



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

Кафедра инженерной гидрологии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему **Системное моделирование**  
**процессов водообмена на**  
**водосборах**

**Исполнитель** Куликова Ксения Александровна  
(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель** кандидат технических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович  
(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»**  
**Заведующий кафедрой**

кандидат технических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович  
(фамилия, имя, отчество)

«12» июня 2023 г.

Санкт–Петербург  
2023

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	4
1 Физико-географическое описание оз. Ильмень	5
1.1 Местоположение	6
1.2 Происхождение	7
1.3 Характеристики	8
1.4 Бассейн озера и его водосбор	9
1.5 Геологическое строение. Рельеф	14
1.6 Климат	17
1.6.1 Температура воздуха	17
1.6.2 Осадки	18
1.6.3 Ветер	19
1.7 Растительность	20
1.8 Гидрологический режим и ледовые явления	21
1.8.1 Гидрологический режим	21
1.8.2 Ледовые явления	23
2 Математический аппарат	26
2.1 Максимальный сток и его особенности	28
2.2 Модель формирования запасов воды в снеге и водоотдачи	29
2.3 Модель формирования стока	33
2.4 Модель водоема	34
2.5 Состыковка моделей	34
3 Моделирование процессов формирования максимального стока	37
3.1 Модель формирования запасов воды в снеге и водоотдачи	37
3.2 Модель формирования стока	45

3.3	Модель водоема	48
	Заключение	52
	Список использованных источников и литературы	
	Приложение А Среднемесячные и среднегодовые уровни воды, температуры воздуха и количество осадков на водосборе оз. Ильмень	
	Приложение Б Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода с 2007 по 2021 г.	
	Приложение В Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловать г. Великие Луки для холодного периода с 2006 по 2021 г.	
	Приложение Г Графики параметризации расходов воды за холодный период на р. Ловать п. Холм с 2008 по 2019 г. и апробации модели формирования стока за 20182019 гг.	
	Приложение Д Графики параметризации уровней воды за холодный период на оз. Ильмень пост. Коростынь с 2008 по 2019 г. и апробации модели водоема за 20182019 гг.	

## ВВЕДЕНИЕ

Как известно, климат динамичен, переменчив и не всегда идеален. Именно поэтому в условиях непрерывных изменений как никогда важным аспектом для человечества является точный прогноз, обеспечивающий сохранение экологии, поддержание достойного уровня жизни населения и защиты от чрезвычайных ситуаций, их предотвращения, а также рациональности в использовании водных ресурсов.

Методами математического моделирования возможно выполнять не только оценку того или иного гидрологического явления, но и прогнозировать их с определенной заблаговременностью и долей точности. Однако невозможно описать все процессы одной системы единственным уравнением ввиду ее сложности и изменчивости. Поэтому и существует понятие о составных моделях, стыковка которых происходит на границах частных систем.

Если говорить о целях данной работы, то в первую очередь они состояли в параметризации моделей формирования стока и водоёма по многолетним данным за холодный период и апробации методик на независимом материале.

Решение поставленных задач в работе требует использование данных наблюдений за температурой воздуха, количеством выпавших осадков, фактических запасов воды в снежном покрове на метеостанциях водосбора озера с 2008 по 2019 год – г. Старая Русса, г. Великие Луки; значения наблюденных расходов – р. Мста, р. Пола, р. Ловать, р. Шелонь, р. Полисть – и уровни озера Ильмень – пост. Коростынь за тот же период. Для установления внутригодовых колебаний были использованы ежедневные значения, а для анализа многолетней изменчивости – среднегодовые величины.

## 1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОЗЕРА ИЛЬМЕНЬ

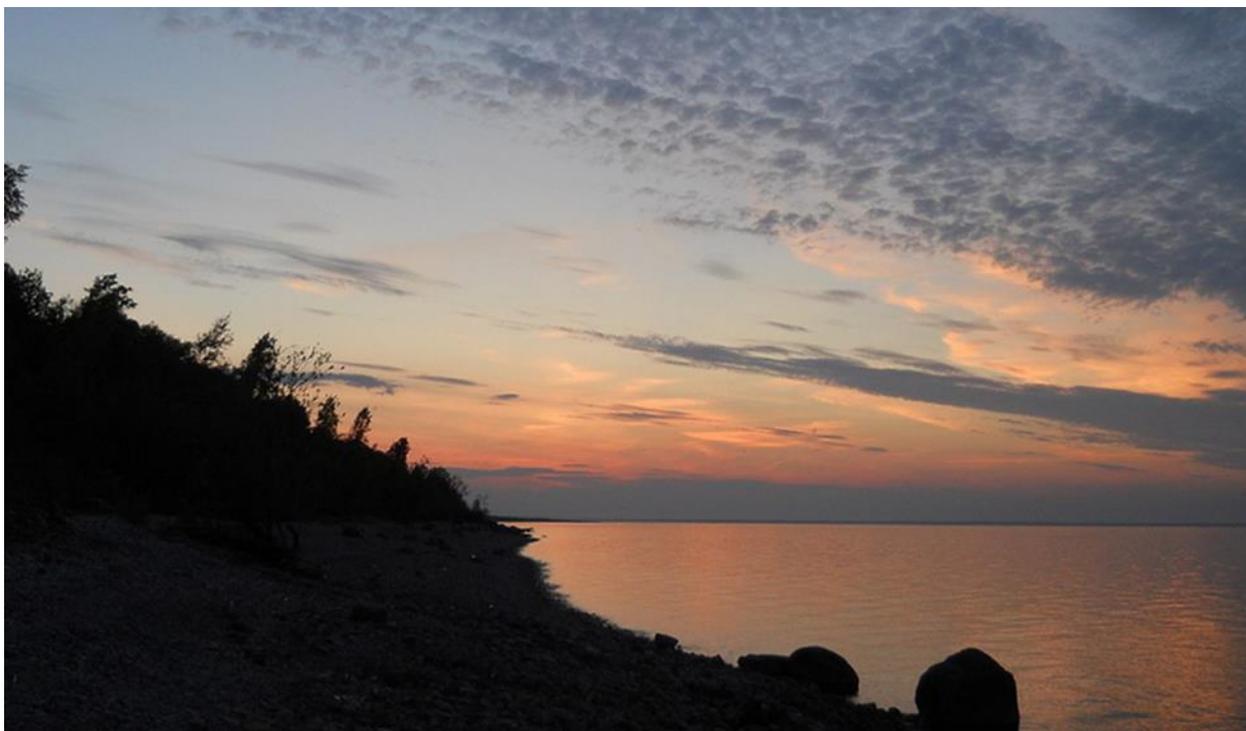


Рисунок 1.1 – озеро Ильмень.

Озеро Ильмень – одно из крупнейших озер Русской равнины (рисунок 1.1). Относится к системе Великих озер Европы, в которую входят озера: Ладожское (18135 км<sup>2</sup>), Онежское (9890 км<sup>2</sup>), Сайма (4400 км<sup>2</sup>) и Псковско-Чудское (3550 км<sup>2</sup>) [1].

## 1.1 Местоположение

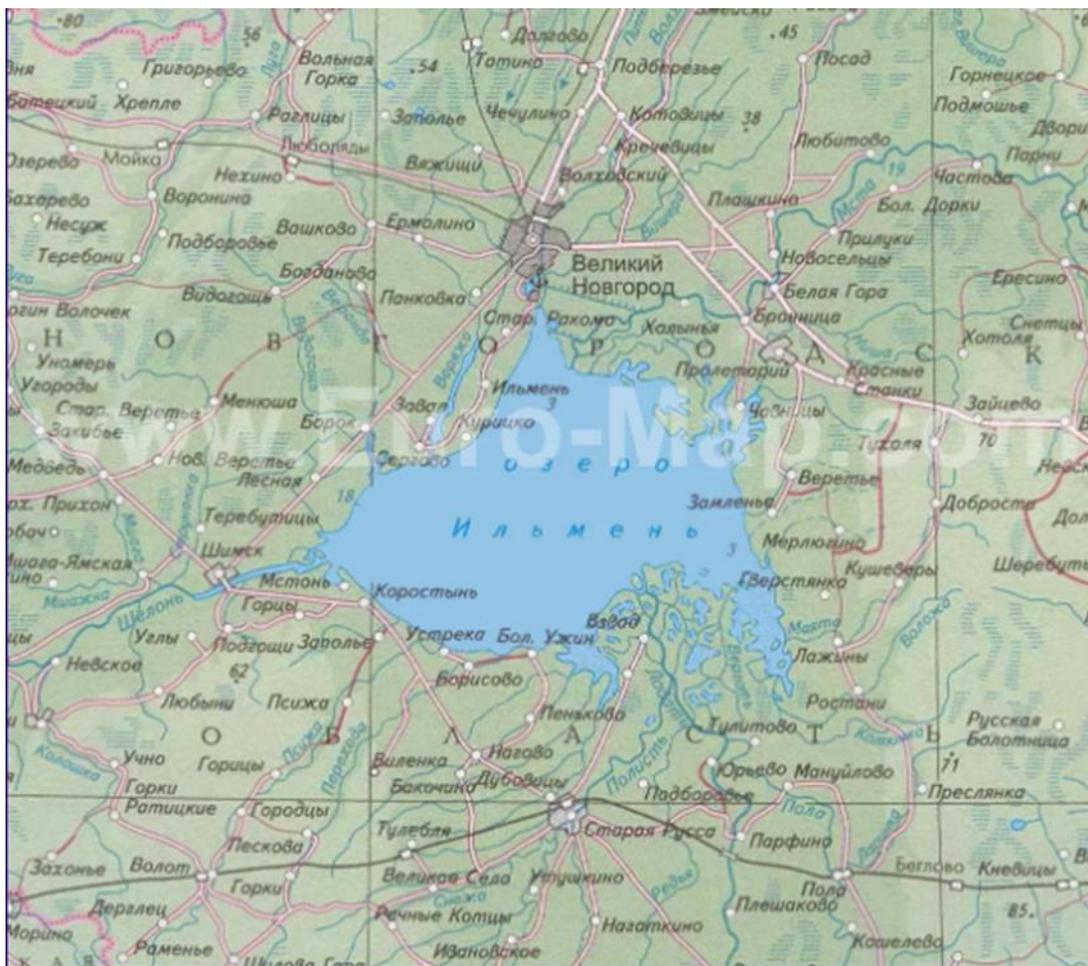


Рисунок 1.2 – Озеро Ильмень. Географическое положение.

Озеро Ильмень (см рис 1.2) расположено в Северо-Западном регионе Российской Федерации на территории Новгородской области (западной её части) в центре Приильменской низменности на высоте 18 метров над уровнем моря и относится к Балтийскому бассейну Атлантического океана. Является одним из самых крупных водоёмов в регионе после Ладожского, Онежского озёр и Псковско-Чудского [1][2].

## 1.2 Происхождение

Озеро Ильмень имеет ледниковое происхождение и относится к типу приледниковых водоёмов. Ильмень относится к группе озёр эпох покровных оледенений. Эти озёра образовывались и размещались у внешнего края ледниковых щитов. Они занимали понижения рельефа местности, причём кромка льда играла роль плотины, препятствовавшей стоку талых вод в соответствии с естественным уклоном территории.

Так, на месте современного Ильменя находился Привалдайский водоём, бассейн которого в течение тысячелетий трансформировался за счёт деградации Валдайского ледника.

Около 25 тысяч лет назад Валдайскую возвышенность и Приильменский регион накрыл крупный ледник. После того, как 13,5 тысяч лет назад ледяной щит растаял, на возвышенности осталось огромное, глубокое озеро. По некоторым исследованиям, в ту эпоху глубина древнего Ильменя могла достигать 85 метров. Со временем оно начало мелеть и произошло отделение сначала Псковского озера, а затем и Ладожского. Оставшийся водоём стал озером Ильмень в его современном виде.

Позднее Привалдайский ледниковый водоём потерял существенную часть своих вод и разделился на несколько бассейнов, а одной из новых водных систем стало Новгородское озеро. Спуск этого водоёма произошёл около 11 тысяч лет назад, в результате чего начал формироваться бассейн современного Ильменя. В тот период его глубина составляла от 16 до 30 метров, однако с прорывом реки Невы около 3 тысяч лет назад произошёл резкий спад воды [3][4][5].

### 1.3 Характеристики

Площадь водной поверхности озера при среднем уровне воды составляет 982 км<sup>2</sup>. Меняется в зависимости от уровня воды от 733 до 2090 км<sup>2</sup>. Озеро Ильмень неглубокое, берега во многих местах низкие. По этой причине площадь водной поверхности озера может меняться: увеличиваться во время весеннего половодья или во время затяжных дождливых периодов летом или осенью (рекордное значение – 2090 квадратных километров, то есть увеличение площади водной поверхности более чем в два раза от значений средней площади за счет затопливания низких и заболоченных берегов) или уменьшаться (минимальное значение – 733 квадратных километров, было зафиксировано после длительной засухи).

Объём – 2,85 км<sup>3</sup>. Длина озера составляет 45 км, ширина – 35 км. Высота над уровнем моря 18,1 м. Средняя глубина озера 4 м, максимальная глубина 10 м. Площадь водосборного бассейна составляет 67 200 км<sup>2</sup>.

В озеро Ильмень впадает около 50 рек. Наиболее крупные: Мста, Ловать, Полисть, Пола, Шелонь, Мшага, Веряжка и др. Вытекает река Волхов, соединяющая Ильмень с Ладогой.

Берега преимущественно низменные, заболоченные, местами – дельтовые, с множеством плоских пойменных островов и протоков; вдоль северо-западного берега вытянуты гряды, чередующиеся с впадинами; на юго-востоке и востоке болотисты [2][3].

## 1.4 Бассейн озера и его водосбор

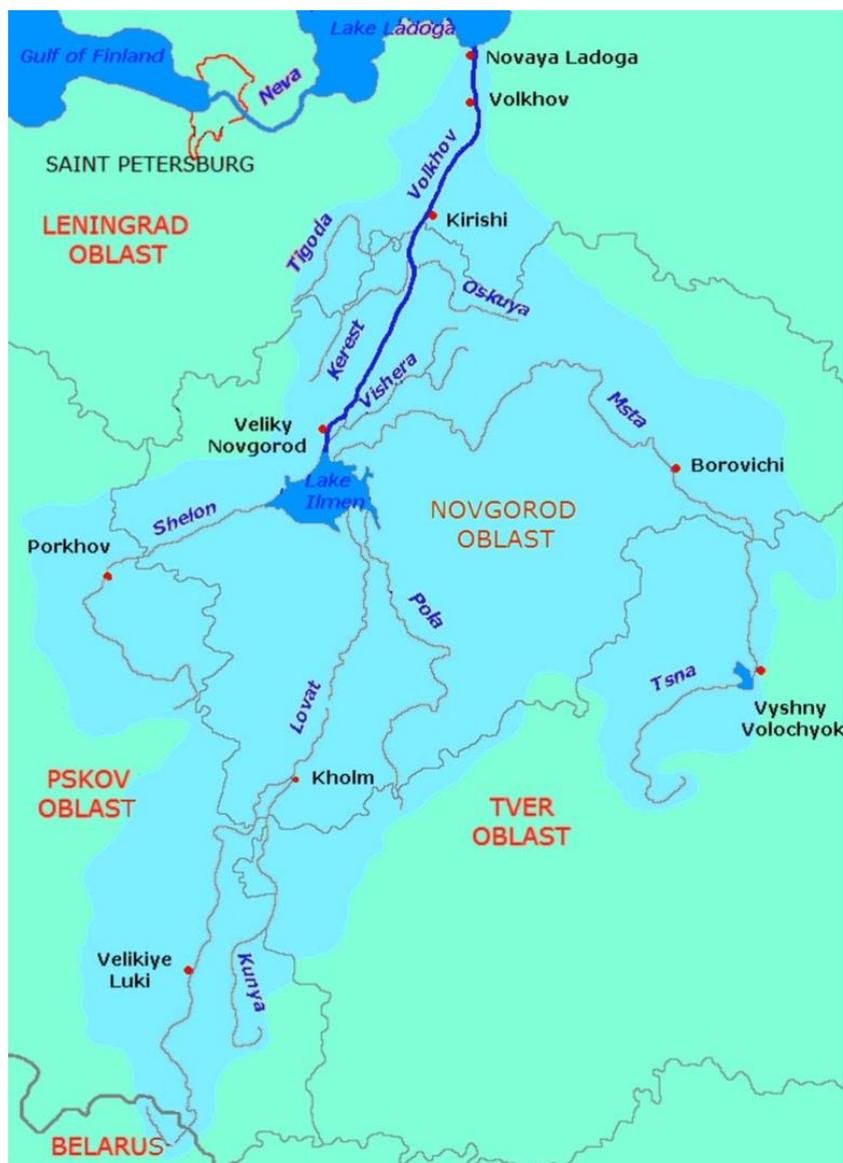


Рисунок 1.3 – карта бассейна озера Ильмень.

Карта расположения бассейна озера Ильмень представлена на рисунке 1.3. Его бассейн занимает площадь в 67200 км<sup>2</sup>, протяжённость с запада на восток – 350 км, с юга на север – 400 км. Эта территория охватывает большую часть Новгородской, Псковской и Тверской областей, отличается большим разнообразием природных условий.

В состав бассейна озера Ильмень входят следующие реки:

- Веронда – река Батецкого и Новгородского районов Новгородской области России.
- Видогощь – правый приток Веронды.
- Веряжа – река Новгородского района Новгородской области России.
- Соковая – правый приток Веряжи.
- Ловать – река Беларуси, а также Псковской и Новгородской области России.
- Кунья – правый приток Ловати.
  - Сережа – правый приток Куньи.
- Локня – левый приток Ловати.
- Насва – левый приток Ловати.
- Полисть – левый приток Ловати.
  - Порусья – правый приток Полисти.
    - Белка – левый приток Порусьи.
    - Лютая – левый приток Порусьи.
  - Снежа – левый приток Полисти.
  - Холынья – левый приток Полисти.
    - Белка – левый приток Холыньи.
- Редья – правый приток Ловати.
- Мста – река Тверской и Новгородской областей России.
- Белая – правый приток Мсты.
  - Прикша – правый приток Белой.
- Березайка – левый приток Мсты.
  - Валдайка – условный приток Березайки.
- Вельгия – правый приток Мсты.
- Волма – левый приток Мсты.
  - Веретья – правый приток Волмы.

