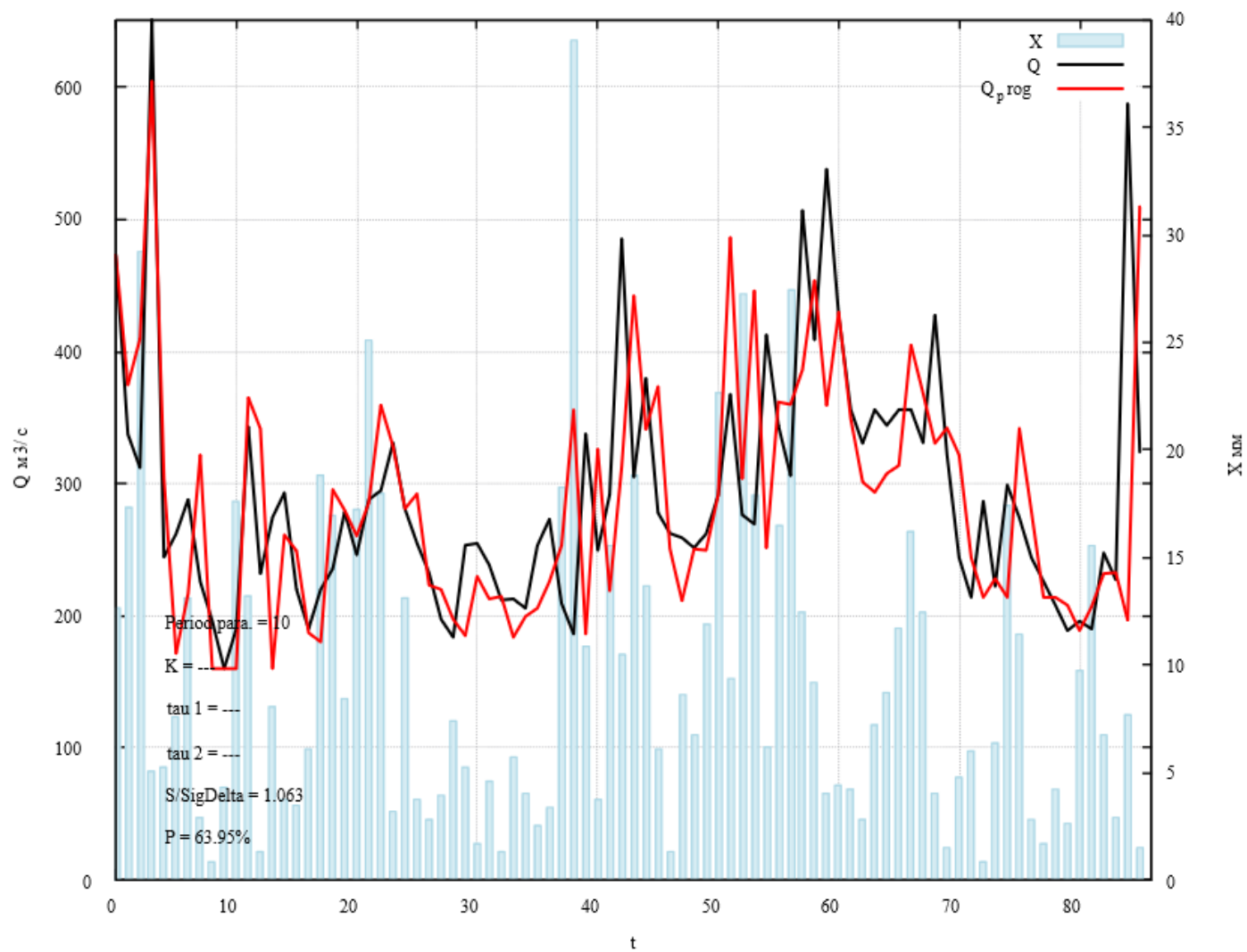


Рисунок 35 – График с фактическими и прогнозными значениями для станции Ла Муралья в многоводный период.

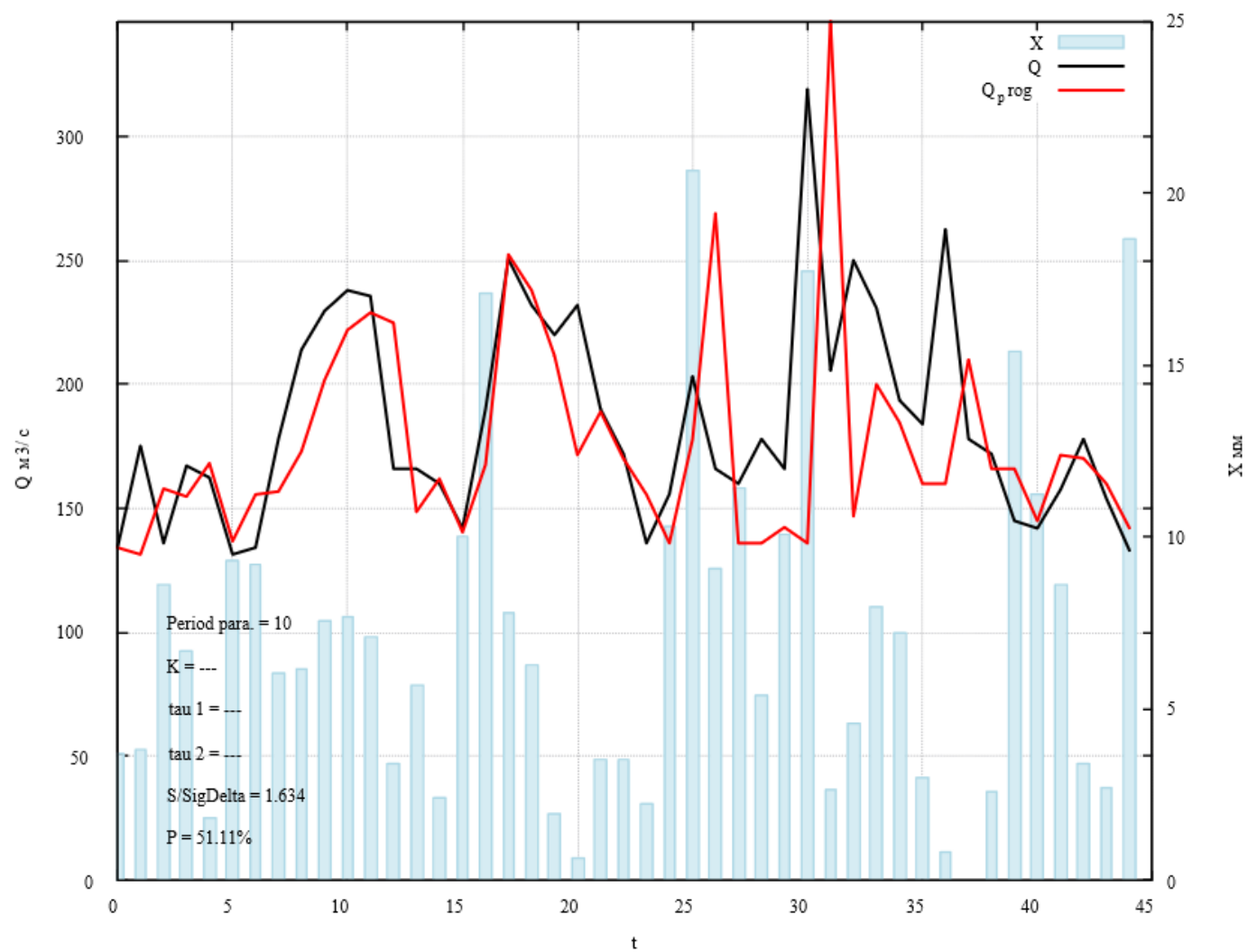


Рисунок 36 – График с фактическими и прогнозными значениями для станции Ла Муралья в маловодный период.

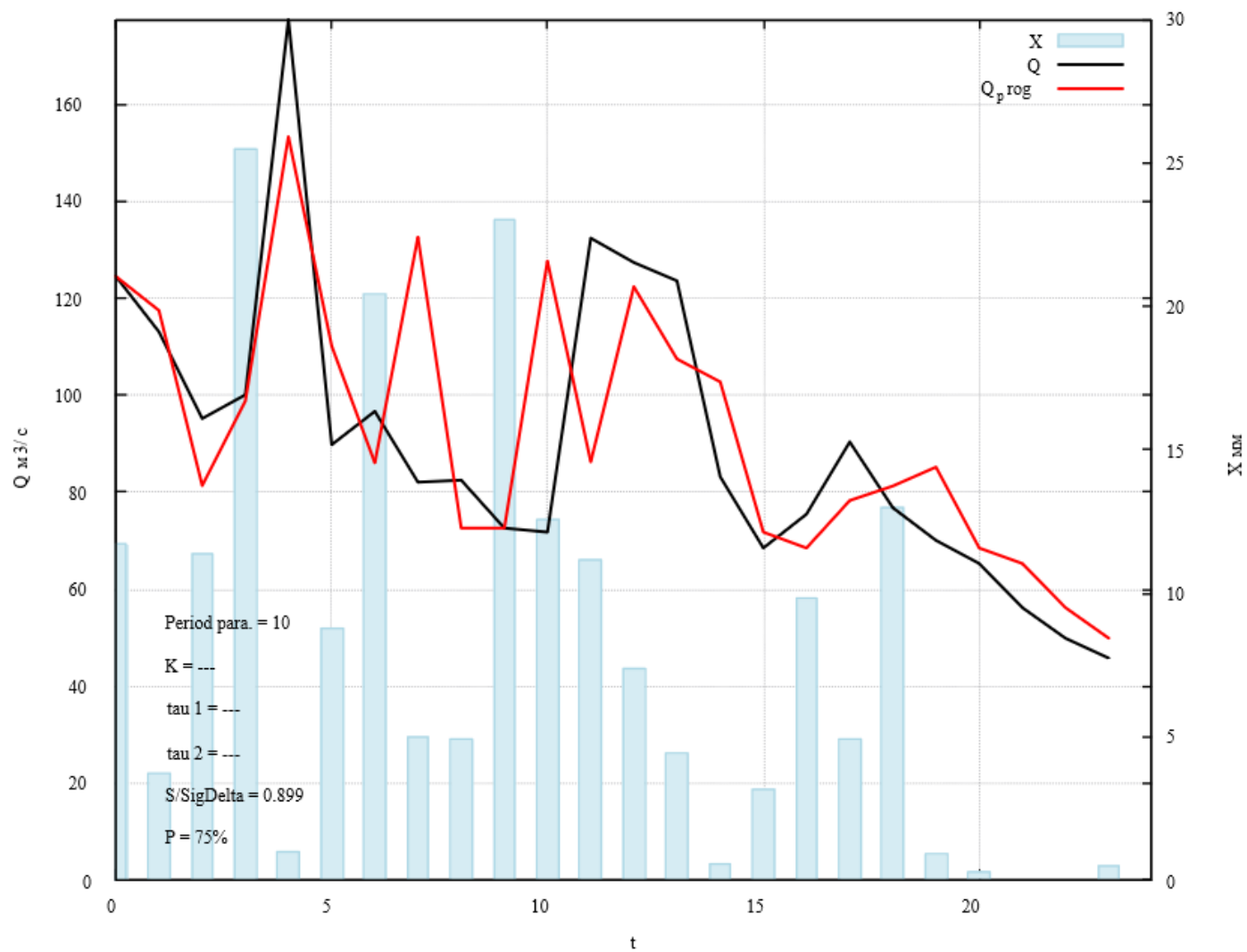


Рисунок 37 – График с фактическими и прогнозными значениями для станции Мерида в многоводный период.

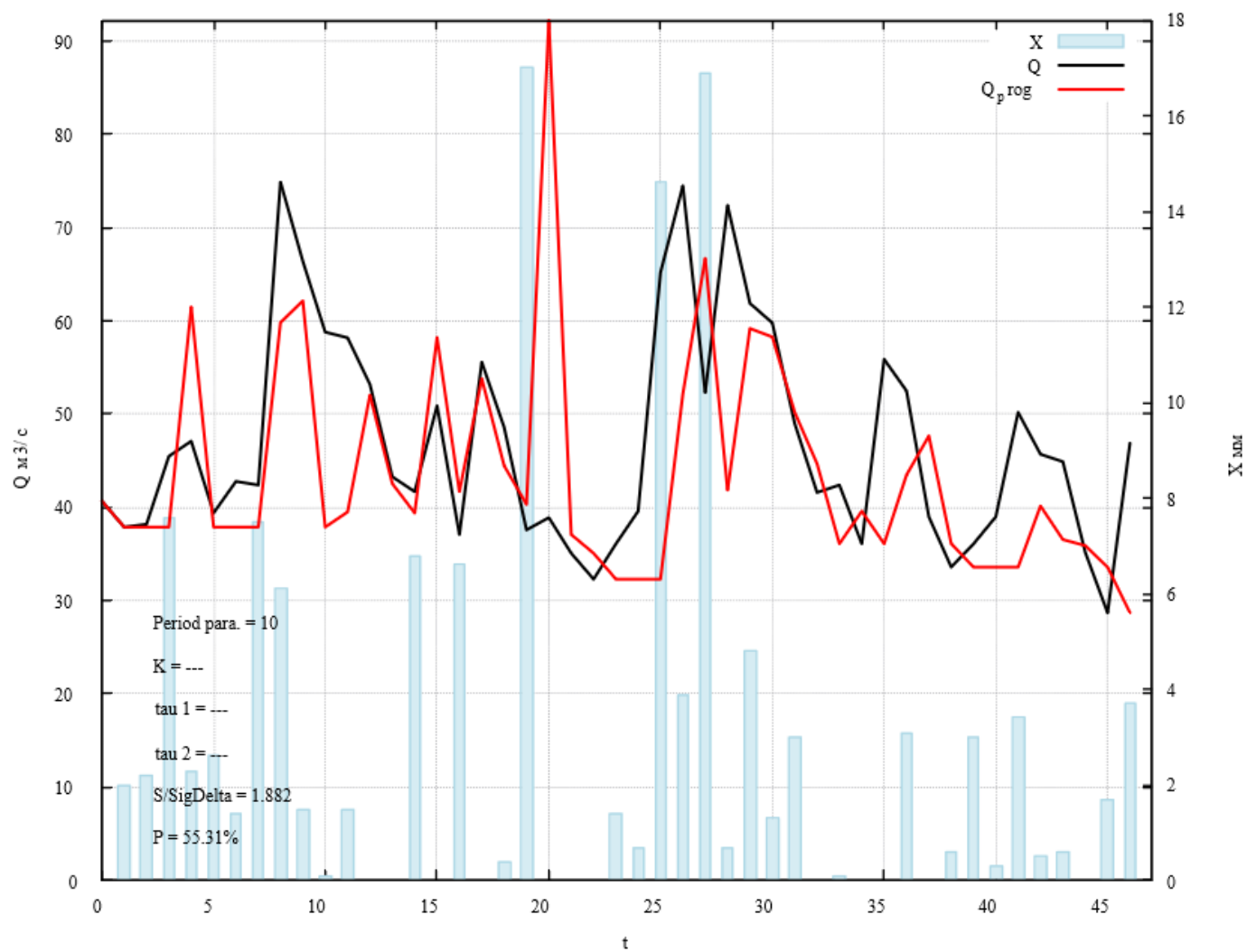


Рисунок 38 – График с фактическими и прогнозными значениями для станции Мерида в маловодный период

5.5 Оценка эффективности методики

Для оценки эффективности методики были рассчитаны следующие критерии: S/σ_{Δ} , P в % и критерий Нэша. В ниже представленной таблице представлены результаты данных критериев.

Таблица 6 – Оценка критериев эффективности для годового периода

Река	Гидрологический пост	S/σ_{Δ}	P , %	$Nash$
Магдалена	Перикогно	0,765	80,32	0,677
Салдана	Ла муралья	1,116	60,36	0,456
Фонсе	Мерида	1,121	59,83	0,638

Как видно в выше представленной таблице критерий S/σ_{Δ} меньше критической отметки 0,8 в одном случае, но, количество опережаемых прогнозов по всем говорит о значительно не плохих результатах, а также критерий Нэша по двум водосборам дает положительную оценку.

Таблица 7 – Оценка критериев эффективности для многоводного периода

Река	Гидрологический пост	S/σ_{Δ}	P , %	$Nash$
Магдалена	Перикогно	0,737	83,6	0,701
Салдана	Ла муралья	1,063	63,95	0,205
Фонсе	Мерида	0,899	75	0,508

Как видно в выше представленной таблице критерий S/σ_{Δ} дает оценку выше чем в годовом периоде, следовательно, можно сделать вывод, что методика работает лучше в многоводный период, когда осадки и сток имеют более тесную связь.

Таблица 8 –Оценка критерия жффективности для маловодного периода

Река	Гидрологический пост	S/σ_{Δ}	$P, \%$	$Nash$
Магдалена	Перикогно	1,028	65,38	0,645
Салдана	Ла муралья	1,634	51,11	-0,32
Фонсе	Мерида	1,882	55,31	-0,3

Для маловодного периода оценка эффективности S/σ_{Δ} дает самые низкие значения, а критерий Нэша и вовсе негативные значения, следовательно, можно сделать вывод, что данная методика не эффективна для маловодного периода.

5.6 Построение карт затопления

Программное обеспечение

Были построены карты затопления территорий при помощи ГИС технологий, в частности с программой *ArcView*, версия 10.3 (рисунок 39).

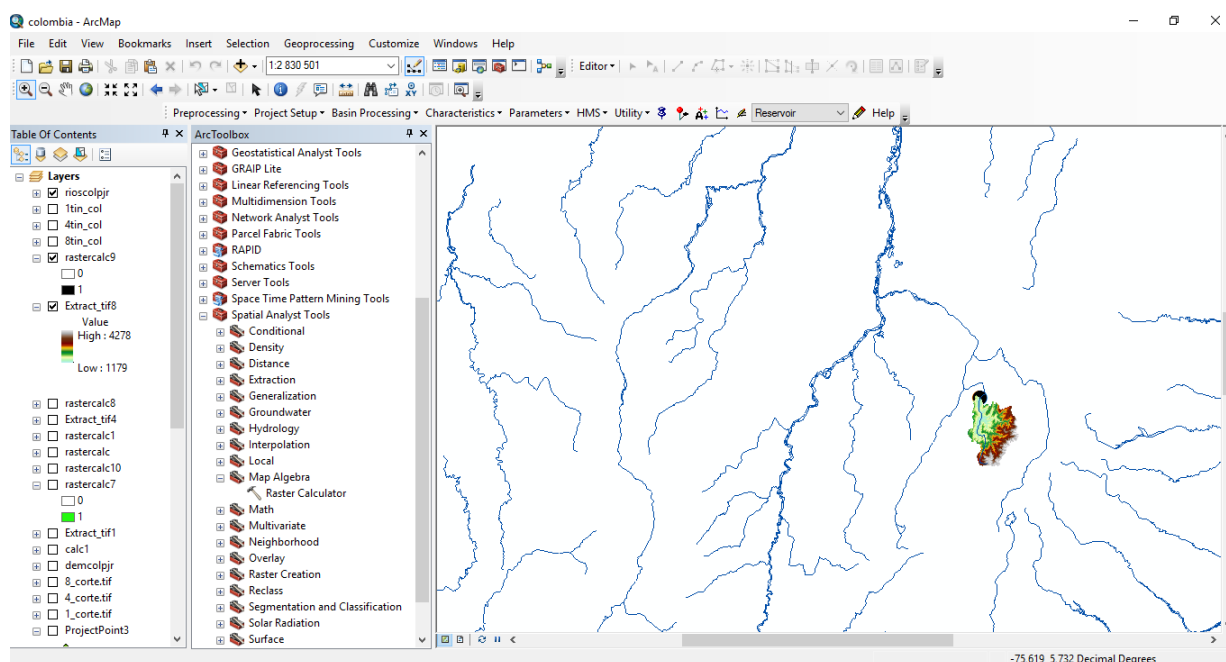


Рисунок 39 – Принтскрин программы *ArcView*.

С помощью данной программы, при имеющихся данных о рельефе территории с соответствующими отметками высот, географическом расположении гидрологических постов и слое рек, были построены карты затопления на основе высотных отметок, то есть, вся территория ниже обусловленной отметки подвергалась затоплению.

На последующих рисунках представлены карты затопления для водосборов рек Колумбии.

Из рисунков видно, затопленная территория очень незначительная, в связи с тем, что водосборы находятся в горных регионах.

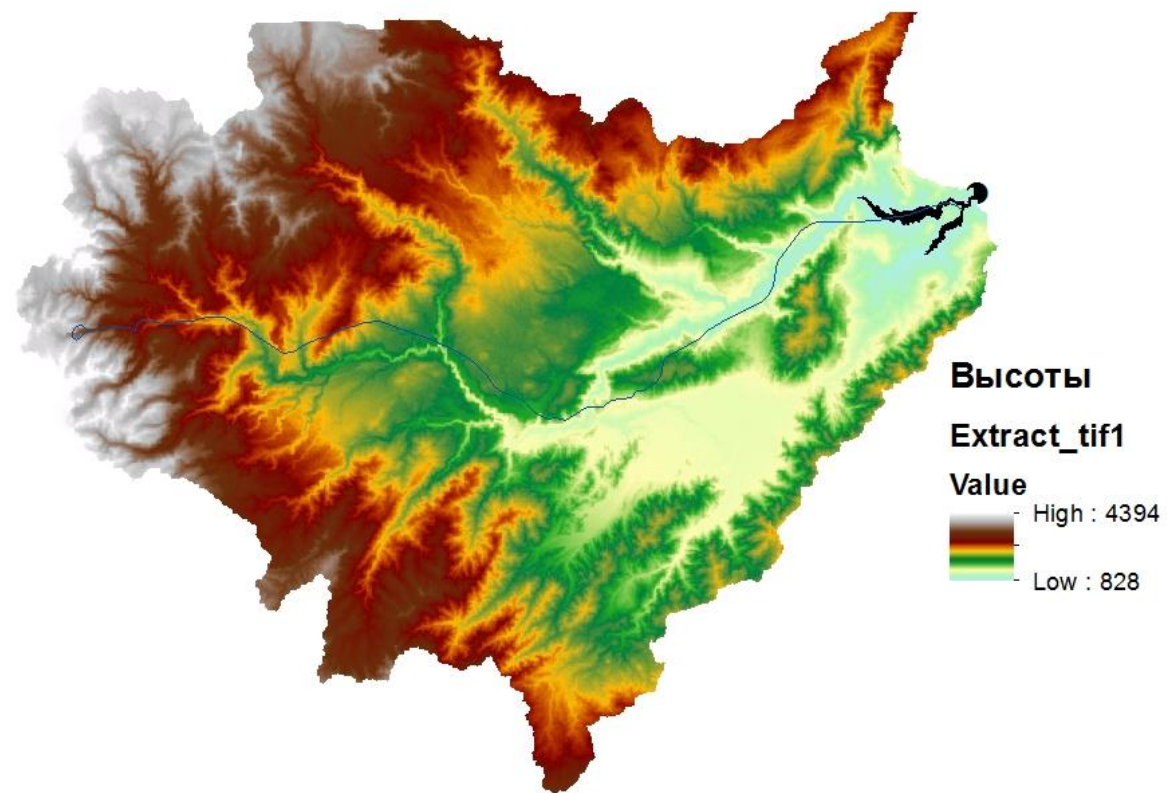


Рисунок 40– Карта зон затопления для поста Перикогно.