- Забитица – правый приток Мсты.
- Льяная – левый приток Мсты.
- Мда – правый приток Мсты.
- Перетна – левый приток Мсты.
- Понеретка – левый приток Мсты.
- Уверь – правый приток Мсты.
  - Радоль – левый приток Увери.
  - Съежа – левый приток Увери.
- Холова – левый приток Мсты.
  - Яймля – правый приток Холовы.
- Хуба – правый приток Мсты.
  - Бурга – правый приток Хубы.
  - Ланошенка – правый приток Хубы.
- Шегринка – правый приток Мсты.
- Ниша – река Крестецкого и Новгородского районов Новгородской области России.
- Хотолька – правый приток Ниши.
- Перехода – река Волотовского и Старорусского районов Новгородской области России.
- Пола – река Тверской и Новгородской областей России.
- Маревка – правый приток Полы.
- Полометь – правый приток Полы.
- Явонь – правый приток Полы.
- Псижа – река Волотовского и Старорусского районов Новгородской области России.
- Саватейка – река Шимского и Старорусского районов Новгородской области России.
- Тулебля – река в Старорусском районе Новгородской области России.
- Шелонь – река Псковской и Новгородской области России.

- Белка – правый приток Шелони.
- Векша – правый приток Шелони.
- Ильзна – левый приток Шелони.
- Колошка – правый приток Шелони.
- Леменка – правый приток Шелони.
- Люта – правый приток Шелони.
- Мшага – левый приток Шелони.
  - Киба – левый приток Мшаги.
  - Черная – левый приток Мшаги.
- Полонка – правый приток Шелони.
- Северка – правый приток Шелони.
- Ситня – левый приток Шелони.
- Сосенка – правый приток Шелони.
- Судома – левый приток Шелони.
- Удоха – левый приток Шелони.
- Щилинка – правый приток Шелони.
- Чернец – река Волотовского и Старорусского районов Новгородской области России.

Поверхность бассейна озера напоминает огромную чашу – центральная ее часть занята Приильменской низменностью, а по краям располагаются возвышенности. Береговая линия озера развита слабо. На отдельных участках имеется ряд заливов, среди которых наиболее крупные находятся в восточной части – Большая и Малая Аркадские, в юго-восточной – Синецкий, юго-западной – Тулебельский.

В связи с высокой проточностью вода в озере сменяется за 1.5 – 2 месяца.

Большие колебания уровня воды во многом зависит от значительной проточности Ильменя и повышенной увлажнённости его бассейна.

В настоящее время Ильмень представляет собой постепенно «умирающий» водоем, исчезающий под воздействием вековых процессов заиливания и заноса его ложа речными наносами.

Приильменная низменность отличается очень плоским рельефом и большой заболоченностью. Реки, текущие по ней имеют неглубокие долины, озера – низкие берега. Высота низменности над уровнем моря колеблется от 18 до 50 метров. Наиболее понижена ее центральная часть, где расположено озеро Ильмень. Поверхность низменности сложена глинами и суглинками, песками и супесями, большая часть которых образовалась в обширном водоеме, занимавшем эту территорию в прошлом. В южном Приильменье на поверхность выходят коренные породы – девонские известняки, доломиты, глины. Окраины Приильменской низменности повышаются до 100 – 150 метров выше уровня моря. Здесь встречаются холмы и невысокие гряды.

Приильменскую низменность опоясывают возвышенности, по которым проходит граница бассейна озера. Высота их достигает 250 – 300 метров над уровнем моря. С востока бассейн ограничен Валдайской возвышенностью, с запада и юга – Лужской, Судомской, Бежаницкой и Вязовской возвышенностями, с севера – Тихвинской грядой. Бассейн Ильменя включает большую часть Валдайской возвышенности – одного из живописнейших мест Восточно-Европейской равнины. На Валдайской возвышенности расположены верховья рек Мста, Пола, Шелонь, Ловать – основного источника питания озера.

Рельеф здесь разнообразен – моренные холмы и гряды чередуются с многочисленными котловинами, заполненными озерами и болотами. Поверхность Валдайской возвышенности сложена ледниковыми и водноледниковыми породами – мереными глинами и суглинками, песками и супесями, которые часто сменяют друг друга. Наиболее высокая точка (296 метров над уровнем моря) – гора Рыжоха. Долины рек Валдайской возвышенности по сравнению с реками Приильменской низменности более узкие и глубокие, порожистые.

По Валдайской возвышенности проходит главный водораздел Восточно-Европейской равнины, от которой реки несут свои воды на юг и север [1][11].

### 1.5 Геологическое строение. Рельеф

Озеро имеет форму треугольника, берега изрезанные, низкие и заболоченные. Только у южного берега из воды поднимается уступ, так называемый Ильменьский глинт, образованный из известняков. Тонкослоистые красные и плотные кристаллические, желтовато-бурые известняки, составляющие верхнюю часть Ильмейского глинта, особенно хорошо и полно выражены в обнажениях по речке Псиже у деревни Буреге, отчего именуют их бурегскими слоями. Южный берег озера Ильмень высокий (до 16 м). Этот высокий, обрывистый берег является геологическим памятником природы (см рис 1.4).



Рисунок 1.4 – Ильменский глинт.

Западный, северный и восточный берега заливаются во время половодья на многие километры. По окраине низменность повышается до 100 м над уровнем моря, поверхность ее делается более расчлененной.

Бассейн озера Ильмень расположен в пределах Волхово-Ловатской низины с абсолютными отметками от 0 до 50 м. Вся территория бассейна озера Ильмень расположена в пределах Русской платформы и сложена комплексом осадочных дочетвертичных отложений, залегающих под четвертичными на архейском или протерозойском кристаллическом основании.

Осадочные коренные образования области представлены преимущественно отложениями палеозоя: толщами нижнего кембрия, нижнего, среднего и верхнего ордавика, среднего и верхнего девона, нижнего и среднего карбона. Минимальная мощность четвертичных отложений от 10 до 20 м в Приильменской низменности.

Озеро Ильмень - область развития преимущественно рыхлых девонских отложений, которые представлены двумя отделами:

- а) средним (песчаники, доломиты, мергели);
- б) верхними (известняково-мергелистая и пестроцветная толщи).

Мощность отложения среднего девона 50-150 м, верхнего до 300 м.

Приильменская низменность чрезвычайно равнинна, высоты колеблются от 18 до 50 м над уровнем моря. Она сформирована несколькими террасами, спускающимися к котловине, где расположено озеро. Центральная часть, где расположено озеро Ильмень, понижена. Поверхность низменности сильно заболочена. Реки, текущие по ней, имеют неглубокие долины, озера – низкие берега. Она немного наклонена на север. В восточной части области поверхность повышается. Это – северная часть Валдайской возвышенности.

Рельеф дна озера представляет собой слабовогнутую плоскую впадину с пологими склонами. Под влиянием речных наносов происходит быстрое обмеление озера. Особенно интенсивно мелеет его часть со стороны дельт Ловати, Мсты и Шелони.

Озеро не глубокое. Средняя глубина составляет 4-5 метров. В некоторых местах достигает 13 метров. Большая часть дна озера покрыта мощным слоем ила, в основном тектонического происхождения. В центральной части мощность иловых отложений составляет более десяти метров. Нередко илы начинаются уже на глубине 1 – 1.5 метра. Благодаря непрерывному перемешиванию воды, насыщенной кислородом тектонические вещества быстро окисляются и составляют в донных отложениях не более 10%. Песчаные грунты развиты только вдоль прибрежной полосы на глубинах 1 – 1.5 метра, однако вблизи дельтовых образований полоса песков распространяется и на больших глубинах достигающих 3 – 4 метров.

Ил за лето прогревается, а зимой отдает тепло, повышая температуру придонных слоев воды [1][7][8][10].

## 1.6 Климат

Климат, в условиях которого происходит формирование режима озера, характеризуется относительно теплым летом и продолжительной с частыми оттепелями зимой. Ильменский водосбор относится к зоне избыточного увлажнения [1][2][8].

### 1.6.1 Температура воздуха

Средняя годовая температура воздуха на территории бассейна колеблется в пределах 3-4°C. Самыми холодными месяцами в году являются январь и февраль, самым теплым - июль.

Лето, за начало которого принимается переход средней суточной температуры воздуха через 10°C, наступает в первой декаде мая. Вначале лета

еще возможны заморозки. Раньше всего они прекращаются на побережье озера. К концу мая они заканчиваются повсеместно.

Зима начинается во второй декаде ноября. Первая половина зимы, характеризуется преобладанием ненастной погоды с выпадением дождя и мокрого снега.

Наиболее высокая температура воды в озере бывает в июне – июле. Максимальная величина за годы наблюдений была отмечена 27 июня 1938 года и составила  $+30^{\circ}\text{C}$ . Обычная разница между температурой воды у поверхности и дна озера летом составляет  $3^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}$ , реже  $8^{\circ}\text{C}$ . Со второй половины лета водная поверхность постепенно начинает охлаждаться. Осенью температура по всей толще воды постепенно понижается до  $4^{\circ}\text{C}$ , затем падает до  $0^{\circ}\text{C}$  (Приложение 2, 3) [1][8][10].

#### 1.6.2 Осадки

Озеро находится в зоне избыточного увлажнения. Это объясняется сравнительно небольшим приходом тепла и хорошо развитой здесь циклонической деятельностью, которая активно проявляется во все сезоны. Количество осадков в прибрежных районах озера составляет 400 – 800 мм в год, около 70% годовой суммы приходится на период с апреля по октябрь.

На распределение осадков большое влияние оказывают орографические особенности местности и подстилающая поверхность, ведущие к нарушению плавного характера изменения осадков. Даже небольшие возвышенности обуславливают перераспределение осадков; увеличение их на наветренных возвышенных участках и уменьшение на подветренных склонах и в понижениях за возвышенностями. В среднем за год в бассейне озера Ильмень выпадает 700-800 мм осадков.

Внутри года осадки распределяются неравномерно. Характер их распределения по территории в теплый и холодный период имеет много

общего с годовым, однако в теплый период года влияние возвышенностей на перераспределение более заметно, нежели в холодный период. Максимум осадков приходится на июль-август и лишь иногда на сентябрь (см. ПРИЛОЖЕНИЕ 4,5). Количество осадков за теплый период колеблется от 450 до 550 мм. Осадки холодного периода составляют 40-45 % годовых [1].

### 1.6.3 Ветер

Ветровой режим зависит от общей циркуляции атмосферы и тесно связан с особенностями распределения барических центров, располагающихся вокруг района.

В течение года преобладают ветры южного, юго-западного и западного направлений. Наибольшая скорость составляет в осенне-зимний период 5 – 6 м/с. Повторяемость этих направлений превышает 50 %. При этом они особенно отличаются в холодный период года.

В летние месяцы повторяемость ветров юго-западной четверти несколько уменьшается, северной увеличивается. В холодный период, вследствие близкого расположения областей высокого и низкого давлений, возникают большие горизонтальные градиенты давления. Поэтому в это время ветры наиболее устойчивы по направлению и наибольшие по силе. Летом, в связи с уменьшением термических контрастов, барическое поле выражено менее четко, а градиенты давления незначительны. Ветры у поверхности ослабевают и становятся менее устойчивы по направлению.

Под влиянием орографии преобладающее направление ветра искажается. Так, в долинах рек преобладают ветры, дующие вдоль долин. Еще в большей степени, чем направление, от местных условий зависит скорость ветра. Наименьшие скорости наблюдаются в районах, где сказывается влияние леса, по мере приближению к озеру скорость ветра возрастает и наибольшие ее величины отмечаются на прибрежных и озерных станциях. Максимальные

скорости ветра наблюдаются в октябре-феврале, а наименьшие в июле-августе [8][10].

### 1.7 Растительность

Озеро Ильмень находится в южной подзоне тайги. Бассейн Ильменя расположен в зоне смешанных хвойных и широколиственных лесов. Преобладающим типом растительности являются леса, состоящие главным образом из хвойных пород - сосны и ели. В прошлом здесь преобладали еловые леса с примесью широколиственных пород – дуба, липы и других. На богатых почвах были распространены дубняки, а на песчаных – сосновые боры. Однако после вырубki многие коренные леса замещены вторичными мелколиственными – берёзой и осинкой. Большие площади заняли кустарниками.

Степень залесенности бассейна составляет от 30 до 50 %. В южных и западных районах - отмечается наименьшая лесистость. Так в верхнем и среднем течении р.Ловати, в бассейне р.Шелонь, залесенность 30%. Болота и заболоченные территории занимают около 30 % бассейна. Под лугами находится менее 10 % площади бассейна. Большинство лугов суходольные со злаково-разнотравной растительностью (душистый колосок, щучка, белоус, мятлик луговой, полевица, манжетка, различные виды клевера).

Пойменно-заливные луга приурочены к долинам крупных рек (в долине р. Волхов, на побережье озера и в низовьях рек, впадающих в озеро). Здесь типичны злаковые и бобовые сообщества ежи, тимофеевки, пырея, мышиного горошка, клевера с примесью лугового разнотравья.

Многие места издавна используются под пашню, огороды, сенокосные и другие сельскохозяйственные угодья.

Особенно изменена растительность деятельностью человека в южном Приильменье, а также по берегам реки Мсты, в некоторых районах Валдайской возвышенности.

Из-за небольших уклонов поверхности Приильменской низменности глинистых и суглинистых отложений, влажного климата многие земли бассейна озера переувлажнены. Характер растительности влияет на продолжительность и условия снеготаяния и, как следствие, на поступление воды в реки – притоки Ильменя.

Продолжительность снеготаяния в лесу от 30 до 40 дней, а в полях от 10 до 15 дней. Леса, являются естественными регуляторами стока, имеют большое водоохранное значение и поэтому их вырубка вокруг Ильменя и вдоль его притоков запрещена. В пойме ильменя распространены луга, кустарники, леса и болота занимают около 50000 гектаров (45% площади пойменных земель). В прошлом пойма Ильменя была богата дубовыми лесами. Дуб был ценным строительным материалом. В настоящее время остатки пойменных дубрав встречаются лишь в нескольких местах Березово – осиновые леса с примесью дуба, ели, сосны и можжевельника в подлеске встречаются в верхней части дельт Ловати и Мсты, где они растут по пологим склонам. Широко распространены в пойме ивняки и ивово-березового мелколесья. Особенно разнообразны виды ивы – корзиночная, пурпурная, белая, серая, прутовидная и другие. Ивняки, скрепляя почву, предохраняют ее от разрушения, особенно по берегам рек и притоков. Болота занимают около 27% площади ильменской поймы. Среди них преобладают низины ивово-камышовые и ивово-остросоковые. Болотные массивы, расположены на более высоких участках, нередко покрыты березой и ивой [1][8].

## 1.8 Гидрологический режим и ледовые явления

### 1.8.1 Гидрологический режим

Водосборный бассейн озера Ильмень оценивается в 67200 км<sup>2</sup>.

Ильмень питает около 50 рек и несколько сотен мелких ручьёв. К его крупнейшим водотокам относятся Мста, Ловать, Шелонь и Пола – они отдают озеру 13–40% воды от своего годового расхода (на эти реки приходится до половины воды поступающей в озеро). Более половины стока рек бассейна Ильменя приходится на весну – 57%, осень – 18%, зиму – 17% и лето – 8%. Пик приходится на весенний период, когда наступает половодье, минимум фиксируется зимой, когда наступает межень. Но в целом озеро расположено в зоне избыточного увлажнения. Котловина озера расположена в Приильменской низменности, которая периодически затапливается водами озера. Особенно большие площади затоплений приходятся на дельтовые участки рек Мсты и Ловати. При этом меняются и запасы воды в озере от 1.5 км<sup>3</sup> до 11.6 км<sup>3</sup>.

Единственной вытекающей рекой является Волхов, берущий своё начало в северной оконечности озера, – на него приходится вся расходная часть водного баланса Ильменя.

Для озера Ильмень характерны серьезные колебания уровня воды. Абсолютный максимум фиксировался в 1922 году, он составил 7,91 метра, при этом абсолютный минимум имел отметку 0,51 метра (в 1882 году). Таким образом, максимальный перепад уровня воды составил 7,4 метра. Однако значения выше 7 метров бывают довольно редко, а критическим считается уровень выше 6,7 метров, при котором происходит затопление ряда окрестных населенных пунктов.

Основное питание озера осуществляется за счёт притока рек с весенним половодьем и зимней меженью. Колебания уровня воды составляют до 7,4 м (минимальный – в марте, максимальный – в мае). За 45 лет наблюдений

повышенный среднемесячный уровень был зафиксирован 2 раза в январе 1979 года (1366 см) и в июле 1983 года (1319 см.), а минимальный среднемесячный уровень воды отмечался в феврале 1952 года и составлял 7 см (см. ПРИЛОЖЕНИЕ 1)

Озеро относится к сточным водоемам, более того, Ильмень еще и проточное озеро. Вода в нем может обновляться за два месяца, а такие водоемы относятся именно к проточным. Впрочем, это не делает воду чистой, что часто характерно для проточных озёр.

Реки являются главным источником поступления воды в озеро, который составляет 90% всего прихода воды в этот водоем.. Средние многолетние модули стока крупнейших рек бассейна Ильменя составляют: Мста – 9.0 л/с·км<sup>2</sup>, Ловать – 7.7 л/с·км<sup>2</sup>, Шелонь – 6.4 л/с·км<sup>2</sup>, Пола – 8.8 л/с·км<sup>2</sup>. Средний по бассейну модуль стока – 7.5 л/с·км<sup>2</sup>. Вытекающая из озера река Волхов сбрасывает в Ладогу около 18 км<sup>3</sup> воды, что составляет более четверти общего объема притока в это озеро.

Прозрачность воды невысокая, по большей части не превышает одного метра. Это можно объяснить высоким содержанием органических веществ в воде (вода в озере Ильмень имеет желтоватый оттенок). Высокое содержание данных веществ нехарактерно для проточных озер в целом, однако следует отметить тот факт, что большинство рек, впадающих в озеро, протекают через заболоченные территории, а также их истоки нередко находятся в болотах. Следовательно, они приносят в Ильмень много органических веществ, которые и скапливаются в озере. В связи с чем прозрачность воды снижается [1][2][3][5].

### 1.8.2 Ледовые явления

Ледостав на озере происходит с ноября по апрель. Ильмень обычно замерзает в ноябре, освобождается ото льда в апреле, но в отдельные года

сроки могут сдвигаться, иногда озеро замерзает к середине декабря. В первую очередь замерзают прибрежные и мелководные участки. В тихую морозную погоду поверхность его быстро схватывается льдом, толщина которого впервые же сутки достигает 5 – 6 см. Толщина льда к началу января обычно достигает 30-32 сантиметров, максимум наблюдается в марте – более 60 сантиметров. Однако из-за ветров может происходить разрушение ледяного покрова, что приводит к тому, что на разных участках может быть разная толщина льда.