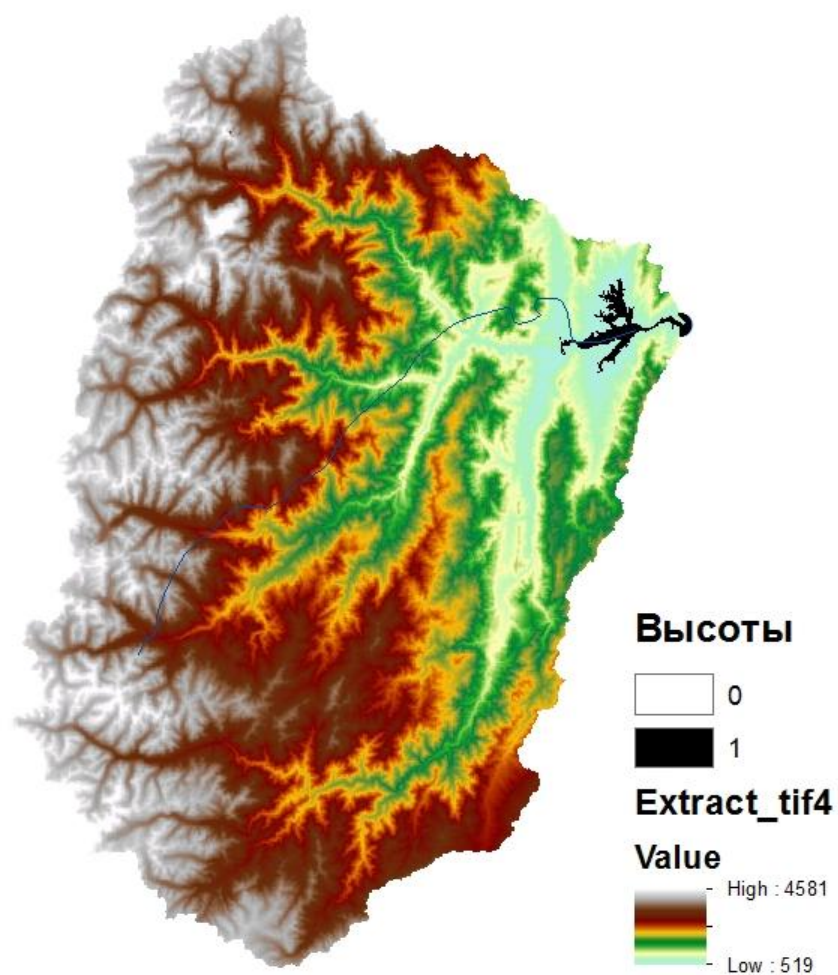


Рисунок 41 – Карта зон затопления для поста Ла Муралья.

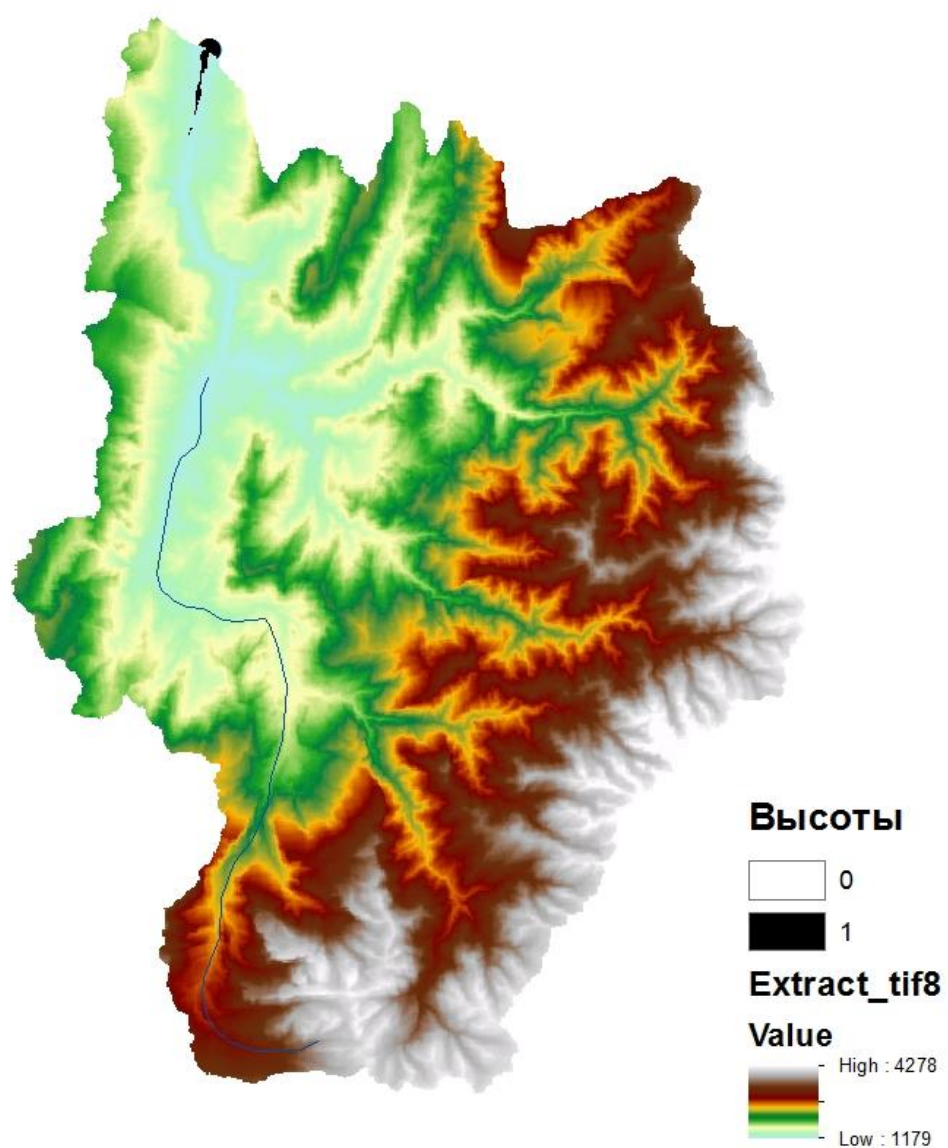


Рисунок 42 – Карта зон затопления для поста Мерида.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была разработана методика прогноза зон затопления территории на основе трех водосборов рек Колумбии.

Были выполнены поверочные прогнозы расходов и уровней воды на основе имеющихся данных.

С помощью программного обеспечения были построены карты затопления территорий, с помощью которых можно оценить затопленную территорию на основе поверочных прогнозов.

В ходе работы были получены следующие результаты:

- сформирована база данных гидрометеорологических характеристик для рек Колумбии;
- сформирована база данных прогнозных расходов и уровней воды для рек Колумбии;
- получены оценки $S/\sigma\Delta$ и $P\%$ с помощью которых можно определить эффективность данной методики;
- построены карты зон затопления территорий для водосборов рек Колумбии;
- разработана методика прогноза расходов и уровней.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

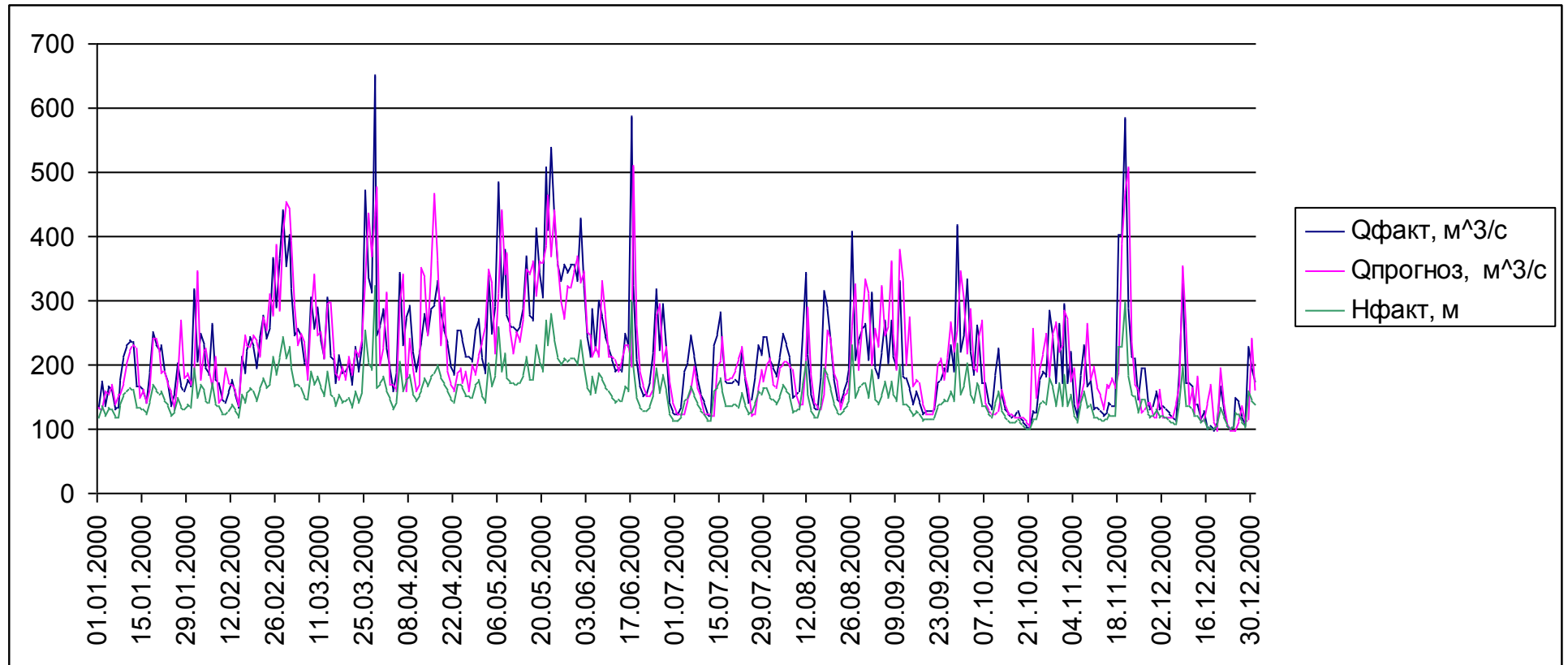
1. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик [Текст]. – М.: ФГУП ЦПП; Госстрой России, 2004. – 73 с.
2. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales // Entidad [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.ideam.gov.co/entidad> (дата обращения 12.04.16)
3. Colombia [электронный ресурс]// Colombia – Режим доступа <https://en.wikipedia.org/wiki/Colombia> (дата обращения 10.04.2016)
4. Коваленко, В.В. Моделирование гидрологических процессов [Текст]: учебник.–Изд. 2-е, испр. и доп. / В.В. Коваленко, Н.В. Викторова, Е.В. Гайдукова.–СПб.: Изд. РГГМУ, 2006.–559 с.
5. Model evaluation guidelines for systematic Quantification of accuracy in watershed simulations/ D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, T. L. Veith
6. http://wiki.ead.pucv.cl/images/1/1b/Atlas_cuenca_del_rio_magdalena_version_final.pdf
7. Parques nacionales naturales de colombia - Parque Nacional Natural Las Hermosas - Plan de Manejo 2005-2009 - Dirección Territorial Suroccidental 2005 [PDF]
8. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. Estudio De Diagnóstico, Prospectiva y Formulación Cuenca Río Negro. Bogotá – Colombia 2009.
9. World meteorological organization, 2011: Manual on Flood Forecasting and Warning, Geneva, Switzerland 2011.
10. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Serie de registros hidrometeorológicos, 2013
11. Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe, River flow forecasting through conceptual

- models[Текст] part I — A discussion of principles, Journal of Hydrology, 10 (3), 282–290. 1970.
12. Perrin Charles, Michel Claude и Andreassian Vazken. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. Journal of Hydrology[Текст] (vol. 279 pag 275-289) 2003
 13. Jaramillo R., A.; Chaves C., B. Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. [Текст]Cenicafé 51(2): 102-113. 2000.
 14. Cadavid , Juan David, Carvajal Luis Fernando. Modelo autorregresivo bilineal aplicado a la predicción mensual de caudales en colombia. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. [Текст]Medellín, Colombia. vol. 12, No. 23 pp. 23 - 34 2013
 15. Наставление по службе прогнозов. Разд. 3. Служба гидрологических прогнозов. Ч. I Прогнозы режима воды суши Гидрометеорологическое издательство[Текст] Ленинград 1962. — 194 с.
 16. Кучмент Л.С. Математическое моделирование речного стока. [Текст]Гидрометеиздат. Ленинград 1972 — 192 с.
 17. Наставление по службе прогнозов. Разд. 3. Служба гидрологических прогнозов. Ч. 1. Прогнозы режима вод суши.[Текст] – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 192 с.
 18. World meteorological organization, 2011: Manual on Flood Forecasting and Warning, Geneva, Switzerland 2011.
 19. Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe, River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles[Текст] Journal of Hydrology, 10 (3), 282–290. 1970.
 20. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. Estudio De Diagnóstico, Prospectiva y Formulación Cuenca Río Negro. Bogotá – Colombia 2009.

21. Carvajal, Luis Fernando, Roldán, Ernesto. Calibration of GR4J lumped rainfall-runoff model application [Текст] Rio Aburrácatchment. Dyna, 74(152), 73-87. 2007.

Приложение А – Результаты прогнозов для станций Ла Муралья и Мерида

а)



б)

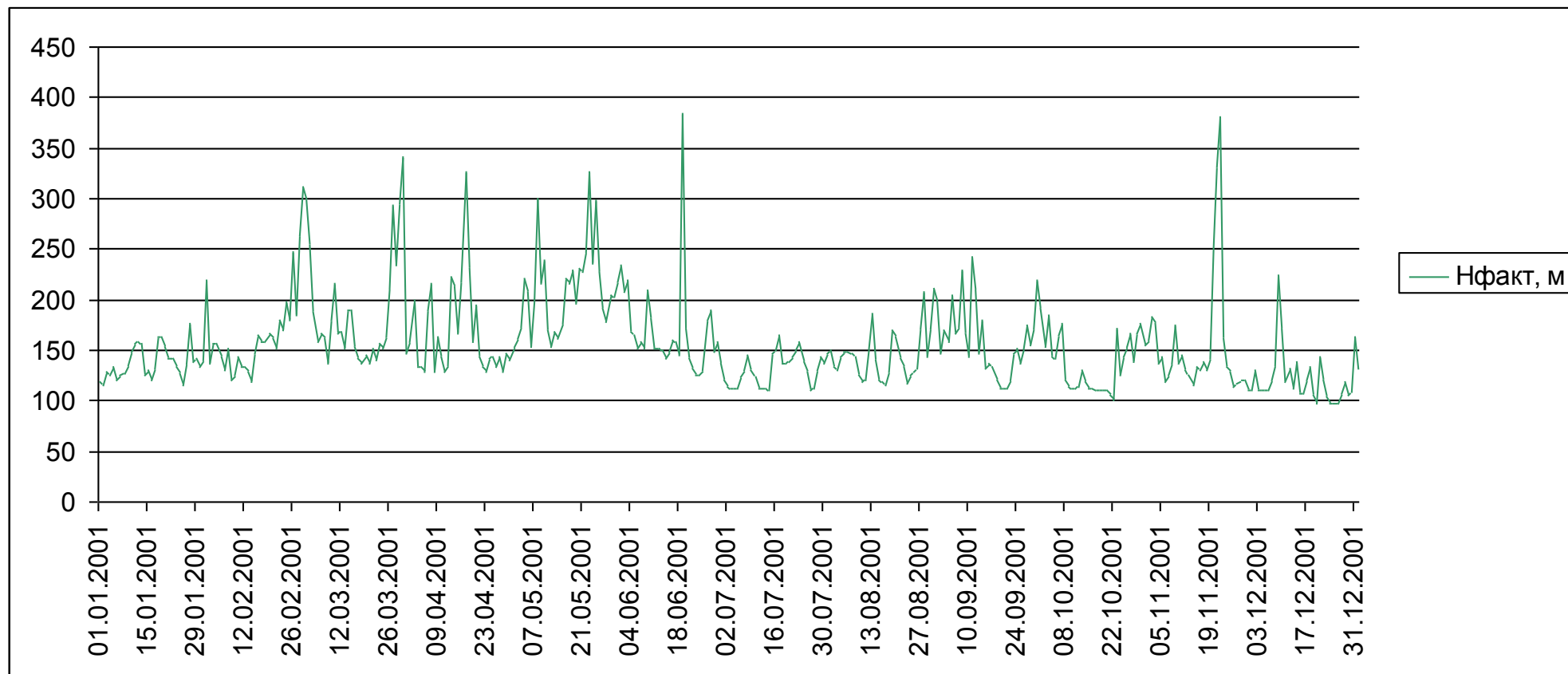
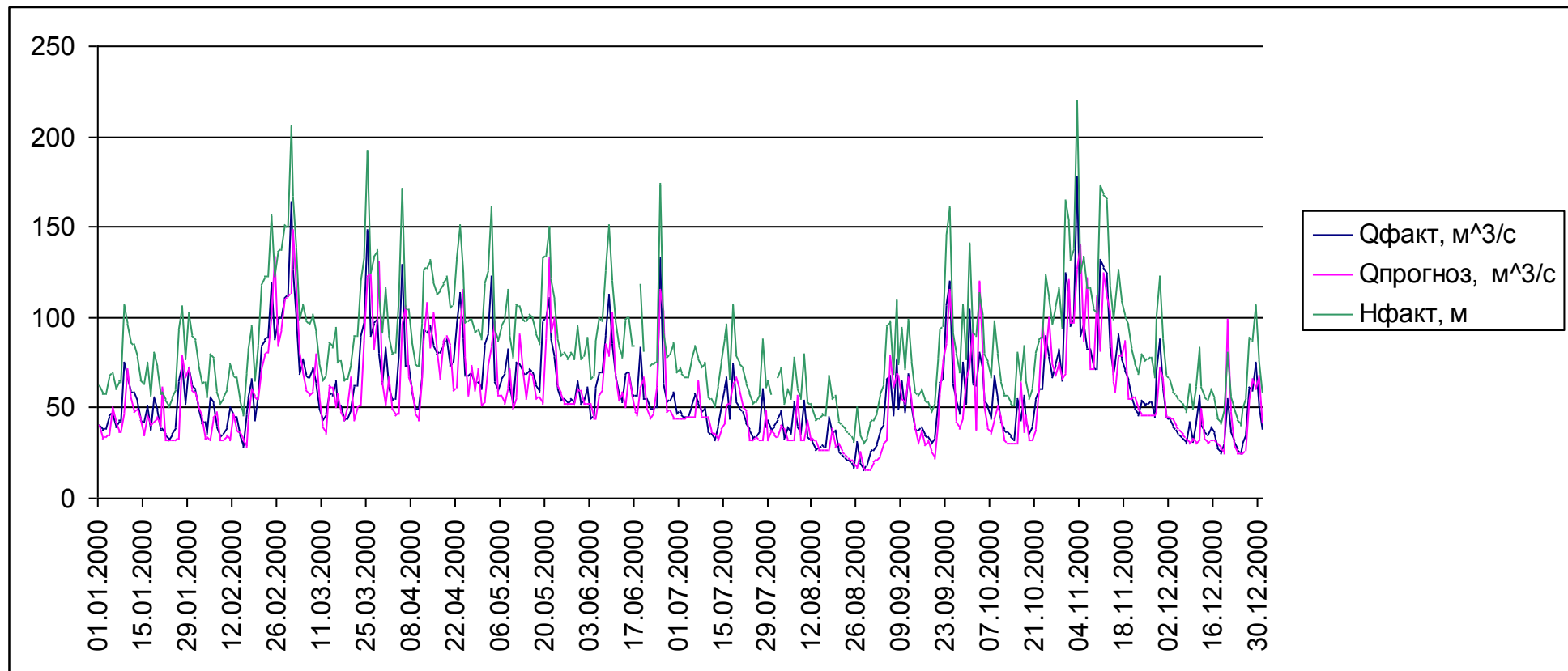


Рисунок А.1 – Результаты прогнозов для станции Ла Муралья.

a)



б)

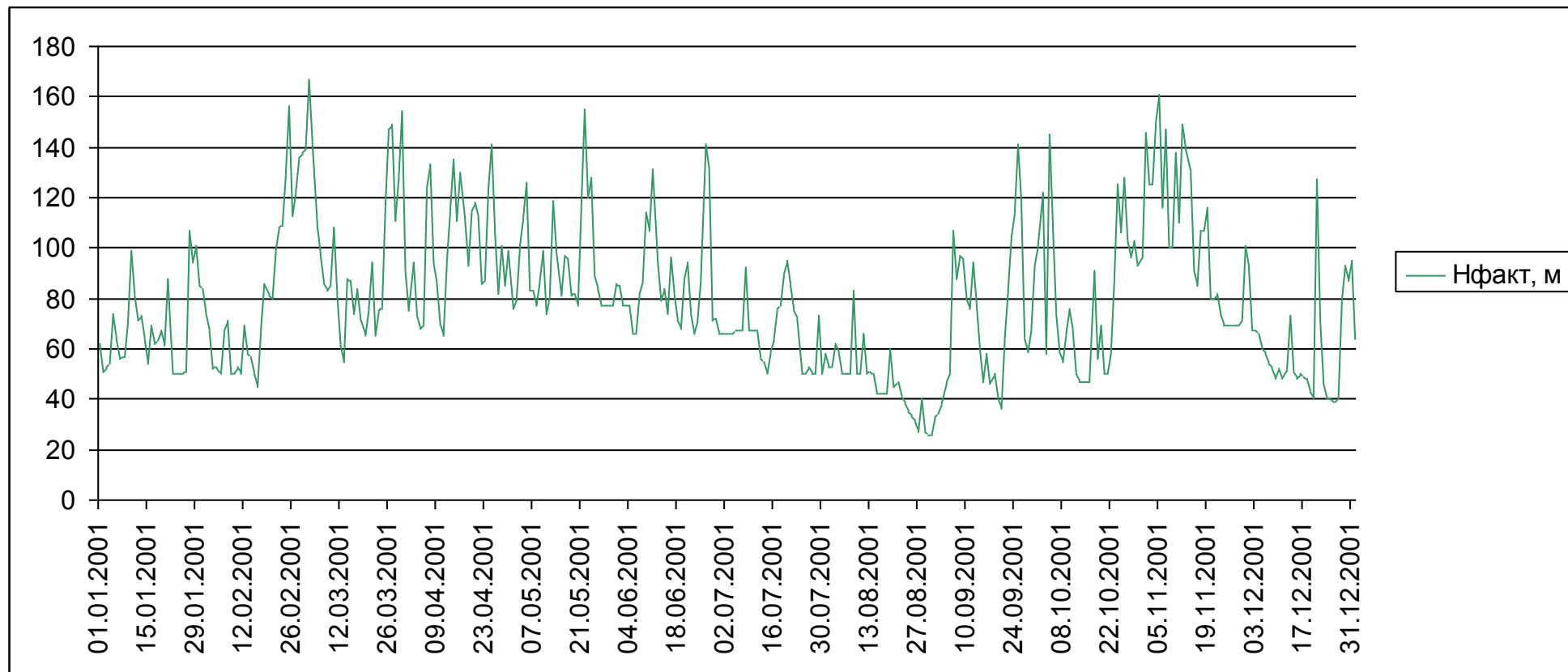


Рисунок А.2 – Результаты прогнозов для станции Мерида.