Если ледяной покров успевает достигнуть 15 – 18 см, ветру его уже не взломать. Но так бывает нечасто. В осенне-зимнее время на Ильмене часто дуют южные и юго-западные ветры. Они задерживают ледостав, вызывая переохлаждение воды, они еще способствуют образованию в озере внутриводного льда. В истоке Волхова накопления внутриводного льда вызывают зажоры.

Из-за ветров, стоковых течений и разницы в глубинах ледостав на Ильмене наступает обычно в разных местах не одновременно. Возле деревни Войцы, например, средняя многолетняя дата ледостава 23 ноября, а у деревни Ужин 30 ноября. Толщина льда и структура его в разных местах озера тоже различны. С той стороны, откуда дует ветер при замерзании Ильменя, на озере чаще всего удерживается первоначально образовавшийся ровный лед, затем с ним смерзается лед, принесённый ветром. Наиболее тонкий лед бывает там, куда ветер наметает больше снега, а наиболее толстый там, где снега меньше, а также в прибрежных районах с песчаным дном. В суровые зимы вода в таких местах на глубине до одного метра промерзает до дна. Любопытно отметить, что к моменту наибольшего охлаждения озера ил на дне всегда сохраняет температуру 2°C – 4°C.

Зимой из-за температурных перепадов воздуха в ледяном покрове Ильменя появляются трещины, идущие в различных направлениях, а в центральной части озера образуется кольцевая щель. В сильные морозы, когда

лед сжимается, щель расширяется, при повышении температуры она делается уже.

Освобождается Ильмень ото льда, как и замерзает, в разных местах неодновременно. По многолетним наблюдениям, вначале обычно в первых числах апреля вскрывается его северо-восточная часть у деревни Войцы, затем через 6–7 дней происходит вскрытие в районе устьев крупных рек и с опозданием 2–3 дня в остальных его частях. В центральной части может остаться обширное ледяное поле, которое может существовать до середины или даже конца мая, постепенно уменьшаясь в размерах. Оторвавшись от берегов, ледяное поле долго еще, порой недели 2 – 3 «гуляет» по воде. В среднем период от вскрытия до очищения ото льда Ильменя занимает 14 – 19 дней, а иногда он длится до 30 дней. Из-за низких берегов и обширной поверхности озеро Ильмень подвержено сильному действию ветров. Ветрами на озере создается значительное волнение, причем при низком стоянии уровня воды происходит взмучивание ила со дна. Особой высоты (свыше 2м) достигают волны прибоя у высоких юго-западных берегов в высокие разливы; в такие моменты происходит разрушение уступа юго-западного и западного берегов. Насколько велика сила прибойных волн, свидетельствует крупный материал, отлагаемый в прибой на юго-западном берегу [1][2][3].

## 2 МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ

Многообразие гидрологических процессов не возможно было бы полностью описать без наличия математического аппарата. Но математические модели решают вопросы не только диагностического характера, но и прогностические задачи. Так как любой метод прогнозирования гидрологических явлений опирается на физический анализ процессов, что лежит в их основе, то точность итоговой информации определяется, в первую очередь, качеством исходного анализируемого материала.

На рисунке 2 наглядно представлены модели основных гидрологических процессов: склоновый сток, русловый сток, водоём, зона аэрации (ненасыщенная зона), насыщенная зона и напорные горизонты. В случае настоящей работы, так как описываемые процессы представлены холодным периодом, добавляется модель формирования запасов воды в снежном покрове и водоотдачи.

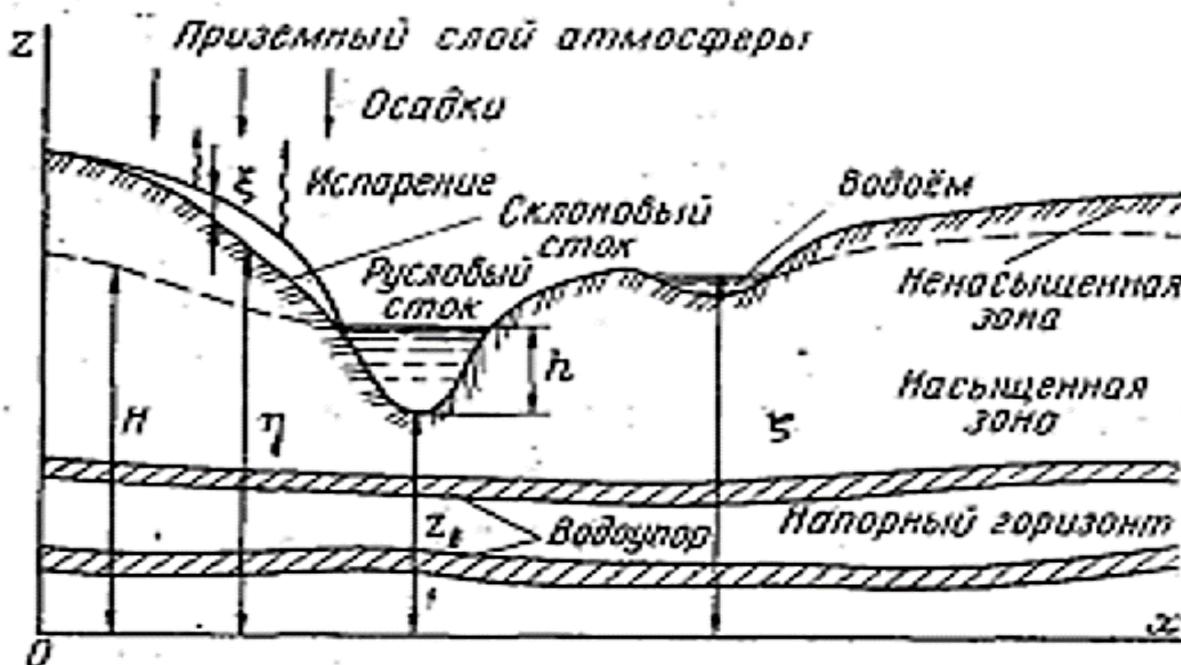


Рисунок 2. – Основные звенья гидрологической цепи.

В данной работе мы переходим от абстрактной модели с постоянным значением площади водосбора к расчетам по фактическим данным.

Как уже писалось выше, для определения и прогноза уровней половодья нам мало знать значения температур, уровней и расходов, поступающих в водоем, необходимых для моделей водоема и формирования стока. Запасы воды, поступающие из снежного покрова оказывают прямое влияние на максимальный сток, хотя и не учитываются на некоторых этапах моделирования.

Ниже представлены использованные в работе гидрологические (Таблица 2.1) и метеорологические (Таблица 2.2) посты.

Таблица 2.1 – Гидрологические посты

Код поста	Водный объект	Название поста	Расстояние от устья, км	Координаты	
				с.ш.	в.д.
72281	р. Мста	д. Девкино	84	58°35'50"	32°11'28"
72423	р. Пола	д. Налючи	68	57°49'39"	31°52'11"
72459	р. Ловать	г. Холм	193	57°9'20"	31°10'51"
72510	р. Шелонь	д. Заполье	59	58°30'	30°56'
72760	р. Полисть	д. Утушкино	41	57°54'45"	31°17'4"

Таблица 2.2 – Метеорологические посты

Код поста	Наименование	Координаты	
		с. ш.	в. д.
26275	г. Старая Русса	58°01'0"	31°19'0"
26477	г. Великие Луки	56° 21' 0"	30° 37' 12"

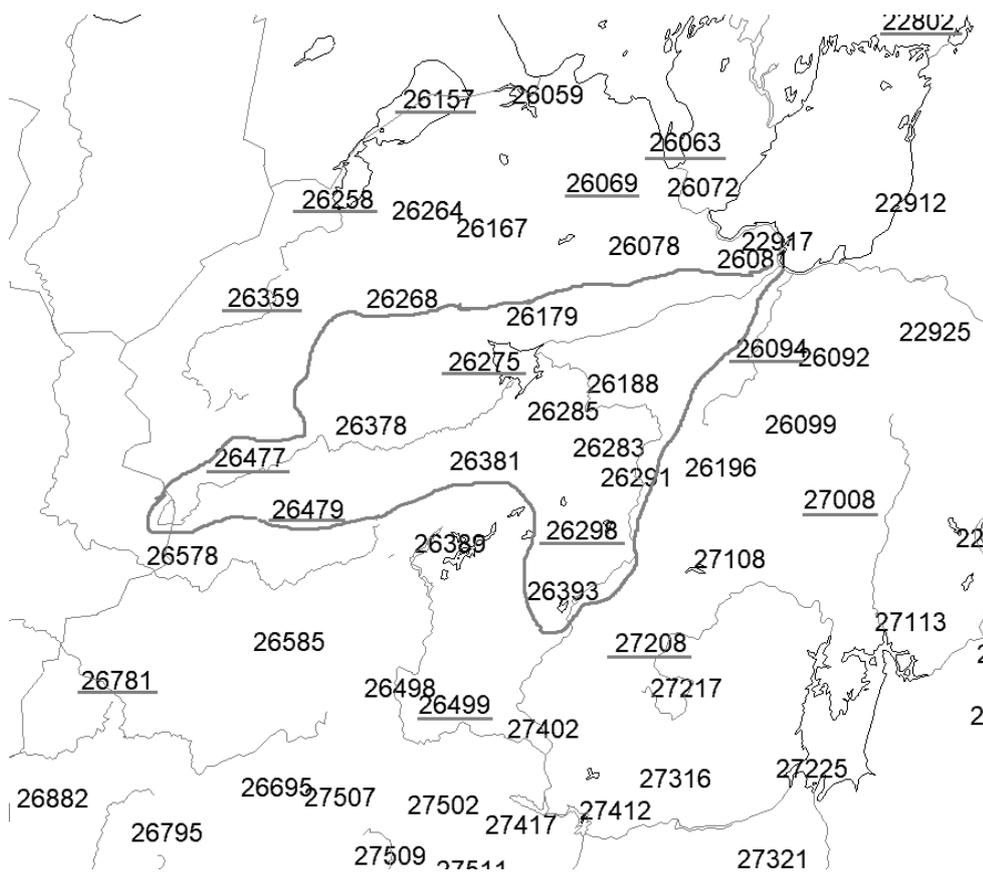


Рисунок 2.1 – Схема расположения метеостанций.

## 2.1 Максимальный сток и его особенности

Прогнозирование максимального стока – важная и нетривиальная задача, от выводных результатов которой зависит предотвращение ЧП на водопропускных и водосбросных гидротехнических сооружениях, снижение рисков угрозы для жизни населения и т.д. Он характерен для периодов высоких паводков и половодий, и типичен для значительной части рек РФ.

С точки зрения генезиса, максимальный сток можно подразделить на весеннее половодье, дождевые паводки и смешанный сток, являющийся результатом влияния дождевого и талого стока.

Во время половодья наблюдается формирование максимального стока, что является сложным и многофакторным процессом. Основными факторами,

влияющими на количество поступающей воды в этот период, являются высота и плотность снежного покрова, а также площадь и характер его распределения.

Формирование весеннего половодья также существенно зависит от интенсивности снеготаяния, которое представляет собой количество талых вод, образующихся в единицу времени. Данный процесс может быть описан как многоуровневое явление, зависящее от таких факторов, как солнечная радиация, температура воздуха, скорость ветра, а также характеристик почвенного покрова.

Стоит отметить, что не вся вода, образовавшаяся при таянии снега, относится к речной сети. Примерно 10% испаряется с поверхности талых вод и снега, а также из-за просачивания (инфильтрации) в почву.

Дождевые паводки являются последствием ливней и длительных осадков и могут возникать в различных регионах, но наиболее часто они наблюдаются на Дальнем Востоке, в Карпатах, на Кавказе и в Крыму. Для формирования максимального дождевого стока существуют важнейшие факторы, которые оказывают на него влияние, такие как интенсивность дождя, его продолжительность и площадь, на которой выпадают осадки, а также инфильтрация воды в почву и добегание дождевых вод до русловой сети бассейна. Однако, помимо этих факторов, формирование дождевого стока подвержено воздействию физико-географических условий, таких как рельеф местности, почвенно-геологические особенности, наличие озер, болот и лесов, а также других факторов [12].

## 2.2 Модель формирования запасов воды в снеге и водоотдачи

Построение моделей краткосрочного прогноза уровней и расходов воды в период весеннего половодья требует расчета интенсивности снеготаяния и поступления воды на водосборы. Данные показатели зависят от комплекса метеорологических факторов, а также от характеристик подстилающей

поверхности. Вопрос расчета поступления воды на водосборы в период половодья является актуальным для обеспечения безопасности водопользования.

При расчете талого стока применяются модели, включающие два компонента: модель снеготаяния и функцию преобразования. Модель снеготаяния определяет объем воды, который может стать доступным для стока, в то время как функция преобразования пересчитывает воду на поверхности земли в сток на выходе из бассейна. Обе модели могут быть представлены как сосредоточенные, так и распределенные параметры.

Снежный покров может быть представлен как однослойным, так и многослойным. Определение сроков снеготаяния основывается на влагоудерживающей способности. Для определения периодов снеготаяния и объемов стаявшего снега за определенные периоды времени используются различные индексы.

Данные измерений снежного покрова используются для улучшения прогнозов сезонного стока, полученных по концептуальным моделям. Основным входным параметром являются осадки, но также могут быть использованы данные измерений запасов воды в снежном покрове в качестве дополнительных параметров

Существующие оперативные методики расчета поступления воды на водосборы используют данные с сети метеостанций, однако при этом не учитываются вертикальные градиенты температуры воздуха, запасы воды в снеге и сумм осадков в возвышенных и предгорных районах. Это приводит к большим ошибкам в расчетах.

Для учета характеристик подстилающей поверхности, влияющих на снегонакопление и снеготаяние, можно использовать инструменты геоинформационных систем. Таким образом, можно оценить пространственное распределение интенсивности снеготаяния, рассчитать объем поступающей на водосбор воды с заданным временным шагом. Такой подход позволяет значительно повысить точность расчетов и обеспечить

адекватность прогнозов. В итоге, использование геоинформационных систем является эффективным инструментом в исследованиях по определению интенсивности снеготаяния и поступления воды на водосборы в период половодья.

Расчет интенсивности снеготаяния является важной задачей, для которой используется уравнение теплового баланса снежного покрова. Для точного решения этого уравнения необходимо проведение актинометрических измерений. Однако, в случае отсутствия таких данных для крупных водосборов, часто используются упрощенные методики, основанные на данных стандартной наблюдательной сети.

Основным параметром для расчета интенсивности снеготаяния является тепловой баланс, который учитывает различные формы теплообмена. Снег поглощает тепло, перенося его от прямой солнечной радиации до длинноволновой радиации и других форм. Для определения количества тепла, необходимого для снеготаяния, используется уравнение энергетического баланса. Оно учитывает различные параметры, такие как длинноволновая радиация, разницы температур между поверхностью и атмосферой, скрытый энергопоток в результате изменения водяного пара (выброс тепла при конденсации или его высвобождении при сублимации или испарении), поток тепла от подстилающей поверхности, адвекция тепла (дождь) и запас тепла в снеге. Общее уравнение имеет вид:

$$Q_m = Q_n + Q_h + Q_e + Q_g + Q_a - \frac{dS_i}{dt}, \quad (2.2.1)$$

где  $Q_n$  – длинноволновая радиация;

$Q_h$  – разницы температур между поверхностью и атмосферой;

$Q_e$  – скрытый энергопоток в результате изменения водяного пара (выброс тепла при конденсации или его высвобождении при сублимации или испарении),

$Q_g$  – поток тепла от подстилающей поверхности;

$Q_a$  – адвекция тепла (дождь);

$S_i$  – запас тепла в снеге.

Таким образом, для расчета интенсивности снеготаяния необходимо учитывать множество факторов, которые влияют на тепловой баланс снежного покрова.

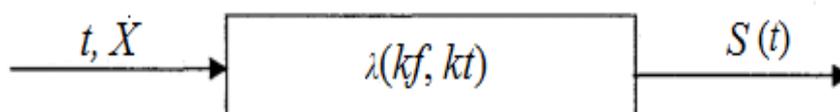
В период снеготаяния водосбор получает воду как от выпадающих на территорию осадков, так и от снежного покрова. Однако при этом нарушается исходное распределение снегозапаса по территории, так как водоотдача начинается в местах с минимальным начальным снегозапасом и затем охватывает все большую территорию. При этом часто формируется временный снежный покров, который может быть как в твердом, так и в жидком виде.

Стаивание временного снежного покрова при переходе температуры через  $0^\circ$  происходит обычно в течение первых суток. Результатом сочетания водоотдачи от снежного покрова и выпадающих осадков могут быть значительные объемы воды, которые поступают на водосбор в период снеготаяния. Однако необходимо принимать во внимание и возможные последствия ухудшения исходного распределения снегозапаса на территории [13][14].

Общий вид модели:

$$\frac{dS}{dt} = kf \cdot X^{\text{TB}} + kt \cdot t^+; \quad (2.2.2)$$

$$S_{i+1} = S_i + kf \cdot X_i^{\text{TB}} + kt \cdot t_i^+$$



### 2.3 Модель формирования стока

Моделирование процессов формирования стока является одним из основных направлений развития гидрологии суши. Модели формирования стока все чаще используются для решения теоретических и прикладных задач (расчет гидрографов стока с неизученных бассейнов, прогнозная оценка изменений стока под влиянием изменений ландшафтов и климата, оперативный краткосрочный и долгосрочный прогноз стока в разные фазы водного режима).

Параметры модели определяются по справочным, литературным и картографическим материалам. Уточнение параметров модели проводится по данным наблюдений на замыкающих створах водосборов, аналогичных по условиям формирования стока.

Общим результатом моделирования становится построение кривых распределения расходов воды, на настоящее время и при изменениях характеристик бассейнов [15][16].