Приложение Б – Информация наблюдений для построения кривой $Q=f(H)$ для всех станций

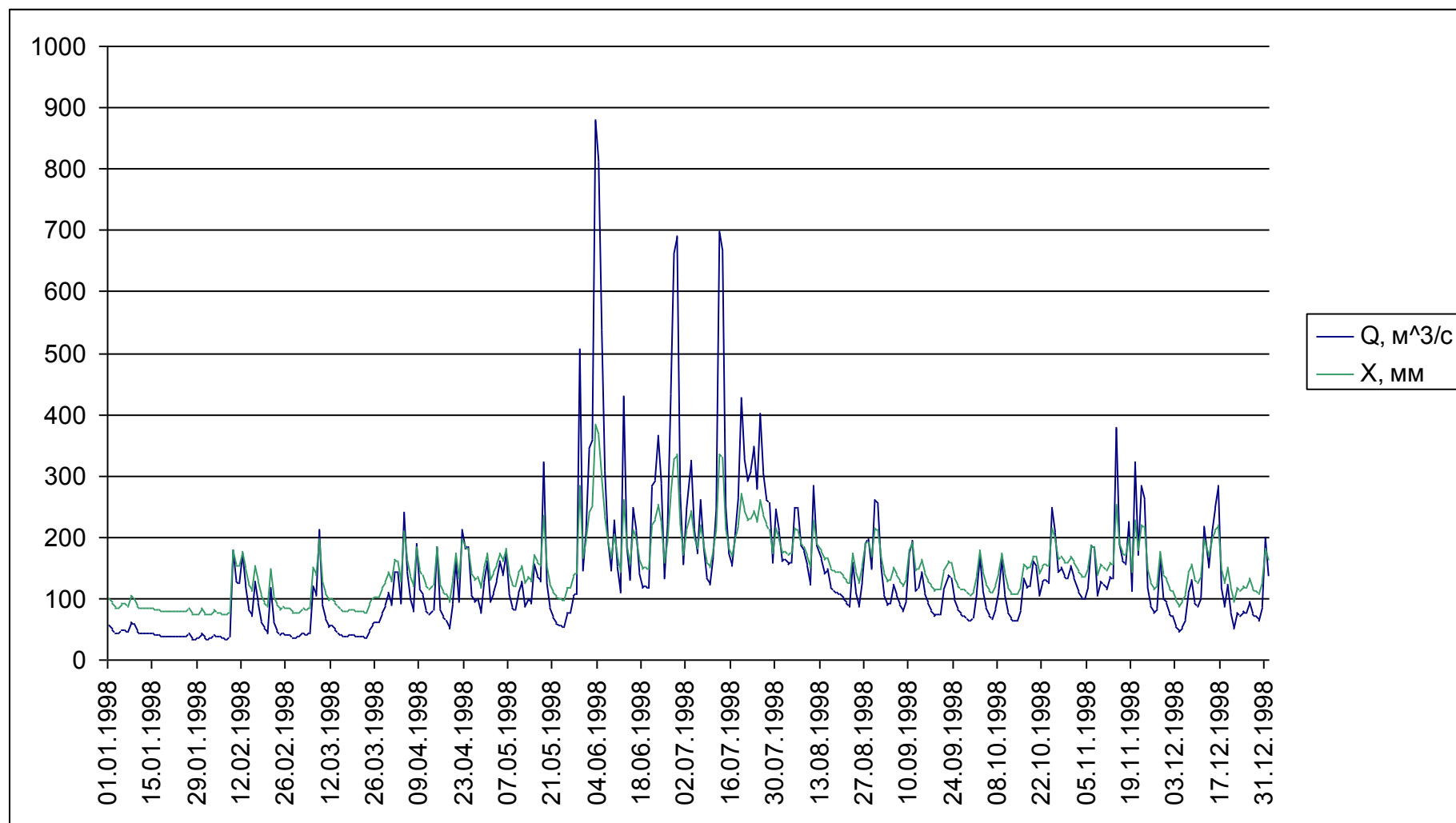


Рисунок Б.1 – Расходы и осадки для периода 1998 – 2000гг. для станции Перикогно.

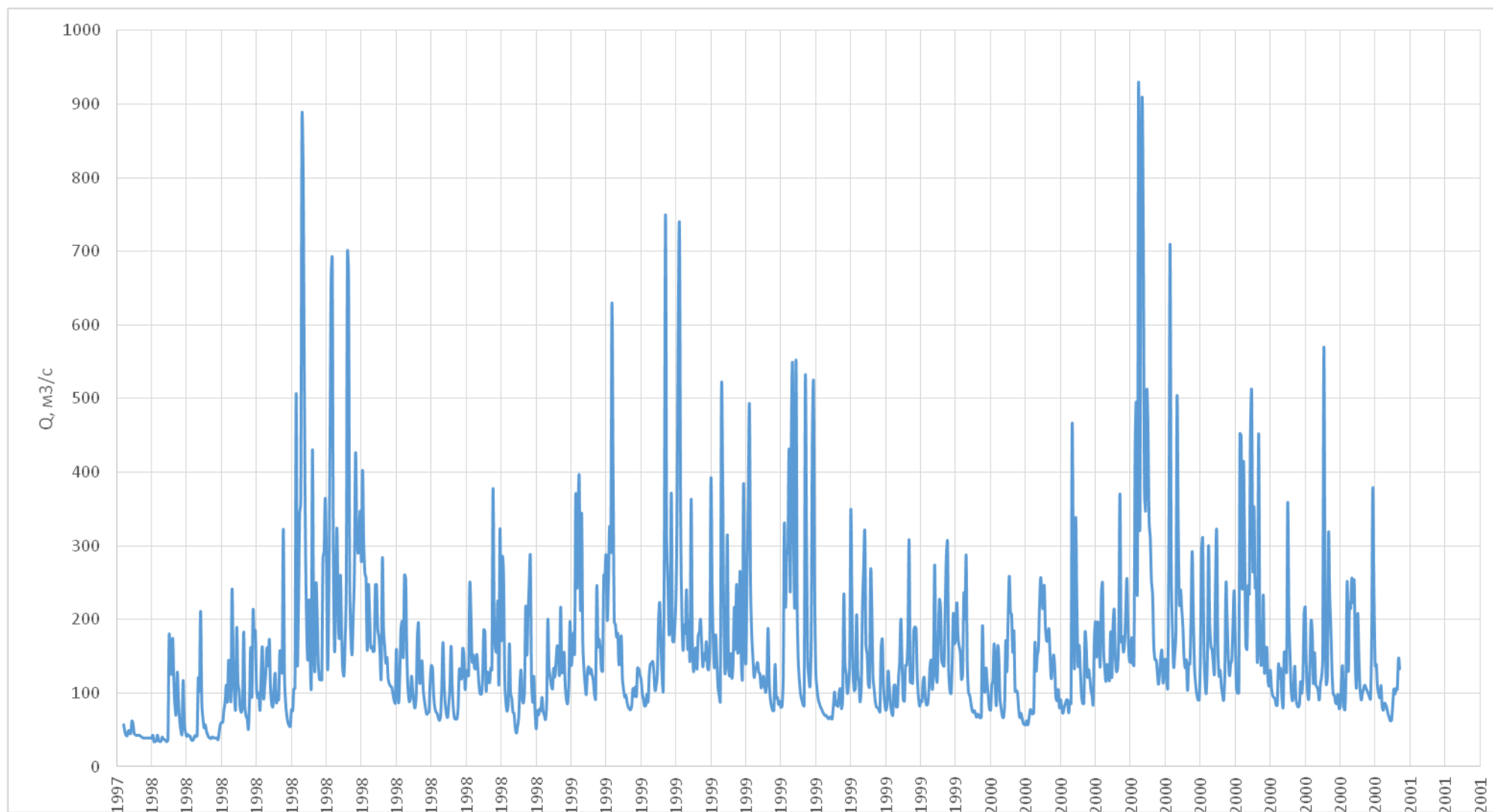


Рисунок Б.2 – Хронологический ряд расходов воды за период 1998-2000г. станция Перикогно..

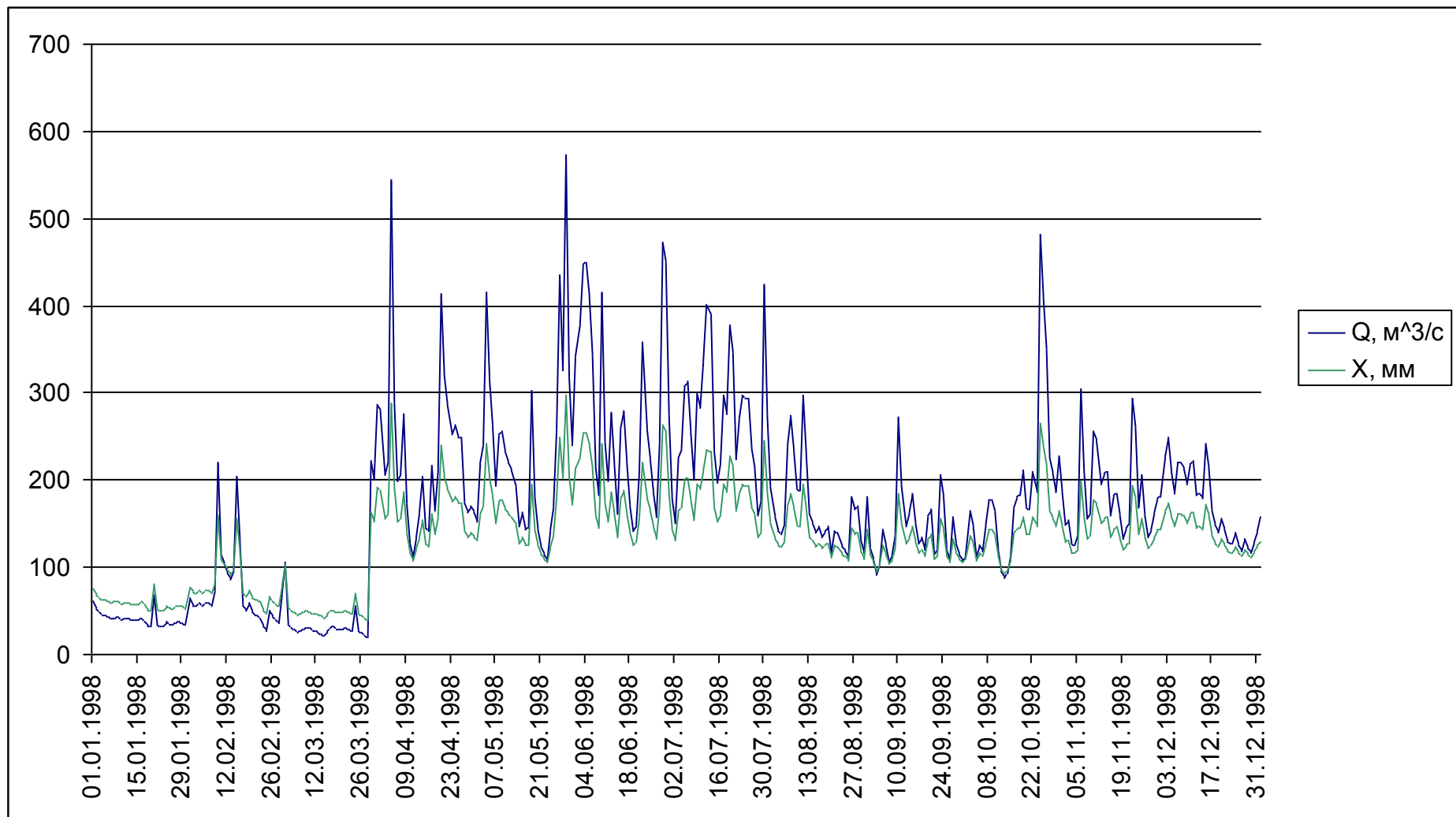


Рисунок Б.3 –Осадки и расходы воды на период 1998-2000гг. для станции Ла Муралья.