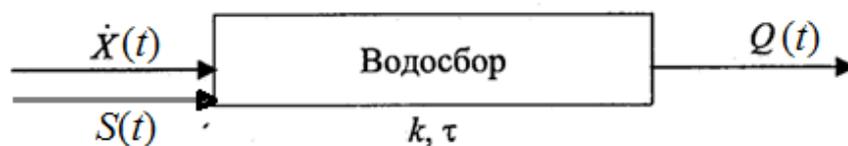
$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q}{\tau} + \frac{k\dot{X}}{\tau} \quad (2.3.1)$$

$$\frac{Q_{i+1} - Q_i}{\Delta t} = \frac{Q_i}{\tau} + \frac{k\dot{X}_i}{\tau}$$

$$\frac{Q_{i+1} - Q_i}{\Delta t} = \frac{Q_i}{\tau} + \frac{k\dot{X}_i}{\tau}$$

$$\frac{H_{i+1} - H_i}{\Delta t} + k_{\text{морф}} H_i = \frac{Q_{\text{в}} + Q_{\text{л}} - Q_{\text{п}}}{F}$$

$$\tau \frac{dQ}{dt} + Q = k\dot{X}$$

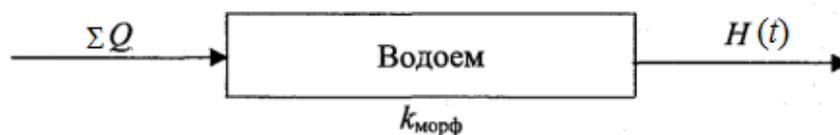


## 2.4 Модель водоема

При изучении озёр и водохранилищ возникает много разнообразных задач, связанных с происходящими в них внутренними процессами. Для их решения используются довольно сложные уравнения. Однако с точки зрения изучения процессов водообмена на водосборах можно ограничиться довольно грубой моделью, учитывающей только изменение уровня водоёма во времени, так как по уровням и морфометрическим данным водоёма можно легко найти изменение его объёма [15][16].

Уравнение для нахождения прогнозных значений уровней:

$$\frac{dH}{dt} + k_{\text{морф}}H = \frac{Q_{\text{в}} + Q_{\text{л}} - Q_{\text{п}}}{F} \quad (2.4.1)$$
$$\frac{H_{i+1} - H_i}{\Delta t} + k_{\text{морф}}H_i = \frac{Q_{\text{в}i} + Q_{\text{л}} - Q_{\text{п}}}{F}$$
$$H_{i+1} = \frac{Q_{\text{в}i} + Q_{\text{л}} - Q_{\text{п}}}{F} \Delta t - k_{\text{морф}}H_i \Delta t + H_i$$
$$\frac{dH}{dt} + k_{\text{морф}}H = \frac{\sum Q}{F(H)}$$



## 2.5 Сотыковка моделей

Моделирование является не только наиболее полноценным исследованием, но и процессом конструирования конкретной модели, ее реализации и использования на конкретных объектах.

Моделью является схематическое упрощенное представление о природном прообразе, которое отображает реальность и соответствует оригиналу.

Математическое моделирование – способ исследования объектов, явлений и процессов, основанный на применении моделей.

Математической моделью является процесс описания природных явлений и процессов, выраженный с помощью математических правил и математической символики.

Гидрологические задачи, которые решаются с помощью методов моделирования:

- 1) Процессы формирования стока;
- 2) Получение гидрографов стока с неизученных бассейнов;
- 3) Прогнозная оценка изменений стока под влиянием изменений ландшафтов и климата;
- 4) Оперативный краткосрочный и долгосрочный прогноз при разных фазах режима стока.

Моделирование позволяет:

-получить информацию об элементах водного баланса (осадках, стоке, испарении),

характеристиках речного бассейна (запасах воды в снеге, температуре и влажности почвы,

уровне грунтовых вод и т.д.);

-создать основу для научного обоснования мероприятий по охране окружающей среды;

-оценить вероятность опасных гидрологических явлений.

Недостаточно создать модель, чтобы её использовать на практике, необходимы данные начальных условий, которые получают, при непосредственном измерении, оценивая с помощью модели гидрологические характеристики [16][17].

Начальными условиями для модели водоподачи и водоотдачи снежного покрова являются температура и интенсивность осадков. В результате получаем данные о запасах воды в снежном покрове. С повышением температуры образовывается талый сток. Этот талый сток, запасы воды в снеге и интенсивность осадков участвуют в формировании максимального стока.

Объём максимального стока варьируется от 50 до 90% суммарного годового стока рек. Максимальный сток способствует повышению уровня воды в исследуемом водоёме, что оказывает влияние на увеличение площади зеркала озера.

### 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА

#### 3.1 Модель формирования запасов воды в снеге и водоотдачи

В качестве исходных данных использовались ежедневные данные приземной температуры воздуха ( $T$ , °C), осадков ( $X$ , мм), фактических запасов воды в снежном покрове по материалам маршрутных снегомерных съемок. В данной работе использованы метеорологические данные по метеостанциям Старая Русса и Великие Луки, расположенные на водосборе оз. Ильмень за период 16 лет (2006-2021 гг.)

На этапе работы, по ежедневным данным осадков и расчетных запасов воды в снежном покрове (Таблица 3.1.1) – результат расчетов снегонакопления при устойчивом переходе через 0 °C – необходимо было рассчитать водоотдачу и водоподачу для всех лет наблюдений, результатом которого можно увидеть хронологические графики на рисунке 3.1.1, представленном ниже для примера.

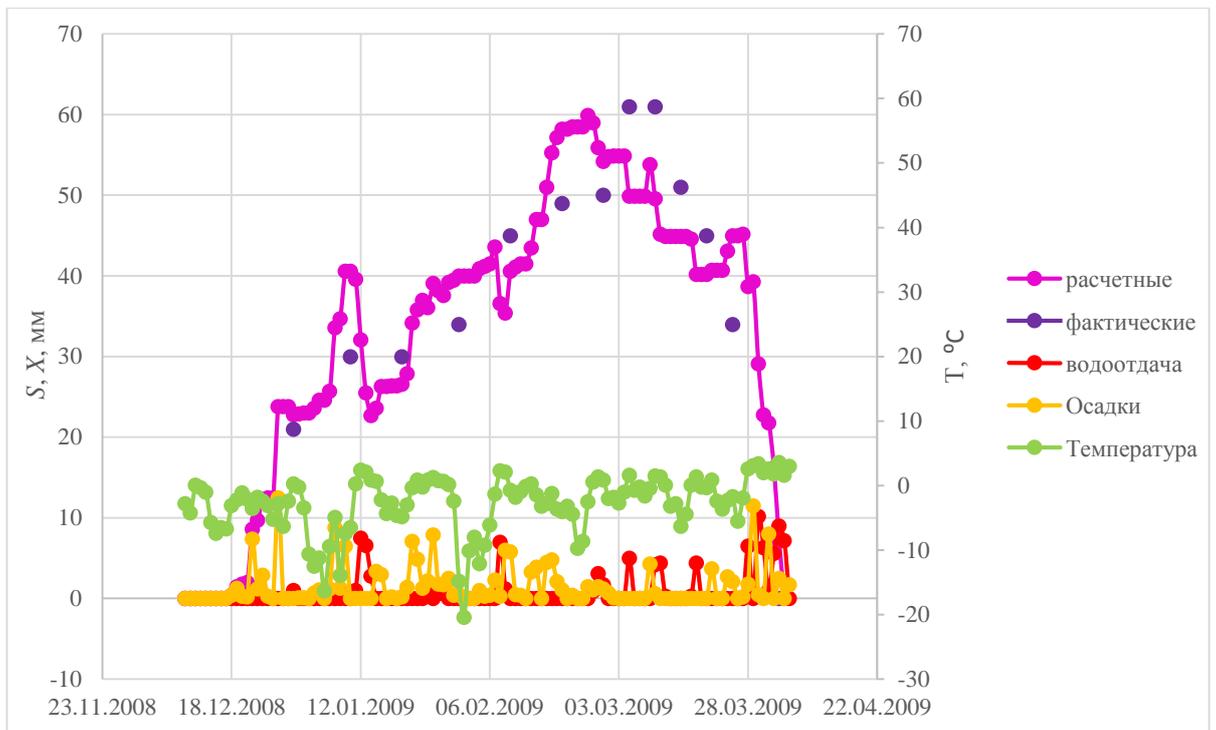


Рисунок 3.1.1 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20082009 гг.

Говоря простым языком, водоотдача – это разница запасов воды в снеге между днем наступившим и днем предыдущим, при этом, если в последующий день значение увеличивается, происходит снегонакопление и, в этом случае, водоотдача принимается за ноль. Водоподача в холодный период дублирует значения водоотдачи, а в остальное время – это воздействие осадков.

Ниже приведен фрагмент базы данных и рассчитанные значения водоотдачи и водоподачи.

Таблица 3.1.1 – Отрывок из собранной базы данных станции

р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20082009 гг.

Дата	Температура Т, °С	Осадки Х, мм	Устойчивый переход через 0 °С	Запасы воды в снеге S, мм		Водоотдача	Водоподача
				Фактические	Рассчитанные		
05.12.2008	1,2	12,2					12,2
06.12.2008	2,4	3					3
07.12.2008	2,3	6,5					6,5
08.12.2008	-0,8	0	0		0		0
09.12.2008	-2,8	0			0	0	0
10.12.2008	-4,2	0			0	0	0
11.12.2008	0,1	0			0	0	0
12.12.2008	-0,3	0			0	0	0
13.12.2008	-1	0			0	0	0
14.12.2008	-5,7	0			0	0	0
15.12.2008	-7,4	0			0	0	0
16.12.2008	-6,5	0			0	0	0
17.12.2008	-6,7	0			0	0	0
18.12.2008	-3,1	0,4			0,4	0	0
19.12.2008	-2,2	1,3			1,5	0	0
20.12.2008	-1,1	0,3			1,8	0	0
21.12.2008	-2,1	0,2			2	0	0
22.12.2008	-3,5	7,4			8,6	0	0
23.12.2008	-1,8	1,2			9,7	0	0
24.12.2008	-2,4	2,9			12,3	0	0
25.12.2008	-3,1	0,3			12,5	0	0
26.12.2008	-5,2	0			12,5	0	0
27.12.2008	-2,8	12,5			23,8	0	0
28.12.2008	-6,3	0			23,8	0	0
29.12.2008	-2,4	0			23,8	0	0
30.12.2008	0,3	0		21	22,8	1	1
31.12.2008	-0,2	0,1			22,9	0	0
01.01.2009	-3,4	0,1			23	0	0
02.01.2009	-10,6	0			23	0	0

Продолжение таблицы 3.1.1

03.01.2009	-12,5	0,7			23,6	0	0
04.01.2009	-11,2	1,1			24,6	0	0
05.01.2009	-16,3	0			24,6	0	0
06.01.2009	-9,4	1,2			25,7	0	0
07.01.2009	-4,9	8,8			33,6	0	0
08.01.2009	-13,9	1,3			34,7	0	0
09.01.2009	-7,4	6,5			40,6	0	0
10.01.2009	-6,5	0		30	40,6	0	0
11.01.2009	0,3	0			39,6	1	1
12.01.2009	2,4	0			32,1	7,5	7,5
13.01.2009	2,1	0			25,5	6,6	6,6
14.01.2009	0,9	0			22,7	2,8	2,8
15.01.2009	0,7	3,4			23,6	0	0
16.01.2009	-2,2	3			26,3	0	0
17.01.2009	-4,3	0			26,3	0	0
18.01.2009	-2,7	0,2			26,4	0	0
19.01.2009	-4,6	0			26,4	0	0
20.01.2009	-4,8	0,2		30	26,6	0	0
21.01.2009	-3	1,4			27,9	0	0
22.01.2009	-0,3	7,1			34,2	0	0
23.01.2009	0,9	4,9			35,8	0	0
24.01.2009	-0,2	1,3			37	0	0
25.01.2009	0,9	2,2			36,1	0,9	0,9
26.01.2009	1,3	7,9			39,1	0	0
27.01.2009	0,8	1,8			38,2	0,9	0,9
28.01.2009	0,7	1,7			37,6	0,6	0,6
29.01.2009	0,2	2,5			39,2	0	0
30.01.2009	-2,4	0,4			39,5	0	0
31.01.2009	-14,8	0,5		34	40	0	0
01.02.2009	-20,4	0			40	0	0
02.02.2009	-10,1	0			40	0	0
03.02.2009	-8	0			40	0	0
04.02.2009	-12,1	1			40,9	0	0

Продолжение таблицы 3.1.1							
05.02.2009	-9,2	0,3			41,2	0	0
06.02.2009	-6,1	0,4			41,5	0	0
07.02.2009	-1,3	2,3			43,6	0	0
08.02.2009	2,3	0,3			36,6	7	7
09.02.2009	2,1	6			35,4	1,2	1,2
10.02.2009	-0,7	5,8		45	40,6	0	0
11.02.2009	-1,8	0,5			41,1	0	0
12.02.2009	-0,9	0,4			41,5	0	0
13.02.2009	-0,1	0			41,5	0	0
14.02.2009	0,3	3,3			43,5	0	0
15.02.2009	-1,4	3,9			47	0	0
16.02.2009	-3,2	0			47	0	0
17.02.2009	-2,8	4,5			51	0	0
18.02.2009	-1,2	4,8			55,3	0	0
19.02.2009	-3,6	2,1			57,2	0	0
20.02.2009	-4	1,1		49	58,2	0	0
21.02.2009	-3,2	0			58,2	0	0
22.02.2009	-4,4	0,4			58,5	0	0
23.02.2009	-9,7	0			58,5	0	0
24.02.2009	-8,6	0			58,5	0	0
25.02.2009	-2,5	1,5			59,9	0	0
26.02.2009	0,6	1,1			59	0,9	0,9
27.02.2009	1,4	1,5			55,9	3,1	3,1
28.02.2009	0,9	1,2		50	54,2	1,7	1,7
01.03.2009	-2	0,7			54,8	0	0
02.03.2009	-1,8	0,1			54,9	0	0
03.03.2009	-2,7	0			54,9	0	0
04.03.2009	-1	0			54,9	0	0
05.03.2009	1,6	0		61	49,9	5	5
06.03.2009	-0,7	0			49,9	0	0
07.03.2009	-0,2	0			49,9	0	0
08.03.2009	-1,6	0			49,9	0	0
09.03.2009	-0,4	4,3			53,8	0	0

Продолжение таблицы 3.1.1							
10.03.2009	1,5	0,6		61	49,6	4,2	4,2
11.03.2009	1,4	0			45,2	4,4	4,4
12.03.2009	0,1	0			44,9	0,3	0,3
13.03.2009	-3,2	0			44,9	0	0
14.03.2009	-2,8	0			44,9	0	0
15.03.2009	-6,3	0		51	44,9	0	0
16.03.2009	-4,4	0			44,9	0	0
17.03.2009	0,1	0			44,6	0,3	0,3
18.03.2009	1,4	0			40,2	4,4	4,4
19.03.2009	-0,2	0			40,2	0	0
20.03.2009	-0,3	0		45	40,2	0	0
21.03.2009	0,9	3,7			40,7	0	0
22.03.2009	-2,4	0			40,7	0	0
23.03.2009	-3,6	0			40,7	0	0
24.03.2009	-2,3	2,7			43,1	0	0
25.03.2009	-1,7	2,1		34	45	0	0
26.03.2009	-5,5	0			45	0	0
27.03.2009	-1,9	0,2			45,2	0	0
28.03.2009	2,6	1,8	1		38,7	6,5	6,5
29.03.2009	3,1	11,5			39,3	0	0
30.03.2009	3,4	0,5			29,1	10,2	10,2
31.03.2009	2	0			22,8	6,3	6,3
01.04.2009	2,6	8			21,8	1	1
02.04.2009	1,8	0			16,2	5,6	5,6
03.04.2009	3,6	2,5		0	7,2	9	9
04.04.2009	1,6	0			0	7,2	7,2
05.04.2009	3	1,7				0	1,7
06.04.2009	5,2	0					0
07.04.2009	2,2	0,5					0,5

Для расчета снегозапасов (S) как суммы твердых осадков, влияющих на максимальный сток, с даты устойчивого перехода, как писалось выше, к отрицательным значениям производят суммирование твердых осадков X с

коэффициентом потерь  $k_f$ , нивелирующим разницу между снегосъемками, проводящимися на самой метеостанции и на участках водосбора, относящихся к этой метеостанции. В период оттепелей водоотдачу учитывают посредством температурного коэффициента  $k_t$ , показывающим сколько мм слоя снежного покрова стаивает на 1 °С и положительными температурами  $t^+$ .

Параметры модели  $k_f$  и  $k_t$  определяются при решении обратной задачи по известным запасам воды в снежном покрове, температуре и осадкам. Оптимизация выполняется с помощью процедуры поиска решения MS Excel и системы линейных уравнений с переопределенной матрицей. В таблице 3.1.2 представлены коэффициенты, вычисленные вышеуказанным способом для станции Великие Луки.

Таблица 3.1.2 – Вычисленные параметры модели для станции Великие Луки

0	1	2	3	4	5	6	7	8
Год						<b>n</b>	<b>kf</b>	<b>kt</b>
<b>2007</b>	384	0	4	405	433	<b>5</b>	<b>0,98</b>	<b>-2,49</b>
<b>2008</b>	672	5	11	698	815	<b>7</b>	<b>0,21</b>	<b>-0,33</b>
<b>2009</b>	1072	12	25	1054	1187	<b>13</b>	<b>1,06</b>	<b>-3,48</b>
<b>2010</b>	1437	26	40	1439	1549	<b>15</b>	<b>0,77</b>	<b>-2,9</b>
<b>2011</b>	1789	41	57	1794	1920	<b>17</b>	<b>0,66</b>	<b>-2,77</b>
<b>2012</b>	2179	58	68	2210	2282	<b>11</b>	<b>1,47</b>	<b>-3,94</b>
<b>2013</b>	2527	69	87	2495	2662	<b>18</b>	<b>1,18</b>	<b>-2,66</b>
<b>2014</b>	2934	88	90	2900	2962	<b>2</b>	<b>1,48</b>	<b>-4,87</b>
<b>2015</b>	3242	91	94	3285	3341	<b>4</b>	<b>0,63</b>	<b>-1,46</b>
<b>2016</b>	3647	95	101	3620	3737	<b>6</b>	<b>0,88</b>	<b>-1,63</b>
<b>2017</b>	3956	102	109	3966	4086	<b>8</b>	<b>0,79</b>	<b>-2,2</b>
<b>2018</b>	4390	110	123	4361	4476	<b>12</b>	<b>1,06</b>	<b>-4,4</b>
<b>2019</b>	4700	124	132	4726	4814	<b>9</b>	<b>0,89</b>	<b>-2,62</b>
<b>2020</b>	5073	133	134	5111	5155	<b>2</b>	<b>1,75</b>	<b>-1,11</b>
<b>2021</b>	5447	135	145	5447	5562	<b>10</b>	<b>0,58</b>	<b>-1,48</b>

0 – Год	4 – Номер начала в данных файла метео
1 – Номер начала холодного периода	5 – Номер конца в данных файла метео
2 – Номер начала в данных файла снегозапасов	6 – число снегосъемок после перехода через 0
3 – Номер конца в данных файла снегозапасов	7 – Параметр <i>kf</i>
	8 – Параметр <i>kt</i>

### 3.2 Модель формирования стока

В этом пункте работы исследовался сток р. Ловать за холодный период, то есть за период половодья. Ко внешним воздействиям можно отнести значения осредненных температур и поступающих на водосбор осадков за 20082019 гг. по метеостанциям Великие Луки и Старая Русса.