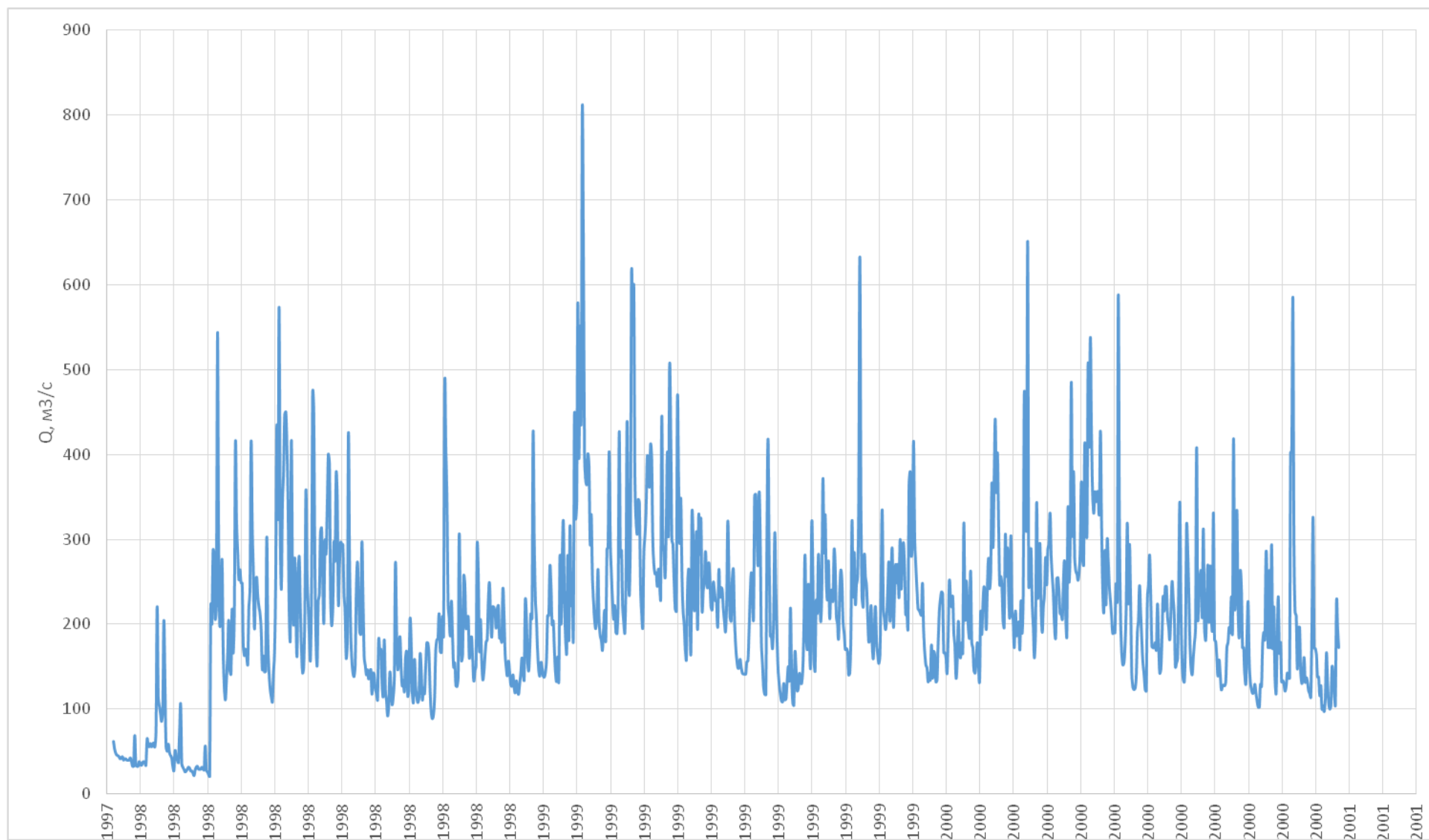


Рисунок Б.4 –Хронологический ряд расходов воды за период 1998-2000г. станция Ла Мураль

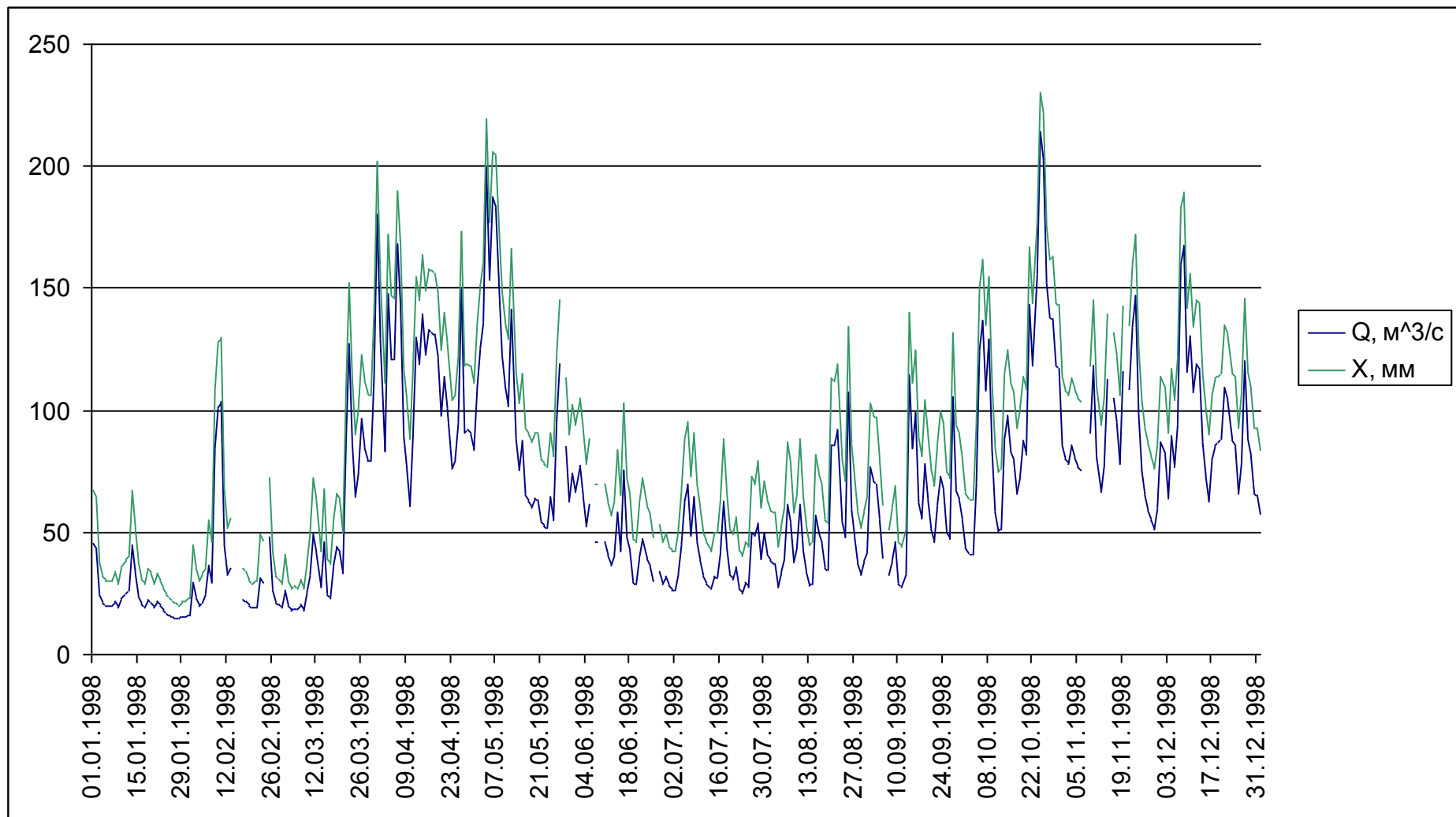


Рисунок Б.5 –Осадки и расходы воды на период 1998-2000гг. для станции Ла Меридья.

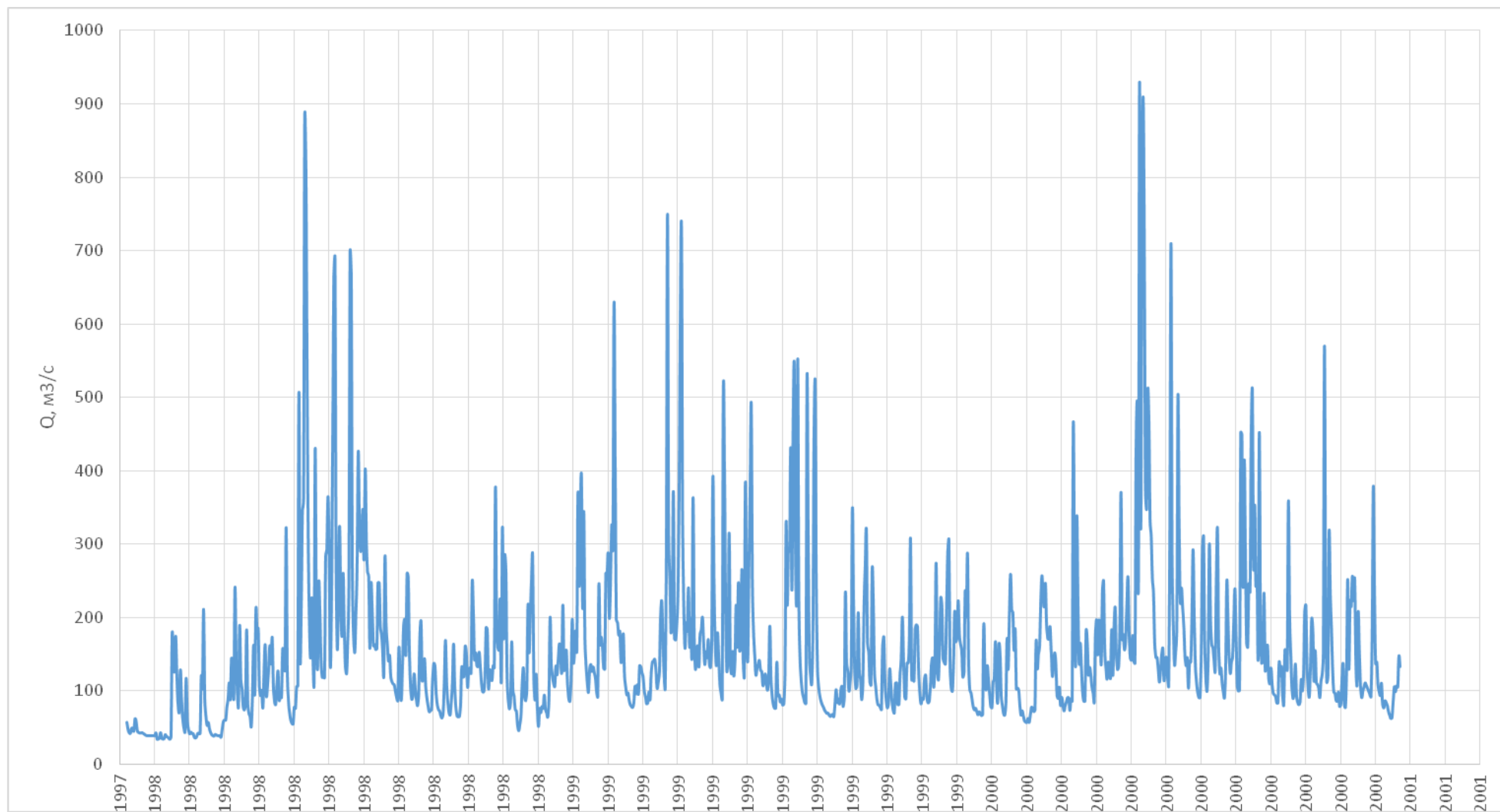


Рисунок Б.6 – Хронологический ряд расходов воды за период 1998-2000г. станция Мерида.