За начало выделенного периода половодья принималась дата за день до устойчивого перехода через 0 °С. Затем выполнялась параметризация модели за все года, машинным образом находились параметры  $k$  и  $\tau$ . Позже по расчетной формуле вычислялись значения расходов  $Q_{\text{расч}}$ .

Ниже можно увидеть примеры графиков за 20092010 гг., где наблюдается удачный и неудачный расчет соответственно.

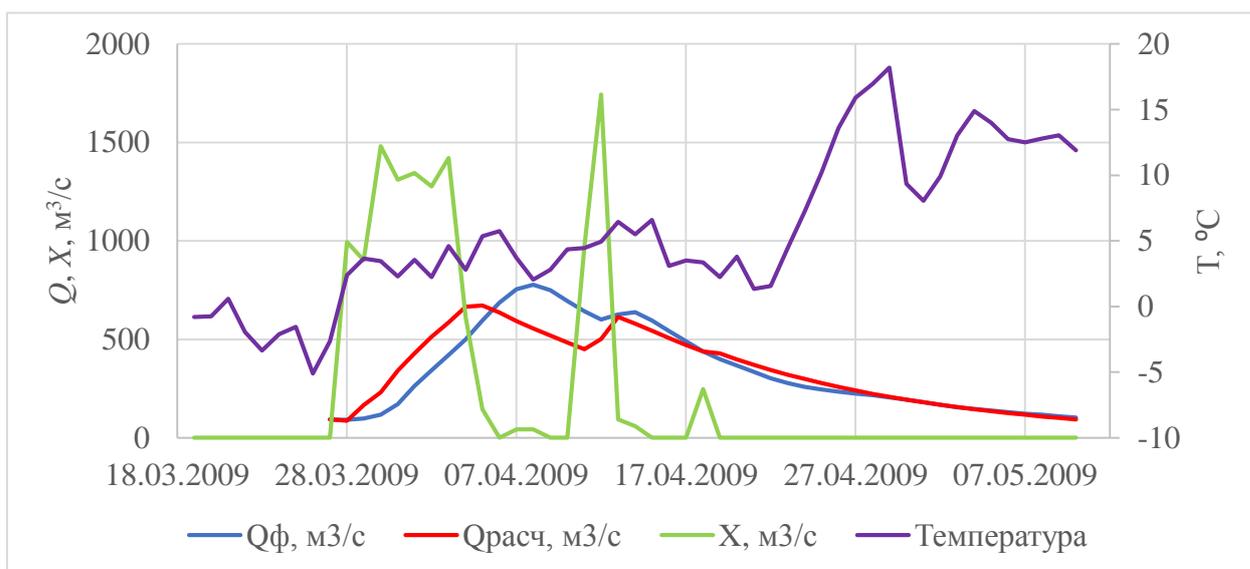


Рисунок 3.2.1 – График параметризации расходов воды на р. Ловать – п. Холм за 2009 г.,  $k = 1.2198$ ,  $\tau = 14$  сут.,  $S/\sigma = 0.45$ .

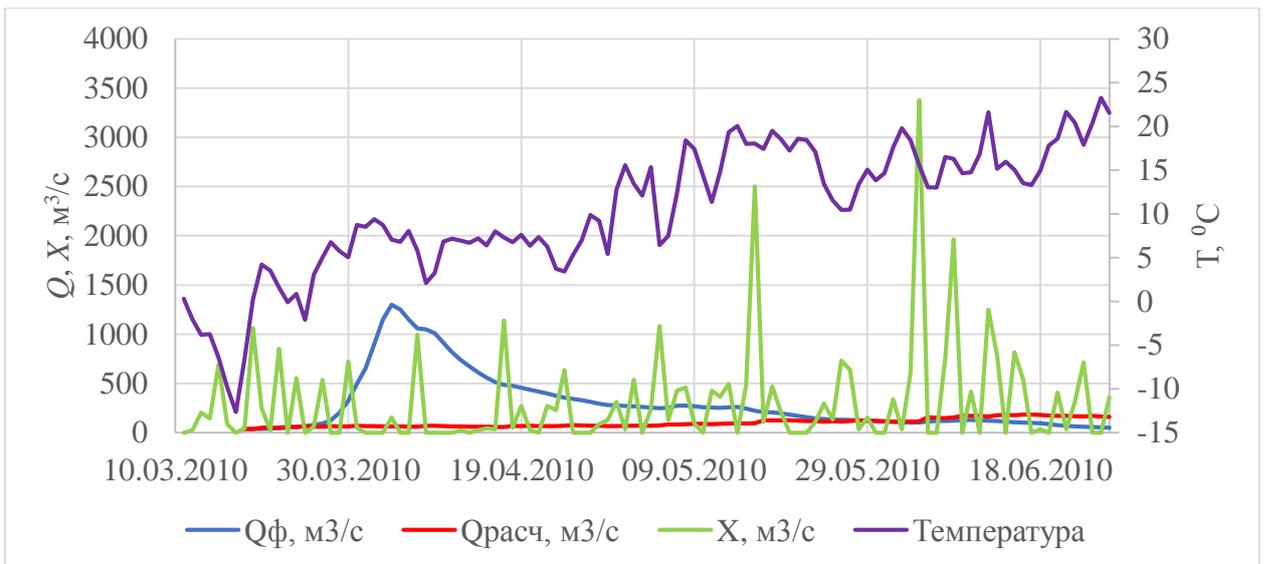


Рисунок 3.2.2 – График параметризации расходов воды на р. Ловать – п. Холм за 2010 г.,  $k = 0.4625$ ,  $\tau = 36$  сут.,  $S/\sigma = 1.28$ .

Когда подбор параметров подходит к концу, полученные значения за 20082017 гг. усредняются и уже эти результаты используются для прогнозирования за 20182019 гг.

Таблица 3.2.1 – Численные значения параметров  $k$  и  $\tau$ ,  $S/\sigma$  за весь период, полученные при параметризации модели руслового стока; средние значения коэффициентов за 20082017 гг.; прогнозные значения  $S/\sigma_{пр}$

Год	$k$	$\tau$	$S/\sigma$	$k_{пр}$	$\tau_{пр}$	$S/\sigma_{пр}$
2008	0,8033	16	1,49			
2009	1,2198	14	0,45			
2010	0,4625	36	1,28			
2011	1,6695	43	1,29			
2012	0,9505	11	0,82			
2013	0,1990	10	1,25			
2014	1,9758	305	0,90			
2015	0,5877	7	1,12			
2016	1,4398	90	0,84			
2017	0,6244	11	1,52			
2018	0,7769	8	1,23	0,9932	54	1,41
2019	1,8897	14	0,37	0,9932	54	1,17

В идеале, чтобы прогноз удался, значение  $S/\sigma$  не должно превышать 0,80 в случае длинного ряда. Как видно из таблицы, апробация модели не является успешной, что очень хорошо заметно на графиках ниже.

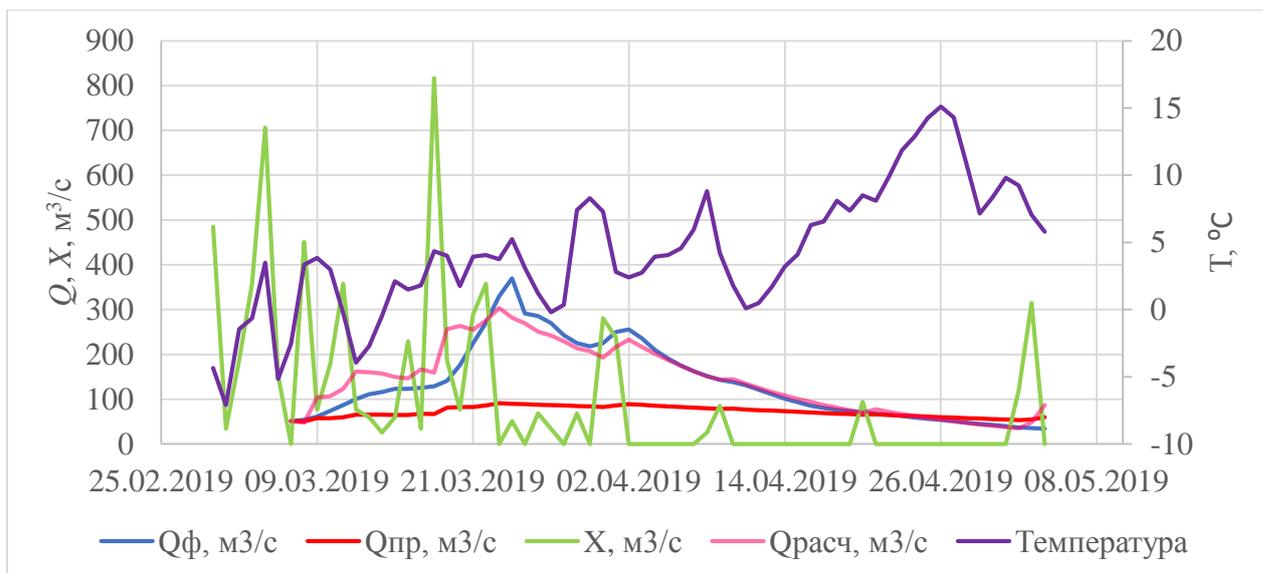


Рисунок 3.2.3 – График параметризованных и прогнозных значений расходов воды на р. Ловать – п. Холм за 2019 г.

### 3.3 Модель водосбора

Как внешнее воздействие, для модели водоема задействованы данные о значениях уровней воды оз.Ильмень – п.Коростынь за 20082019 гг. и значения расходов втекающих рек за тот же временной отрезок.

Требовалось параметризовать модель, то есть решить обратную задачу, для 20082019 гг. и для двух последних лет выполнить апробацию по усредненному значению  $k_{морф}$ . Решению этой задачи способствовала надстройка *MSExcel* “Поиск решения”.

Ниже, как пример, приведен график параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2008 г., где можно увидеть кривую рассчитанных значений, несильно отклоняющихся от фактических.

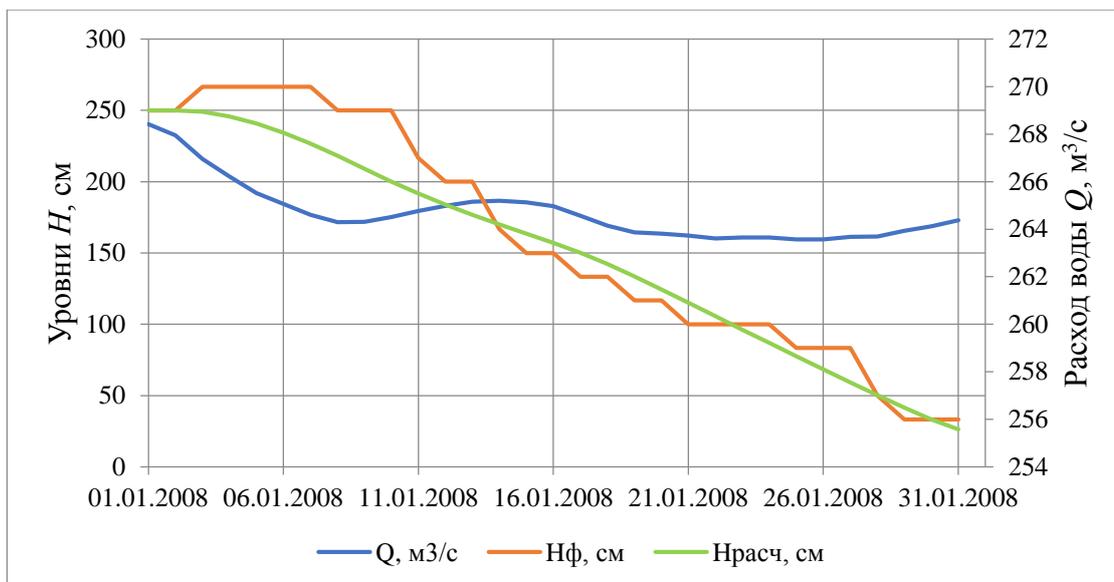


Рисунок 3.3.1 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2008 г.,  $k = 0.0074$ ,  $S/\sigma = 0.26$

Ниже представлен график, где можно увидеть насколько приближены к фактическим значениям прогнозные уровни.

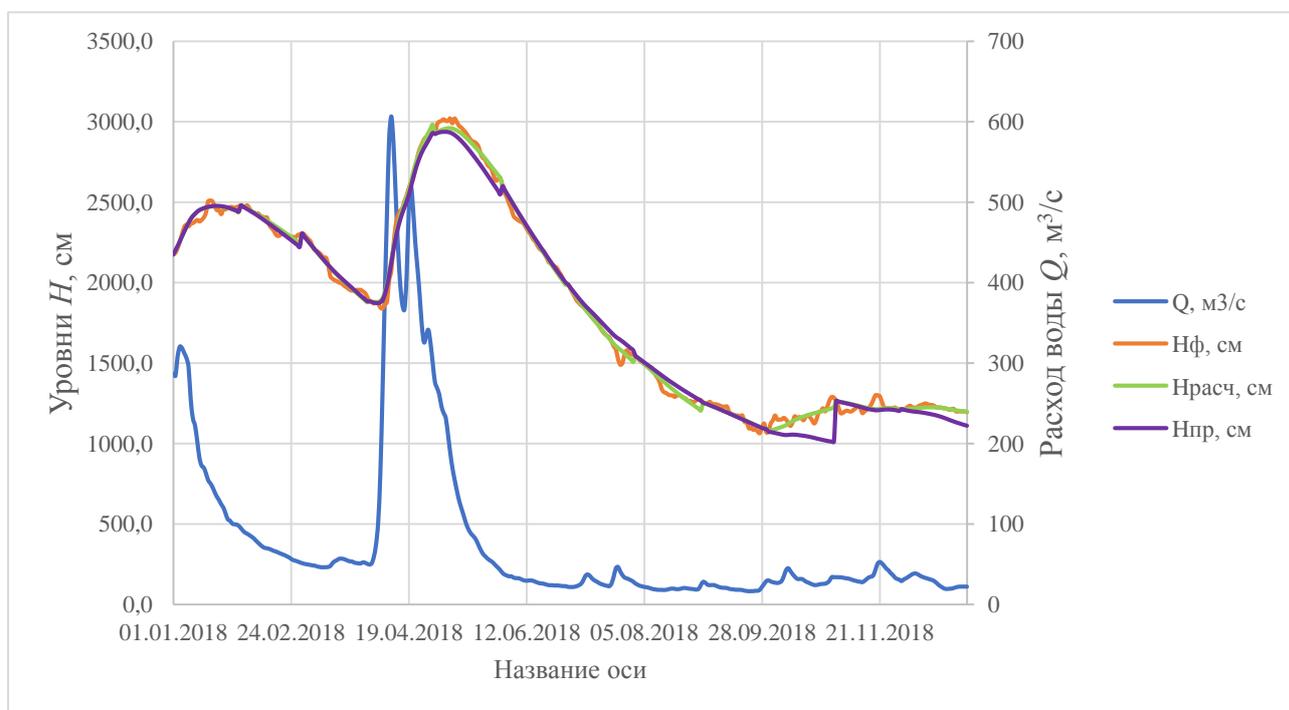


Рисунок 2.3.2 – График параметризованных и прогнозных уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за 2018 г.

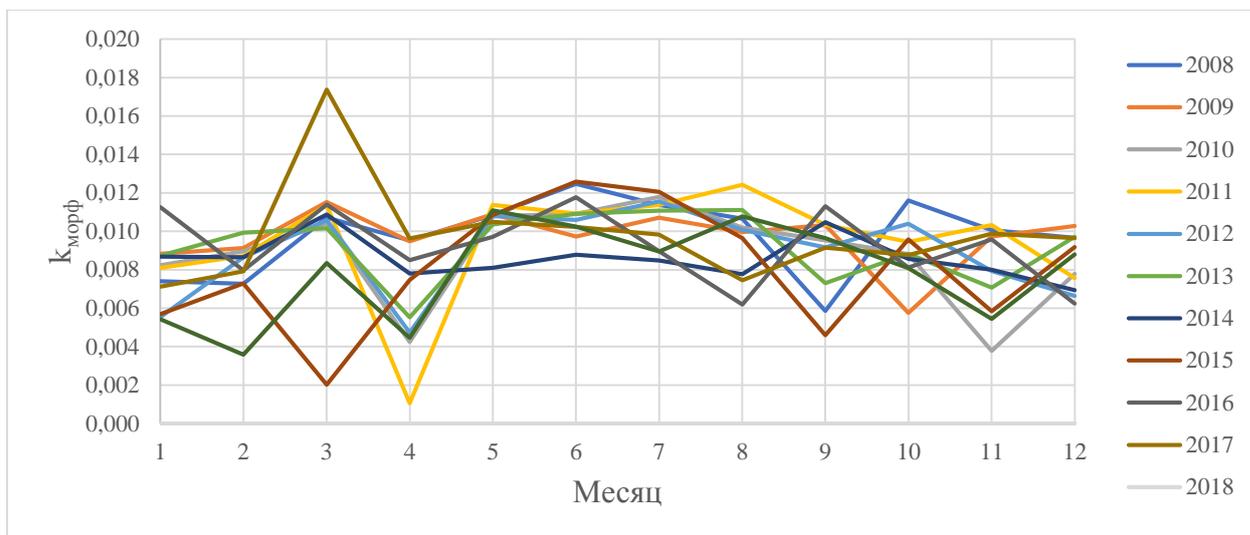


Рисунок 2.3.3 – График хода  $k_{\text{морф}}$  за 20082018гг.