Приложение В – Таблицы прогнозов многоводных и маловодных периодов
для станций Ла Муралья и Мерида

Таблица В.1 – Результаты прогнозов многоводной фазы для станции Ла Муралья.

Дата	$Q_{\text{факт}}$	Период	$Q_{\text{прог}}$
23.03.2000	473	23.03.2001	473
24.03.2000	337	24.03.2001	375
25.03.2000	312	25.03.2001	410
26.03.2000	651	26.03.2001	605
27.03.2000	245	27.03.2001	304
28.03.2000	262	28.03.2001	172
29.03.2000	288	29.03.2001	217
30.03.2000	226	30.03.2001	322
31.03.2000	196	31.03.2001	160
01.04.2000	160	01.04.2001	160
02.04.2000	190	02.04.2001	160
03.04.2000	343	03.04.2001	365
04.04.2000	232	04.04.2001	341
05.04.2000	275	05.04.2001	160
06.04.2000	293	06.04.2001	261
07.04.2000	220	07.04.2001	249
08.04.2000	190	08.04.2001	187
09.04.2000	220	09.04.2001	180
10.04.2000	236	10.04.2001	295
11.04.2000	279	11.04.2001	280
12.04.2000	246	12.04.2001	261
13.04.2000	288	13.04.2001	286
14.04.2000	295	14.04.2001	359
15.04.2000	331	15.04.2001	328
16.04.2000	281	16.04.2001	281
17.04.2000	255	17.04.2001	292
18.04.2000	233	18.04.2001	223
19.04.2000	197	19.04.2001	220
20.04.2000	184	20.04.2001	197
21.04.2000	254	21.04.2001	185
22.04.2000	255	22.04.2001	230
23.04.2000	239	23.04.2001	213
24.04.2000	212	24.04.2001	215
25.04.2000	213	25.04.2001	184
26.04.2000	206	26.04.2001	199

Дата	$Q_{\text{факт}}$	Период	$Q_{\text{прог}}$
27.04.2000	253	27.04.2001	206
28.04.2000	273	28.04.2001	226
29.04.2000	209	29.04.2001	253
30.04.2000	186	30.04.2001	356
01.05.2000	338	01.05.2001	186
02.05.2000	250	02.05.2001	326
03.05.2000	292	03.05.2001	219
04.05.2000	485	04.05.2001	313
05.05.2000	305	05.05.2001	442
06.05.2000	380	06.05.2001	341
07.05.2000	278	07.05.2001	373
08.05.2000	262	08.05.2001	251
09.05.2000	259	09.05.2001	211
10.05.2000	252	10.05.2001	251
11.05.2000	262	11.05.2001	250
12.05.2000	291	12.05.2001	292
13.05.2000	368	13.05.2001	486
14.05.2000	277	14.05.2001	304
15.05.2000	270	15.05.2001	446
16.05.2000	412	16.05.2001	252
17.05.2000	344	17.05.2001	362
18.05.2000	306	18.05.2001	360
19.05.2000	507	19.05.2001	386
20.05.2000	409	20.05.2001	454
21.05.2000	538	21.05.2001	359
22.05.2000	428	22.05.2001	430
23.05.2000	356	23.05.2001	349
24.05.2000	331	24.05.2001	301
25.05.2000	356	25.05.2001	294
26.05.2000	344	26.05.2001	308
27.05.2000	356	27.05.2001	314
28.05.2000	356	28.05.2001	405
29.05.2000	331	29.05.2001	368
30.05.2000	428	30.05.2001	331
31.05.2000	322	31.05.2001	342
01.06.2000	244	01.06.2001	322
02.06.2000	214	02.06.2001	244
03.06.2000	287	03.06.2001	214
04.06.2000	222	04.06.2001	228
05.06.2000	299	05.06.2001	214
06.06.2000	274	06.06.2001	342
07.06.2000	244	07.06.2001	279

Дата	$Q_{\text{факт}}$	Период	$Q_{\text{прог}}$
08.06.2000	226	08.06.2001	214
09.06.2000	208	09.06.2001	214
10.06.2000	189	10.06.2001	208
11.06.2000	196	11.06.2001	189
12.06.2000	190	12.06.2001	207
13.06.2000	248	13.06.2001	232
14.06.2000	227	14.06.2001	233
15.06.2000	588	15.06.2001	197
16.06.2000	324	16.06.2001	510

Таблица В 2 –Результаты прогнозов маловодной фазы для станции Ла Муралья.

Дата	$Q_{\text{факт}}$	Дата	$Q_{\text{прог}}$
01.01.2000	134	01.01.2001	134
02.01.2000	175	02.01.2001	132
03.01.2000	136	03.01.2001	158
04.01.2000	167	04.01.2001	155
05.01.2000	162	05.01.2001	168
06.01.2000	132	06.01.2001	137
07.01.2000	134	07.01.2001	156
08.01.2000	178	08.01.2001	157
09.01.2000	214	09.01.2001	173
10.01.2000	230	10.01.2001	202
11.01.2000	238	11.01.2001	222
12.01.2000	236	12.01.2001	229
13.01.2000	166	13.01.2001	225
14.01.2000	166	14.01.2001	149
15.01.2000	160	15.01.2001	162
16.01.2000	142	16.01.2001	140
17.01.2000	190	17.01.2001	168
18.01.2000	251	18.01.2001	252
19.01.2000	232	19.01.2001	238
20.01.2000	220	20.01.2001	212
21.01.2000	232	21.01.2001	172
22.01.2000	190	22.01.2001	189
23.01.2000	172	23.01.2001	170
24.01.2000	136	24.01.2001	156
25.01.2000	156	25.01.2001	136
26.01.2000	203	26.01.2001	178
27.01.2000	166	27.01.2001	269
28.01.2000	160	28.01.2001	136

Дата	$Q_{\text{факт}}$	Дата	$Q_{\text{прог}}$
29.01.2000	178	29.01.2001	136
30.01.2000	166	30.01.2001	142
31.01.2000	319	31.01.2001	136
01.02.2000	206	01.02.2001	346
02.02.2000	250	02.02.2001	147
03.02.2000	231	03.02.2001	200
04.02.2000	194	04.02.2001	185
05.02.2000	184	05.02.2001	160
06.02.2000	263	06.02.2001	160
07.02.2000	178	07.02.2001	210
08.02.2000	172	08.02.2001	166
09.02.2000	145	09.02.2001	166
10.02.2000	142	10.02.2001	145
11.02.2000	158	11.02.2001	171
12.02.2000	178	12.02.2001	170
13.02.2000	154	13.02.2001	160
14.02.2000	133	14.02.2001	142

Таблица В.3 – Результаты прогнозов многоводного периода для станции Мерида.

Дата	$Q_{\text{факт}}$	Дата	$Q_{\text{прог}}$
30.10.2000	125	30.10.2001	125
31.10.2000	113	31.10.2001	117
01.11.2000	95,2	01.11.2001	81
02.11.2000	100	02.11.2001	99
03.11.2000	178	03.11.2001	153
04.11.2000	89,8	04.11.2001	110
05.11.2000	96,7	05.11.2001	86,1
06.11.2000	82,1	06.11.2001	133
07.11.2000	82,5	07.11.2001	72,6
08.11.2000	72,6	08.11.2001	72,6
09.11.2000	71,8	09.11.2001	128
10.11.2000	132	10.11.2001	86,3
11.11.2000	127	11.11.2001	122
12.11.2000	124	12.11.2001	107
13.11.2000	83,2	13.11.2001	103
14.11.2000	68,5	14.11.2001	71,8
15.11.2000	75,5	15.11.2001	68,5
16.11.2000	90,4	16.11.2001	78,3
17.11.2000	76,8	17.11.2001	81,3
18.11.2000	70,1	18.11.2001	85,2

Дата	Q _{факт}	Дата	Q _{прог}
19.11.2000	65,3	19.11.2001	68,5
20.11.2000	56,2	20.11.2001	65,3
21.11.2000	49,9	21.11.2001	56,2
22.11.2000	45,8	22.11.2001	49,9

Таблица В.4 –Результаты прогнозов маловодного периода для станции Мерида.

Дата	Q _{факт}	Дата	Q _{прог}
01.01.2000	40,7	01.01.2001	40,7
02.01.2000	37,9	02.01.2001	37,9
03.01.2000	38,2	03.01.2001	37,9
04.01.2000	45,5	04.01.2001	37,9
05.01.2000	47,1	05.01.2001	61,5
06.01.2000	39,4	06.01.2001	37,9
07.01.2000	42,8	07.01.2001	37,9
08.01.2000	42,4	08.01.2001	37,9
09.01.2000	74,9	09.01.2001	59,9
10.01.2000	66,4	10.01.2001	62,2
11.01.2000	58,8	11.01.2001	37,9
12.01.2000	58,2	12.01.2001	39,5
13.01.2000	53,2	13.01.2001	52,0
14.01.2000	43,3	14.01.2001	42,6
15.01.2000	41,7	15.01.2001	39,4
16.01.2000	50,9	16.01.2001	58,2
17.01.2000	37,1	17.01.2001	41,7
18.01.2000	55,6	18.01.2001	53,8
19.01.2000	48,6	19.01.2001	44,5
20.01.2000	37,6	20.01.2001	40,3
21.01.2000	38,9	21.01.2001	92,3
22.01.2000	35,1	22.01.2001	37,1
23.01.2000	32,3	23.01.2001	35,1
24.01.2000	36,1	24.01.2001	32,3
25.01.2000	39,6	25.01.2001	32,3
26.01.2000	65,2	26.01.2001	32,3
27.01.2000	74,5	27.01.2001	52,2
28.01.2000	52,3	28.01.2001	66,7
29.01.2000	72,4	29.01.2001	41,8
30.01.2000	61,9	30.01.2001	59,2
31.01.2000	59,8	31.01.2001	58,3
01.02.2000	49,00	01.02.2001	50,2
02.02.2000	41,6	02.02.2001	44,7

Дата	$Q_{\text{факт}}$	Дата	$Q_{\text{прог}}$
03.02.2000	42,4	03.02.2001	36,1
04.02.2000	36,1	04.02.2001	39,6
05.02.2000	55,9	05.02.2001	36,1
06.02.2000	52,5	06.02.2001	43,5
07.02.2000	39,00	07.02.2001	47,7
08.02.2000	33,6	08.02.2001	36,1
09.02.2000	36,1	09.02.2001	33,6
10.02.2000	39,0	10.02.2001	33,6
11.02.2000	50,2	11.02.2001	33,6
12.02.2000	45,7	12.02.2001	40,2
13.02.2000	44,9	13.02.2001	36,6
14.02.2000	35,2	14.02.2001	35,9
15.02.2000	42,6	15.02.2001	33,6
16.02.2000	46,9	16.02.2001	42,6

Приложение Г – Кривые $Q=f(H)$ за 2000г. для каждой станции.

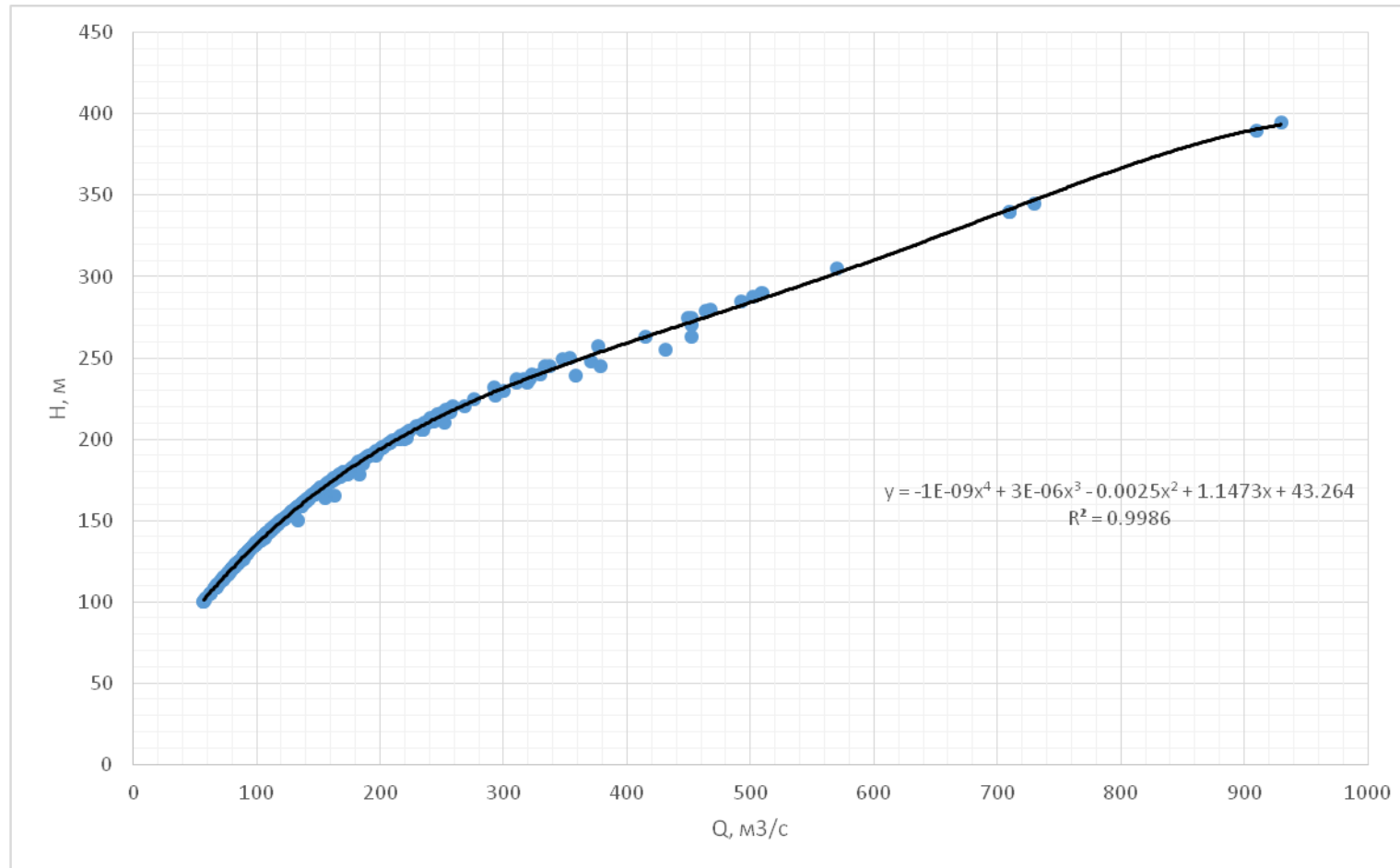


Рисунок Г.1 – Кривая $Q=f(H)$ для станции Перикогно.

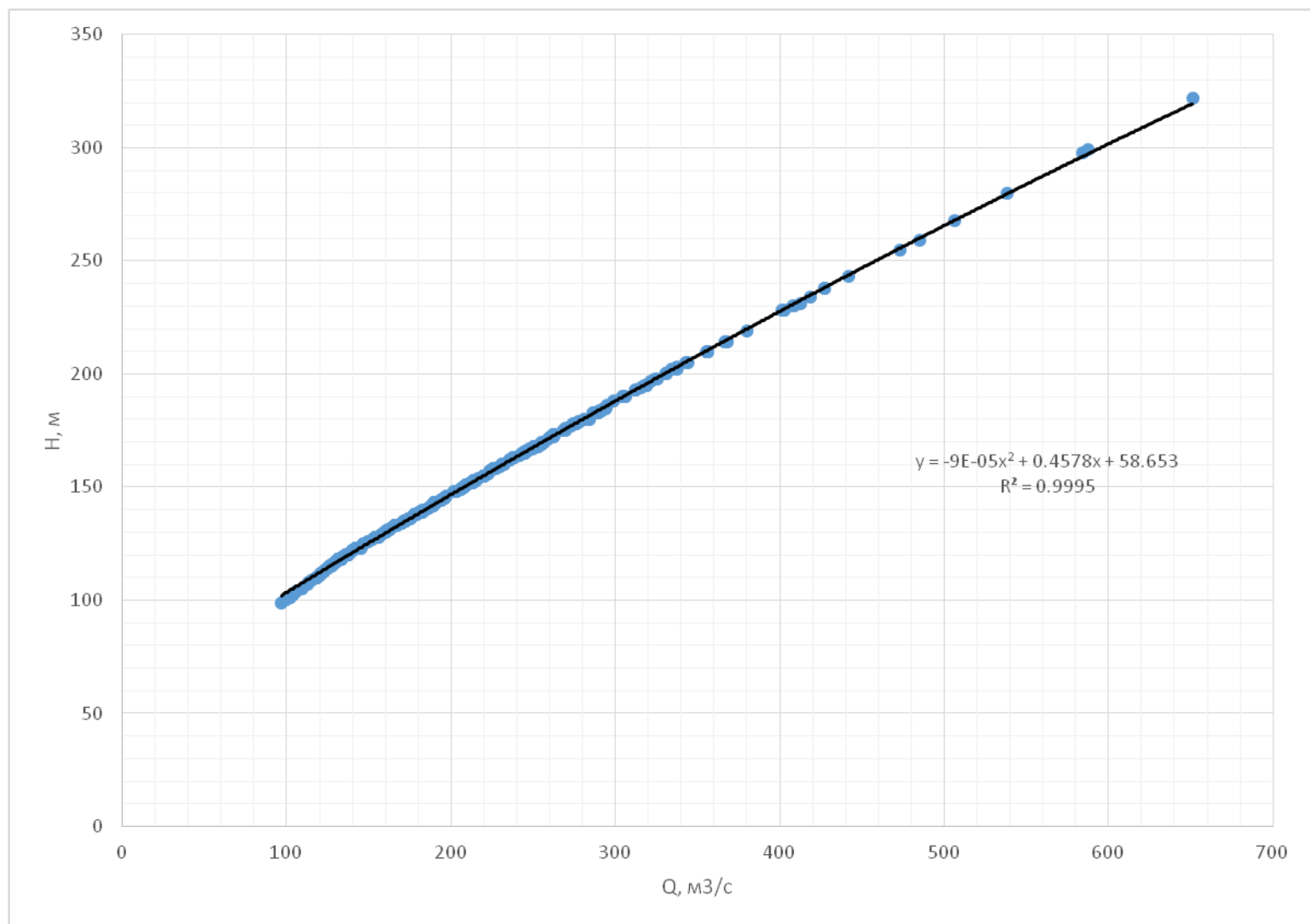


Рисунок Г.2 – Кривая $Q=f(H)$ для станции Ла Муралья.

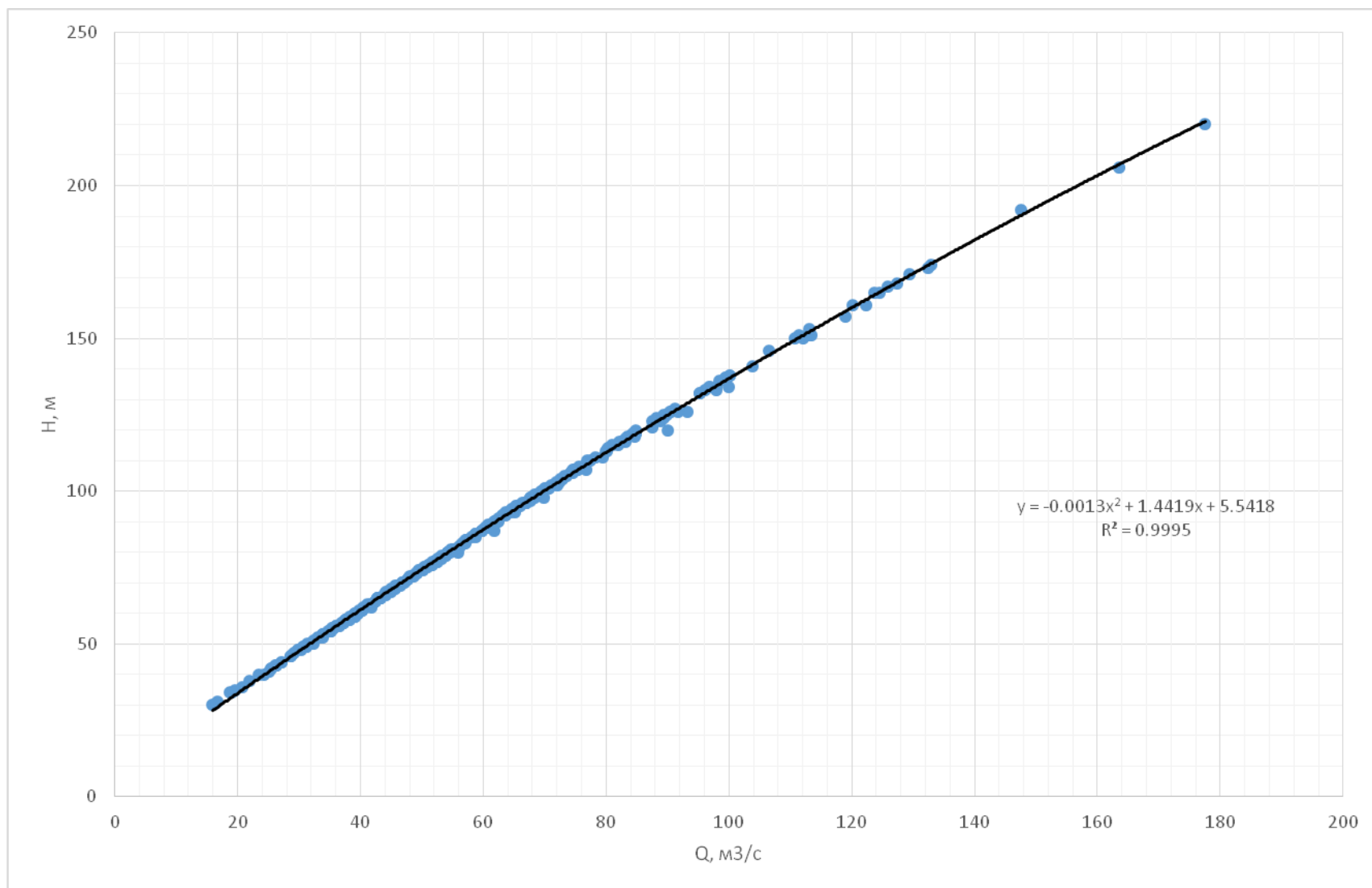


Рисунок Г.3 – Кривая $Q=f(H)$ для станции Мерида.