Также строится график хода  $k_{\text{морф}}$  за 20082018гг. по данным таблицы 2.3.1. На представленном рисунке можно увидеть, как изменялся коэффициент за 11 лет. Наибольшие колебания значений приходятся март-апрель. В целом, до июня можно выявить тренд на повышение, затем – понижение.

Таблица 3.3.1 – Численные значения параметра  $k_{\text{морф}}$  за весь период полученные при параметризации модели водоема и средние значения коэффициента за 20082017 гг.

годы \ месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2008	0,0074	0,0073	0,0107	0,0095	0,0108	0,0125	0,0114	0,0107	0,0059	0,0116	0,0101	0,0097
2009	0,0088	0,0091	0,0115	0,0095	0,0109	0,0097	0,0107	0,0100	0,0103	0,0058	0,0097	0,0103
2010	0,0082	0,0090	0,0104	0,0042	0,0108	0,0109	0,0118	0,0102	0,0095	0,0088	0,0038	0,0078
2011	0,0081	0,0087	0,0114	0,0011	0,0114	0,0109	0,0114	0,0124	0,0103	0,0095	0,0103	0,0076
2012	0,0055	0,0086	0,0106	0,0047	0,0108	0,0106	0,0116	0,0101	0,0092	0,0104	0,0079	0,0066
2013	0,0087	0,0099	0,0102	0,0055	0,0104	0,0109	0,0111	0,0111	0,0073	0,0088	0,0071	0,0097
2014	0,0087	0,0087	0,0109	0,0078	0,0081	0,0088	0,0085	0,0078	0,0105	0,0086	0,0080	0,0069
2015	0,0057	0,0073	0,0020	0,0075	0,0108	0,0126	0,0121	0,0096	0,0046	0,0096	0,0058	0,0092
2016	0,0113	0,0080	0,0114	0,0085	0,0097	0,0118	0,0090	0,0062	0,0113	0,0081	0,0096	0,0062
2017	0,0071	0,0079	0,0174	0,0096	0,0105	0,0102	0,0098	0,0075	0,0091	0,0088	0,0099	0,0096
Среднее	0,0080	0,0084	0,0106	0,0068	0,0104	0,0109	0,0107	0,0095	0,0088	0,0090	0,0082	0,0084
2018	0,0080	0,0080	0,0108	0,0058	0,0090	0,0111	0,0124	0,0113	0,0087	0,0017	0,0079	0,0056
2019	0,0054	0,0036	0,0083	0,0045	0,0111	0,0102	0,0089	0,0108	0,0097	0,0081	0,0055	0,0088

Таблица 3.3.2 – Оценка расчета уровней воды оз. Ильмень по критерию  $S/\sigma$

годы \ месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Оценка расчета уровней воды оз. Ильмень по критерию $S/\sigma$ при параметризации												
2008	0,26	0,27	0,05	0,10	0,16	0,14	0,15	0,50	0,63	0,32	0,74	0,18
2009	0,05	0,40	0,17	0,06	0,41	0,45	0,15	0,29	0,24	0,08	0,14	0,18
2010	0,09	0,07	0,17	0,24	0,20	0,14	0,10	0,25	0,63	0,73	0,21	0,38
2011	0,33	0,88	0,08	0,10	0,15	0,06	0,09	0,31	0,41	0,33	0,64	0,20
2012	0,50	0,06	0,14	0,08	0,16	0,18	0,12	0,23	<b>0,84</b>	0,36	0,10	<b>1,04</b>
2013	0,41	0,15	0,11	0,21	<b>2,26</b>	0,17	0,13	0,13	0,41	0,60	0,34	0,22
2014	0,28	0,19	0,25	0,75	0,52	0,31	0,08	0,30	0,36	<b>1,21</b>	0,63	<b>0,88</b>
2015	<b>0,87</b>	0,53	0,25	0,19	0,15	0,13	0,28	0,29	<b>0,98</b>	0,77	0,82	0,36
2016	<b>1,26</b>	0,38	0,63	0,23	0,47	0,19	<b>0,99</b>	0,51	0,22	<b>1,27</b>	0,62	<b>1,03</b>
2017	<b>1,87</b>	0,23	0,45	0,27	0,32	0,17	<b>1,88</b>	0,54	0,43	<b>1,03</b>	<b>0,99</b>	<b>1,11</b>
2018	0,41	0,34	0,24	0,09	0,30	0,17	0,21	0,35	0,35	<b>0,89</b>	<b>1,39</b>	0,69
2019	<b>0,81</b>	<b>1,13</b>	0,30	0,60	0,27	0,26	0,61	0,25	0,67	0,30	0,24	0,75
Оценка расчета уровней воды оз. Ильмень по критерию $S/\sigma$ на независимом материале												
2018	0,42	0,38	0,24	0,11	0,60	0,19	0,43	0,56	0,35	<b>3,20</b>	<b>1,44</b>	<b>3,78</b>
2019	<b>3,80</b>	<b>6,34</b>	0,39	0,80	0,38	0,32	<b>1,73</b>	0,30	0,78	0,33	0,34	<b>0,99</b>

Значение  $S/\sigma$  не должно превышать 0,80 в случае длинны ряда, превышающего  $n = 25$ . Из таблицы 3.3.2 видно, что в большинстве случаев апробация модели является успешной, но иногда соотношение превышает допустимый предел.

## Заключение

В процессе работы:

а. Рассчитана водоотдача из снежного покрова, которая является основным внешним воздействием в модели формирования стока половодья, и водоподача на водосбор;

б. Разработана методика параметризации моделей формирования стока и водоема за холодный период на основе надстройки «Поиск Решения» *MX Excel*;

с. Выполнена параметризация модели формирования стока первого порядка за период максимального стока для р. Ловать – п. Холм по данным метеостанций: Старая Русса, Великие Луки с численными значениями критерия  $S/\sigma$  в диапазоне 0,371,49;

д. Параметризована модель водоема первого порядка за 20082019 гг. для оз. Ильмень по данным о стоке рек: Мста, Пола, Ловать, Шелонь, Полисть с численными значениями критерия  $S/\sigma$  в диапазоне 0,052,26;

е. Произведена апробация моделей формирования стока и водоема на независимом материале за 20182019 гг. с численными значениями критерия  $S/\sigma$  в диапазоне 0,116,34.

## Использованные источники

1. Малушко А. И. Регулирующая способность озера Ильмень и его водосбора [Текст] / А. И. Малушко, Н. В. Мякишева СПб, 2018 г. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/rid\\_14a96dc8c2e5459ebf3d343ee9f5c255.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_14a96dc8c2e5459ebf3d343ee9f5c255.pdf);
2. Озера и реки. Озеро Ильмень. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://ozeraireki.ru/ilmen/ozero-ilmen>;
3. Википедия. Свободная энциклопедия. Ильмень. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ильмень>;
4. Озерон. Главная / Ильмень / Где находится озеро Ильмень и чем оно знаменито. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://ozeron.ru/ilmen/gde-nahoditsya-ozero-ilmen-i-chem-ono-znamenito.html>;
5. ISKATEL.com / Главная / Места / Озеро Ильмень. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://iskatel.com/places/ozero-ilmen>;
6. StudFiles: файловый архив студентов. РГГМУ / Гидрология / Физика вод суши / Курсовые. Почвенно-растительный покров. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://studfile.net/preview/6130598/page:3/>;
7. ТОПоГИС. Топография. Картография. Геоинформационные системы (GIS). Форма рельефа озера Ильмень. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://topogis.ru/forma-rel-yefa-ozera-il-men.php>;
8. allbest. Выбери лучшее! Гидрологический режим и водный баланс озера Ильмень. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: [https://knowledge.allbest.ru/geology/2c0a65625a2bd69b4d53b89521206c27\\_0.html](https://knowledge.allbest.ru/geology/2c0a65625a2bd69b4d53b89521206c27_0.html);

9. 24СМИ. Факты / Ильмень – озеро из былин: происхождение, климат, обитатели и другие факты. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://24smi.org/facts/298061-ilmen-ozero-iz-bylin-i-fakty-onem-proiskhozhdenie.html#tableofcontents1>;
10. Библиофонд: электронная библиотека студента. Гидрологический режим и водный баланс озера Ильмень. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=794795>;
11. Все реки: информационный сайт о реках России. Бассейн озера Ильмень. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://vsereki.ru/atlanticheskij-ocean/bassejn-baltijskogo-morya/bassejn-oz-ilmen>;
12. StudFiles: файловый архив студентов. Лекция 11. Максимальный сток рек. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://studfile.net/preview/9524809/page:14/>;
13. Пьянков С. В. Комплексный подход в исследовании динамики процессов снеготаяния на водосборах рек. [Текст] / С.В. Пьянков, Ю.Н. Шавнина, А.Н. Шихов [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <http://www.eecca-water.net/file/Pyankov-S.V.-Kompleksnyy-podhod.pdf>;
14. StudFiles: файловый архив студентов. Курс «Моделирование гидрологических процессов». Лекция 7. Тема: Модели снеготаяния. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://studfile.net/preview/5429022/>;
15. Коваленко В. В. Практикум по дисциплине «Моделирование гидрологических процессов. Часть I. Динамические модели» (на базе языка С++). Учебное пособие. [Текст] / В. В. Коваленко, Е. В. Гайдукова СПб.: изд. РГГМУ, 2010. – 147 с.;
16. Коваленко В. В. Моделирование гидрологических процессов. Учебник. [Текст] / В. В. Коваленко, Н. В. Викторова, Е. В. Гайдукова – Изд. 2-е, испр. и доп. – СПб.: изд. РГГМУ, 2006. – 559 с.;
17. StudFiles: файловый архив студентов. Курс «Моделирование гидрологических процессов». Лекция 1. Тема: Понятие моделирования

гидрологических процессов. Цели моделирования. Модели сосредоточенные и распределенные. Типы моделей. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://studfile.net/preview/5429015/>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А Среднемесячные и среднегодовые уровни воды,  
температуры воздуха и количество осадков на водосборе оз. ильмень

Таблица 1 – Среднемесячные и среднегодовые уровни воды на озере Ильмень

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
1945	33	46	60	222	310	236	162	134	129	252	302	229	176
1946	163	108	50	256	501	384	265	181	146	165	141	119	207
1947	67	34	8	233	395	305	211	132	81	47	30	33	131
1948	14	39	39	280	349	233	157	114	79	95	132	176	142
1949	140	96	82	240	336	282	269	183	125	86	55	85	165
1950	89	55	28	239	343	288	272	103	156	173	83	270	175
1951	246	191	123	353	390	292	196	129	97	68	43	30	180
1952	24	7	10	61	210	164	135	105	111	263	377	354	152
1953	298	235	169	393	430	322	281	345	342	388	351	348	325
1954	285	207	139	214	281	232	168	127	101	130	212	197	191
1955	181	159	142	45	527	528	406	278	169	113	86	68	225
1956	203	183	163	229	700	60	472	374	314	283	295	290	297
1957	305	295	301	465	593	531	447	384	414	522	519	449	435
1958	408	361	332	403	659	572	456	366	299	291	379	378	409
1959	355	346	328	546	640	508	397	309	254	247	265	233	369
1960	201	177	156	297	503	406	337	284	277	264	296	391	299
1961	418	377	417	519	521	448	344	301	313	278	264	276	373
1962	263	252	233	457	628	533	502	462	432	414	402	464	420
1963	408	343	288	328	479	377	285	247	235	237	274	276	315
1964	242	210	181	255	433	383	296	239	201	187	204	224	255
1965	239	220	204	296	552	478	376	299	262	238	242	228	303
1966	220	201	203	492	741	606	454	333	274	267	267	252	359
1967	222	194	200	396	491	412	326	262	239	242	305	318	301
1968	274	231	206	562	609	508	400	325	266	252	298	282	351
1969	250	218	184	258	497	446	332	264	229	224	243	323	289
1970	303	258	213	350	535	421	309	249	224	227	241	254	299
1971	233	244	226	427	436	342	296	248	217	227	262	256	285
1972	225	185	153	287	365	321	277	242	220	220	234	242	248
1973	230	202	178	329	389	342	284	258	253	256	280	296	275
1974	289	239	308	349	442	398	340	326	275	252	300	347	322
1975	429	414	393	548	522	402	304	251	230	220	216	215	345
1976	211	188	163	317	522	479	462	359	280	253	249	277	313
1977	268	233	208	399	520	413	319	296	281	300	332	383	329
1978	297	251	228	473	584	491	379	295	250	297	363	433	362
1979	1366	301	252	398	533	438	320	276	229	209	209	255	399
1980	255	226	790	266	472	399	297	256	280	265	301	357	347
1981	375	333	295	474	545	441	324	240	217	275	398	431	362
1982	408	354	310	516	573	482	378	285	243	241	269	306	364
1983	374	379	331	539	527	422	1319	248	214	219	252	291	426
1984	347	324	268	432	511	428	336	262	234	279	315	291	336
1985	260	225	192	318	543	468	385	305	266	289	357	363	331

Таблица 2 – Среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха на метеостанции  
Новгород

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
1961	-4,6	-1,2	0,4	3,2	11,1	18,1	17,2	14,8	9,3	6,6	0,6	-6,1	5,8
1962	-3,9	-6,0	-9,3	5,1	10,4	12,4	15,7	14,0	10,0	5,9	0,6	-7,0	4,0
1963	-15,6	-12,3	-10,7	1,7	15,0	13,6	18,4	17,3	12,2	5,3	-0,8	-8,1	3,0
1964	-5,0	-11,0	-6,0	3,3	11,0	17,0	18,1	14,8	10,0	7,0	-2,4	-4,7	4,3
1965	-7,9	-11,2	-5,2	1,2	7,9	15,8	15,1	14,6	12,3	4,2	-7,0	-3,9	3,0
1966	-14,6	-12,8	-2,0	2,7	12,9	13,0	14,0	14,5	8,9	5,5	-0,8	-8,7	2,7
1967	-15,0	-8,4	0,1	4,4	18,4	15,0	16,4	16,6	12,0	8,5	2,7	-9,9	5,1
1968	-17,3	-8,9	-3,1	4,3	9,8	16,7	14,5	17,2	10,5	2,7	-2,1	-3,9	3,4
1969	-14,7	-10,8	-4,7	3,7	10,2	14,8	16,8	15,7	9,6	5,0	0,4	-8,5	3,1
1970	-12,0	-11,3	-2,3	3,8	11,8	16,2	17,8	15,7	10,2	4,4	-1,4	-6,0	3,9
1971	-3,3	-7,9	-4,5	3,2	11,7	15,6	16,8	16,1	9,8	4,1	-2,1	4,6	5,3
1972	-14,3	-6,6	-3,0	3,3	11,0	18,2	2,0	4,0	19,2	11,0	-3,5	4,2	3,8
1973	-7,9	-5,0	-2,1	4,9	11,8	16,9	19,5	15,4	7,5	3,0	-2,3	-7,0	4,6
1974	-8,7	-1,6	-1,1	2,7	8,3	16,1	17,6	15,3	12,8	7,1	1,7	-0,8	5,8
1975	-2,5	-5,6	0,1	5,6	14,1	14,8	18,5	15,6	12,5	4,4	-2,6	-3,4	6,0
1976	-11,5	-11,6	-4,5	3,0	10,4	12,4	16,4	13,9	9,1	-0,7	-0,8	-4,8	2,6
1977	-9,3	-8,2	-3,5	4,4	12,2	15,8	17,3	14,6	8,6	4,0	1,2	-3,5	4,5
1978	-8,8	-11,4	-1,4	2,5	12,0	13,4	16,8	14,6	7,5	3,8	1,0	-2,6	4,0
1979	-10,6	-12,5	-2,1	2,5	13,6	16,5	16,0	16,7	8,4	3,5	0,0	-4,1	4,0
1980	-4,0	-8,6	-7,2	4,9	13,4	18,5	16,6	14,6	10,5	5,5	-2,6	-4,1	4,8
1981	-5,6	-5,8	-6,1	1,8	13,1	16,7	19,0	15,1	10,3	7,4	-0,4	-6,6	4,9
1982	-5,1	-1,3	-8,2	3,4	10,8	12,5	17,3	15,6	10,5	3,2	-1,2	-1,6	4,7
1983	-2,7	-9,2	-3,0	6,9	14,7	14,4	17,7	15,9	11,8	5,6	-0,8	-3,6	5,6
1984	-4,4	-9,0	-4,0	5,7	11,4	4,6	16,4	14,8	11,3	6,9	-1,8	-5,9	3,8
1985	-14,0	-16,6	-2,6	2,5	11,8	13,9	16,0	18,2	9,9	7,0	-2,3	-7,8	3,0
1986	-6,6	-13,4	-1,8	4,5	12,2	17,5	16,4	15,2	7,6	4,5	1,9	-8,2	4,2
1987	-19,2	-5,8	-7,5	1,4	9,8	15,2	15,9	13,8	9,3	4,9	-2,5	-6,6	2,4
1988	-5,9	-5,2	-1,2	3,2	14,1	18,4	20,6	15,2	11,5	4,7	-5,5	-7,2	5,2

Таблица 3– Среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха на метеостанции  
Валдай

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
1961	-6,1	-2,0	-0,6	2,6	10,4	17,2	16,8	14,3	8,9	6,3	-0,7	-7,3	5,0
1962	-4,9	-6,9	-8,2	5,6	10,3	11,8	14,8	13,1	9,4	5,2	0,3	-8,1	3,5
1963	-16,0	-11,5	-11,2	2,5	15,4	12,4	17,9	16,8	12,3	5,0	-1,0	-8,6	2,8
1964	-7,4	-10,4	-7,6	3,0	10,0	10,8	18,0	14,6	10,2	6,5	-3,2	-5,1	3,3
1965	-8,6	-10,8	-4,4	1,2	7,2	14,8	14,5	14,0	11,8	3,4	-7,3	-3,8	2,7
1966	-13,6	-12,1	-2,0	2,6	12,9	13,9	15,2	14,5	8,0	5,1	-0,8	-10,4	2,8
1967	-14,7	-8,9	0,3	4,3	13,4	14,8	16,0	16,2	11,0	8,1	11,0	-10,4	5,1
1968	-17,4	-8,5	-2,2	3,7	9,4	16,4	13,9	16,8	10,4	1,9	-2,7	-5,5	3,0
1969	-15,1	-12,4	-4,7	3,4	9,4	13,7	16,0	14,7	9,0	3,8	0,6	-9,4	2,4
1970	-11,9	-10,5	-2,4	3,9	11,2	15,3	17,3	15,2	9,9	3,7	-2,4	-6,4	3,6
1971	-3,9	-10,0	-4,5	2,9	11,1	14,9	15,5	15,3	9,2	2,9	-2,7	3,8	4,5
1972	-16,3	-6,7	-4,2	3,4	10,4	17,4	20,7	19,2	10,3	3,3	-2,9	-4,0	4,2
1973	-9,7	-4,7	-2,1	4,7	10,9	16,5	18,2	14,8	6,6	2,3	-3,2	-7,1	3,9
1974	-10,8	-1,8	-1,9	1,4	7,1	15,1	16,8	14,5	12,1	6,7	0,8	-1,9	4,8
1975	-3,7	-6,6	-0,2	6,1	13,9	14,4	17,8	14,7	12,3	3,8	-3,4	-4,1	5,4
1976	-13,6	-11,9	-4,6	2,6	9,3	11,5	15,7	13,0	8,7	-1,4	-1,4	-4,7	1,9
1977	-9,9	-8,1	-2,8	4,4	11,9	15,6	17,0	14,0	8,6	2,9	-3,1	-3,9	3,9
1978	-8,5	-11,3	-0,7	3,9	13,0	16,3	16,0	14,1	9,0	3,6	-2,7	-4,5	4,0
1979	-11,2	-11,1	-2,0	1,5	13,8	15,6	15,0	16,4	9,9	3,0	-1,0	-5,5	3,7
1980	-11,6	-8,5	-7,7	4,0	15,0	17,1	15,8	14,0	9,7	4,6	-3,2	-5,0	3,7
1981	-6,3	-6,6	-5,7	1,1	12,4	16,2	18,9	15,0	9,8	7,0	-1,5	-6,1	4,5
1982	-9,5	-1,3	-6,9	3,4	9,8	11,6	16,5	15,0	10,1	4,3	-2,2	-1,6	4,1
1983	-4,1	-9,6	-2,9	6,4	13,7	13,1	16,5	15,0	11,4	5,2	-1,8	-3,5	5,0
1984	-5,0	-9,9	-4,3	5,4	13,4	13,5	15,9	13,9	10,8	6,4	-2,9	-8,2	4,1
1985	-14,8	-16,7	-2,7	2,3	11,2	12,8	15,2	18,0	9,2	6,1	-4,1	-8,4	2,3
1986	-7,5	-14,3	-1,1	3,7	11,5	16,5	16,9	14,5	6,6	36,0	0,9	-6,9	6,4
1987	-20,2	-6,4	-7,5	1,3	10,6	14,7	15,0	13,0	8,1	4,1	-3,3	-7,5	1,8
1988	-7,4	-6,5	-1,2	3,1	13,3	17,8	20,3	14,5	10,8	4,4	-5,5	-7,7	4,7

Таблица 4 – Среднемесячное и среднегодовое количество осадков на метеостанции  
Валдай

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
1961	33,6	25,4	59,0	45,9	83,7	54,4	115,2	131,1	40,9	14,5	43,0	46,5	57,8
1962	38,9	13,3	63,3	41,8	69,5	104,7	107,3	95,9	91,1	48,9	40,2	26,8	61,8
1963	22,3	14,7	18,2	12,4	26,5	73,1	34,4	34,4	66,6	36,7	86,0	47,2	39,4
1964	17,4	17,3	19,7	26,3	25,8	36,6	49,8	40,9	65,2	66,6	64,7	51,2	40,1
1965	33,4	21,1	43,1	5,2	54,3	32,4	108,3	59,9	42,9	68,7	51,0	41,6	46,9
1966	50,5	49,4	70,7	42,0	62,3	55,0	65,0	61,4	17,2	60,9	23,8	46,7	50,4
1967	35,3	16,4	23,1	65,7	106,6	101,5	46,5	96,1	45,5	125,7	57,1	53,3	64,4
1968	27,1	25,2	45,7	59,0	116,3	54,9	118,0	17,9	51,4	143,7	32,5	48,5	61,7
1969	19,2	14,0	34,2	60,0	69,3	79,2	80,4	47,4	88,9	91,3	95,1	32,6	59,3
1970	39,4	17,0	16,4	57,0	26,7	14,2	92,2	57,8	68,6	71,7	42,3	38,0	45,1
1971	34,3	27,4	32,6	25,7	41,5	130,1	89,7	31,4	90,9	106,6	58,9	50,2	59,9
1972	30,2	34,2	39,6	54,0	48,6	99,8	65,4	45,6	110,3	89,6	75,6	45,3	61,5
1973	20,7	48,4	44,7	78,5	56,2	93,7	53,2	64,0	130,0	83,1	102,3	49,4	68,7
1974	28,2	30,9	11,4	25,6	53,6	106,1	169,8	55,1	48,6	72,5	69,2	61,1	61,0
1975	69,1	38,2	29,4	50,9	25,5	74,7	99,0	62,2	23,3	52,1	65,3	85,5	56,3
1976	38,0	26,7	52,7	76,8	55,8	140,6	65,5	55,4	24,0	49,0	52,7	63,8	58,4
1977	32,1	28,3	58,3	64,5	53,2	115,3	133,0	91,7	99,4	84,8	49,6	59,3	72,5
1978	27,3	32,8	63,6	51,8	46,3	79,3	125,3	53,5	85,6	69,3	45,6	64,5	62,1
1979	41,9	36,9	40,0	16,5	24,1	17,8	118,6	59,4	79,2	38,1	43,9	72,0	49,0
1980	52,3	39,0	11,1	19,3	25,0	27,7	86,0	216,8	44,8	75,3	62,2	88,3	62,3
1981	55,9	34,3	60,3	30,2	39,3	77,5	70,8	93,1	90,7	138,4	85,7	52,0	69,0
1982	38,8	30,0	31,4	32,9	74,8	59,1	30,7	101,1	65,4	44,2	50,2	68,0	52,2
1983	78,1	30,6	36,2	42,3	61,6	100,6	115,0	57,1	624,0	98,1	116,9	86,9	120,6
1984	39,8	5,3	35,1	39,7	44,0	59,5	66,9	87,6	123,3	91,3	16,2	72,1	56,7
1985	60,2	25,8	28,1	31,1	49,7	96,9	76,5	59,5	118,1	93,0	61,3	62,4	63,6
1986	63,1	16,5	45,7	73,7	25,6	73,1	124,0	66,6	163,3	47,6	49,3	68,0	68,0
1987	28,3	52,2	17,9	38,6	118,1	126,4	70,9	111,0	115,3	0,9	55,5	59,4	66,2
1988	20,0	33,5	36,3	33,9	42,8	67,8	26,0	150,5	62,5	55,7	74,9	62,2	55,5

Таблица 5 – Среднемесячное и среднегодовое количество осадков на метеостанции  
Новгород

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
1961	25,6	19,6	48,4	33,8	44,5	45,5	56,9	141,7	32,4	19,0	23,3	28,7	43,3
1962	23,9	15,1	54,0	41,2	38,2	128,6	116,2	72,0	64,1	33,7	71,0	25,6	57,0
1963	21,5	30,1	21,1	4,9	22,7	37,8	60,0	79,3	25,3	82,8	35,5	36,0	38,1
1964	13,0	21,8	6,6	34,8	32,5	49,9	67,4	55,6	48,6	59,3	52,3	42,3	40,3
1965	35,3	19,8	37,7	1,6	29,9	18,3	101,2	43,2	33,6	24,3	36,1	40,9	35,2
1966	59,2	37,3	46,0	25,3	49,0	36,0	64,0	114,3	12,7	38,4	28,2	38,0	45,7
1967	37,5	19,3	33,9	34,3	44,1	49,6	53,6	64,4	38,6	51,6	51,2	35,9	42,8
1968	35,7	15,7	24,4	54,8	71,1	71,3	81,1	42,8	51,2	78,6	38,8	38,7	50,4
1969	16,7	18,6	45,0	69,7	88,8	30,6	58,7	31,0	63,7	41,2	88,3	48,1	50,0
1970	36,1	18,8	20,9	89,7	8,5	48,0	87,6	62,3	84,8	53,1	60,4	55,2	52,1
1971	38,2	34,2	42,3	12,3	19,5	79,3	34,1	35,9	40,2	29,4	34,5	34,5	36,2
1972	30,2	35,2	36,1	40,2	25,6	66,4	20,0	35,7	69,5	30,2	50,4	32,1	39,3
1973	6,6	33,1	27,7	45,8	47,0	54,7	23,5	36,3	83,9	36,3	70,6	30,8	41,4
1974	14,5	21,7	5,8	13,6	45,5	59,3	203,0	86,1	35,3	60,3	76,1	37,2	54,9
1975	30,1	14,4	24,0	47,3	41,7	100,3	27,5	40,7	30,6	27,9	58,0	51,5	41,2
1976	36,4	11,3	38,1	59,0	45,3	91,2	44,5	53,2	45,0	33,0	43,7	45,8	45,5
1977	29,2	15,2	40,0	6,0	58,6	82,1	110,6	45,5	65,0	61,7	45,6	58,0	51,5
1978	23,9	21,8	45,5	44,0	36,9	65,3	83,5	101,1	68,1	54,0	44,3	39,1	52,3
1979	23,3	16,2	18,0	18,7	20,6	13,6	75,8	80,7	74,0	45,0	44,7	31,8	38,5
1980	32,8	28,3	8,0	23,7	24,2	43,6	74,1	109,2	26,2	78,3	32,8	47,4	44,1
1981	29,9	21,3	38,3	12,7	23,0	70,5	39,2	67,6	83,0	151,6	42,9	76,4	54,7
1982	24,1	23,5	25,0	29,1	59,3	67,9	66,3	61,7	94,7	48,1	70,2	63,3	52,8
1983	40,5	11,0	32,0	20,6	67,0	61,9	31,8	32,9	53,1	68,5	61,3	46,8	44,0
1984	34,7	9,0	20,3	13,7	33,2	57,2	74,0	41,0	140,5	59,0	8,4	64,2	46,3
1985	32,3	29,0	20,4	28,1	34,3	115,1	75,6	75,6	50,8	90,7	59,4	50,2	55,1
1986	56,4	14,1	28,4	28,1	24,6	76,1	70,3	59,4	111,5	24,5	48,5	40,5	48,5
1987	29,3	31,8	23,7	11,5	35,7	83,2	45,9	126,9	93,9	9,8	54,7	24,6	47,6
1988	21,3	20,5	31,2	27,0	10,4	38,1	67,3	67,5	47,9	14,6	37,6	23,7	33,9

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода с 2007 по 2021 г.

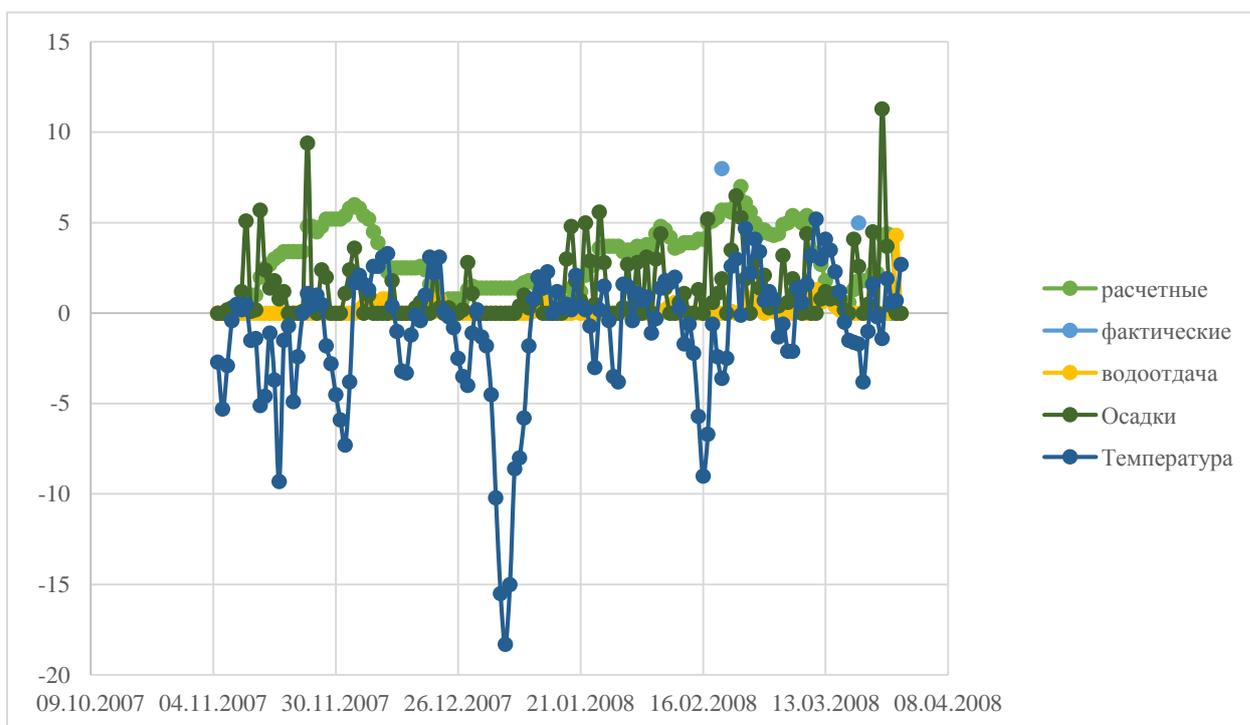


Рисунок 1 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20072008 гг.

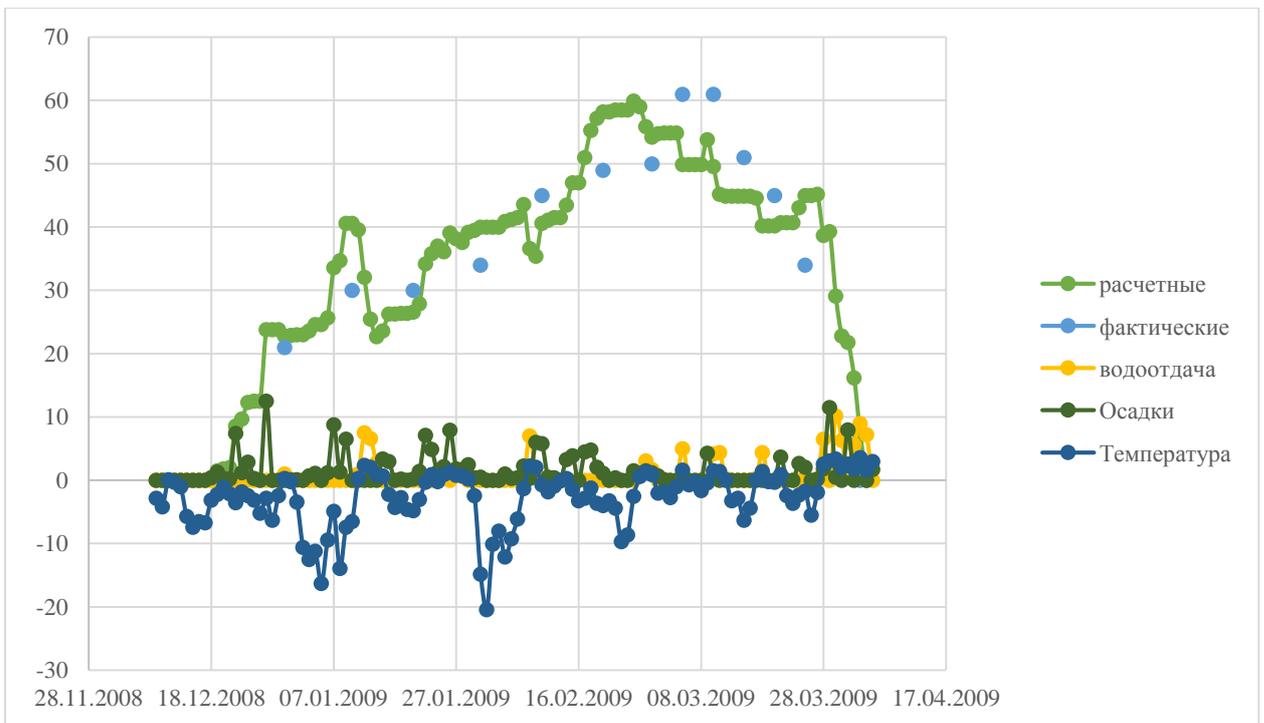


Рисунок 2 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20082009 гг.

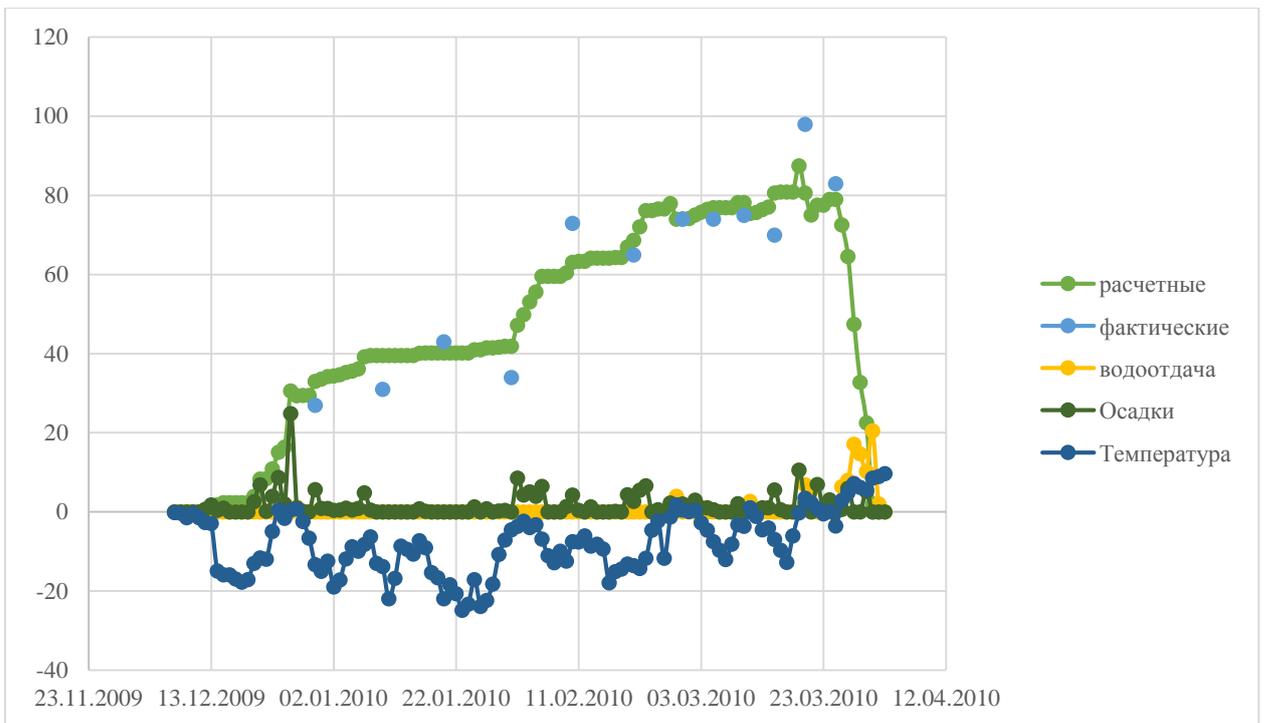


Рисунок 3 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20092010 гг.

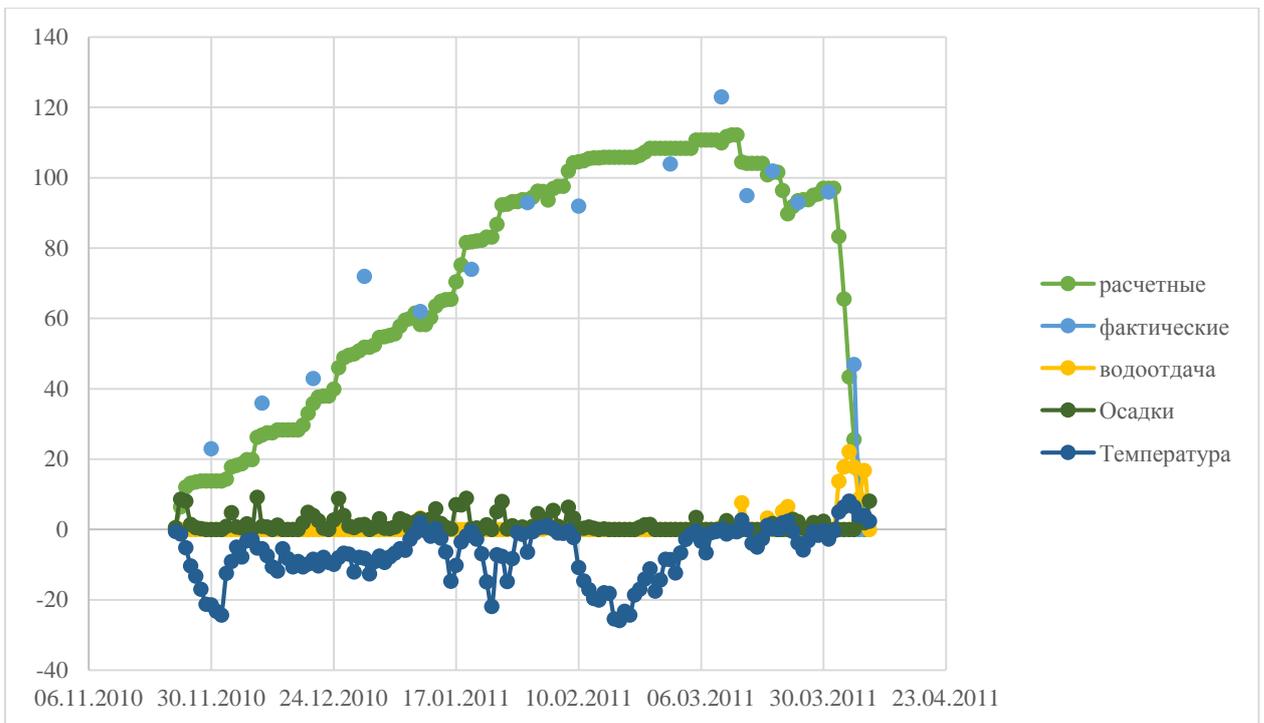


Рисунок 4 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20102011 гг.

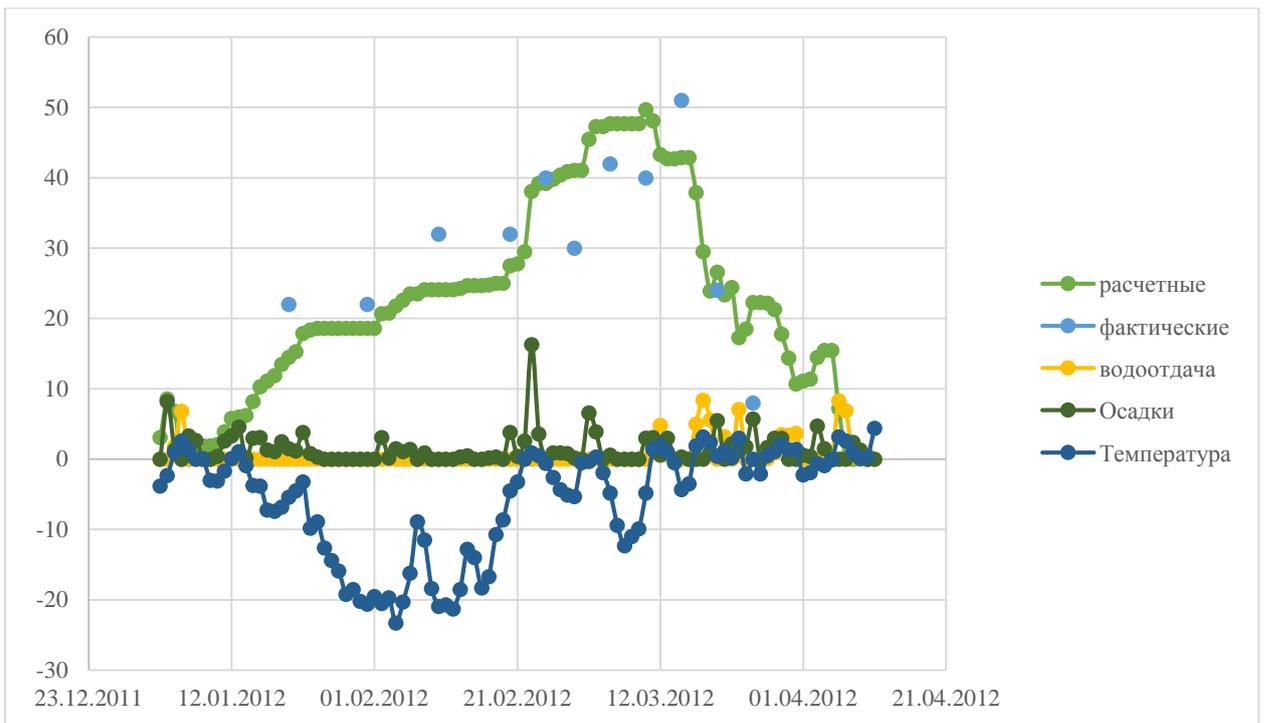


Рисунок 5 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20112012 гг.

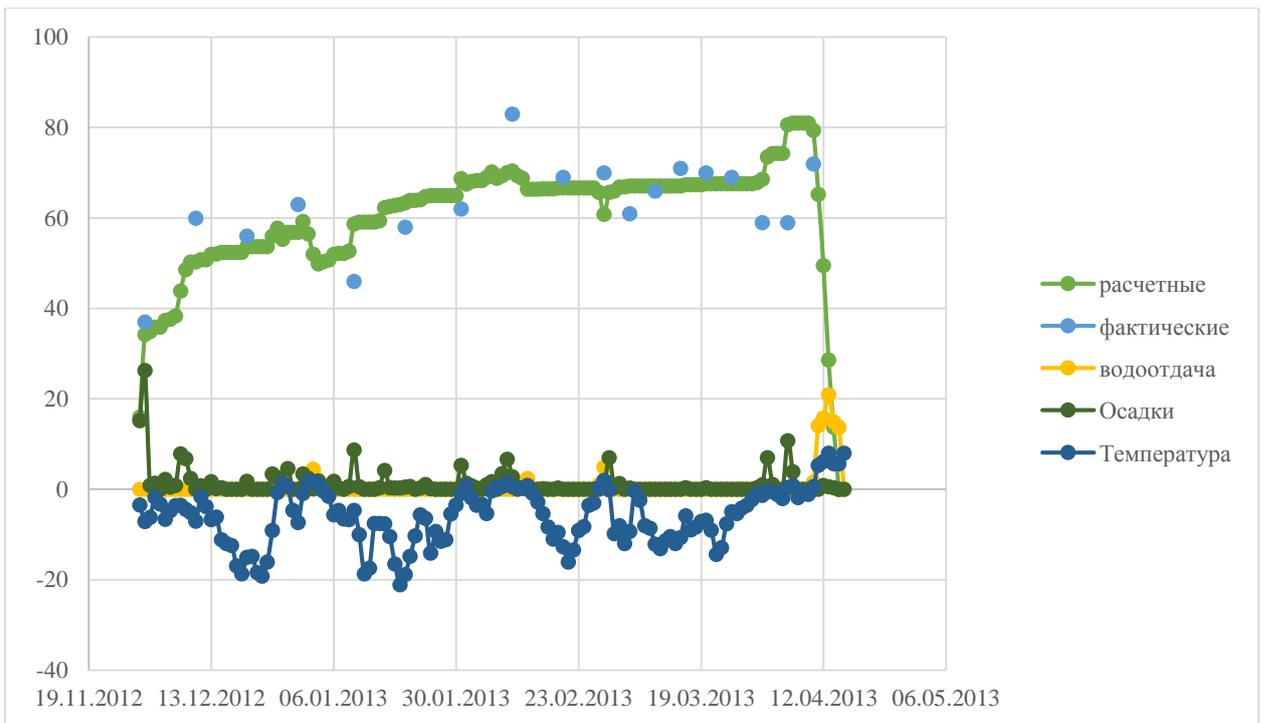


Рисунок 6 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20122013 гг.

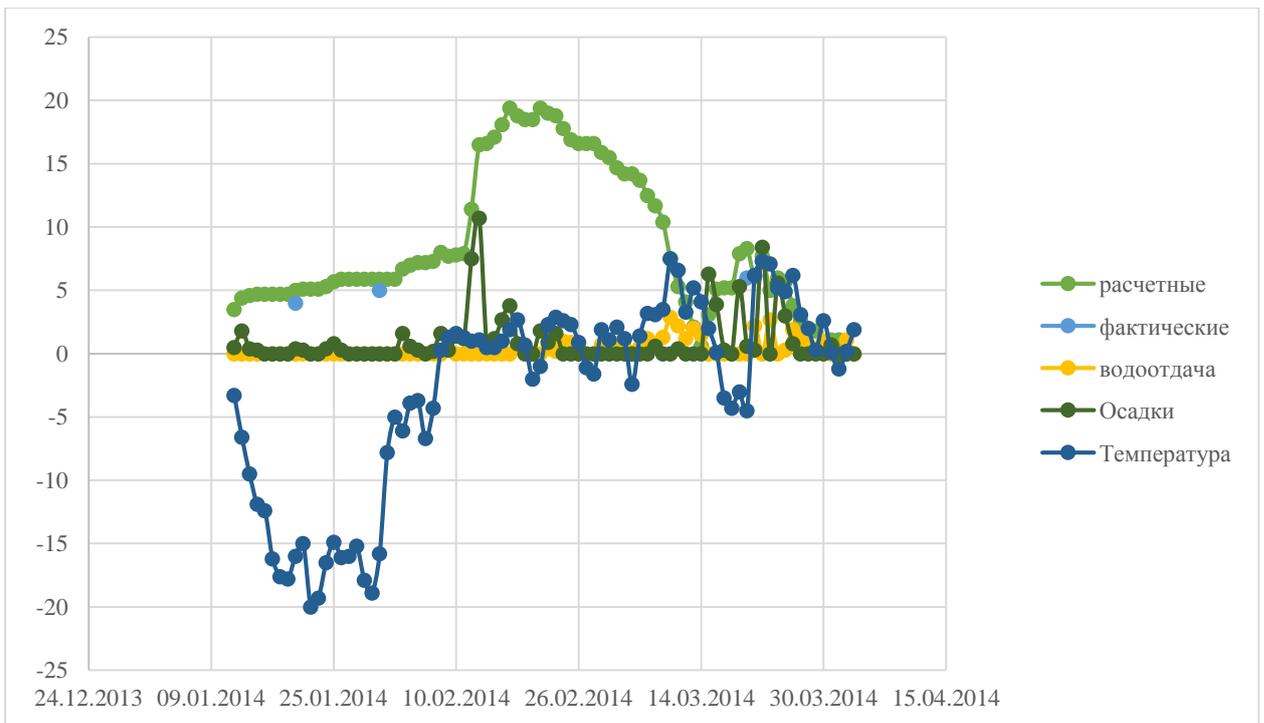


Рисунок 7 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20132014 гг.

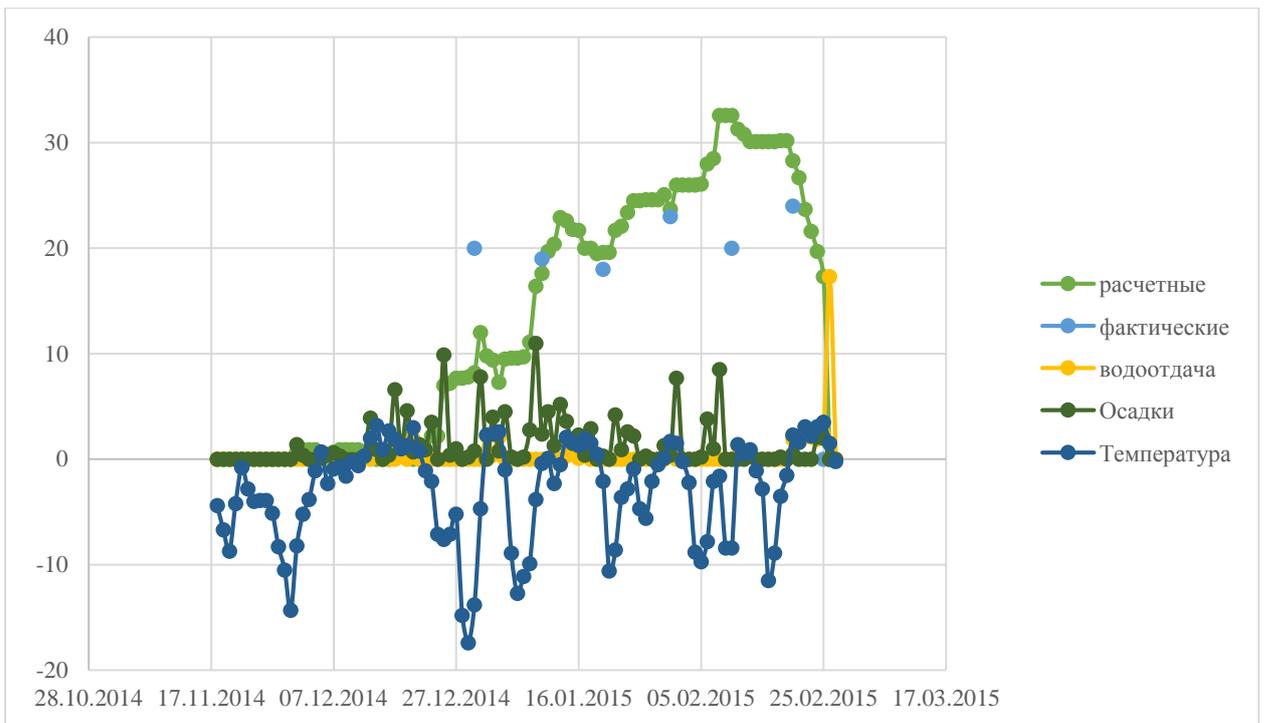


Рисунок 8 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20142015 гг.

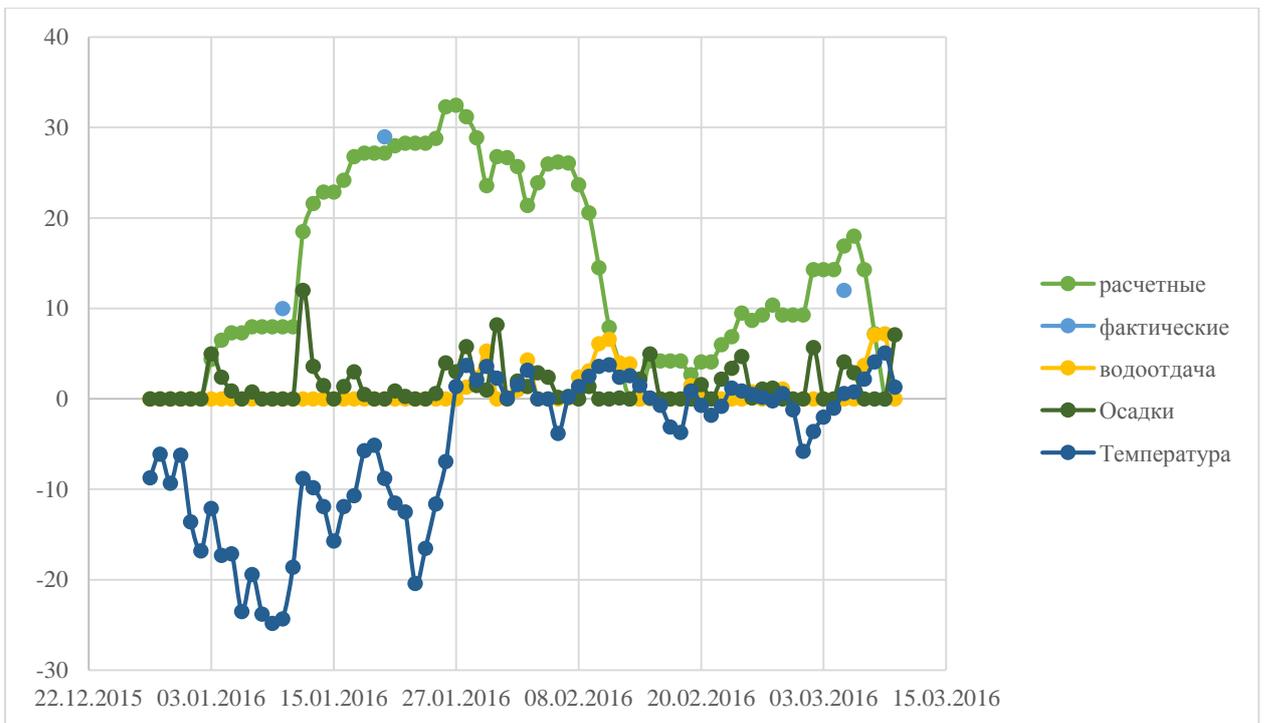


Рисунок 9 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20152016 гг.

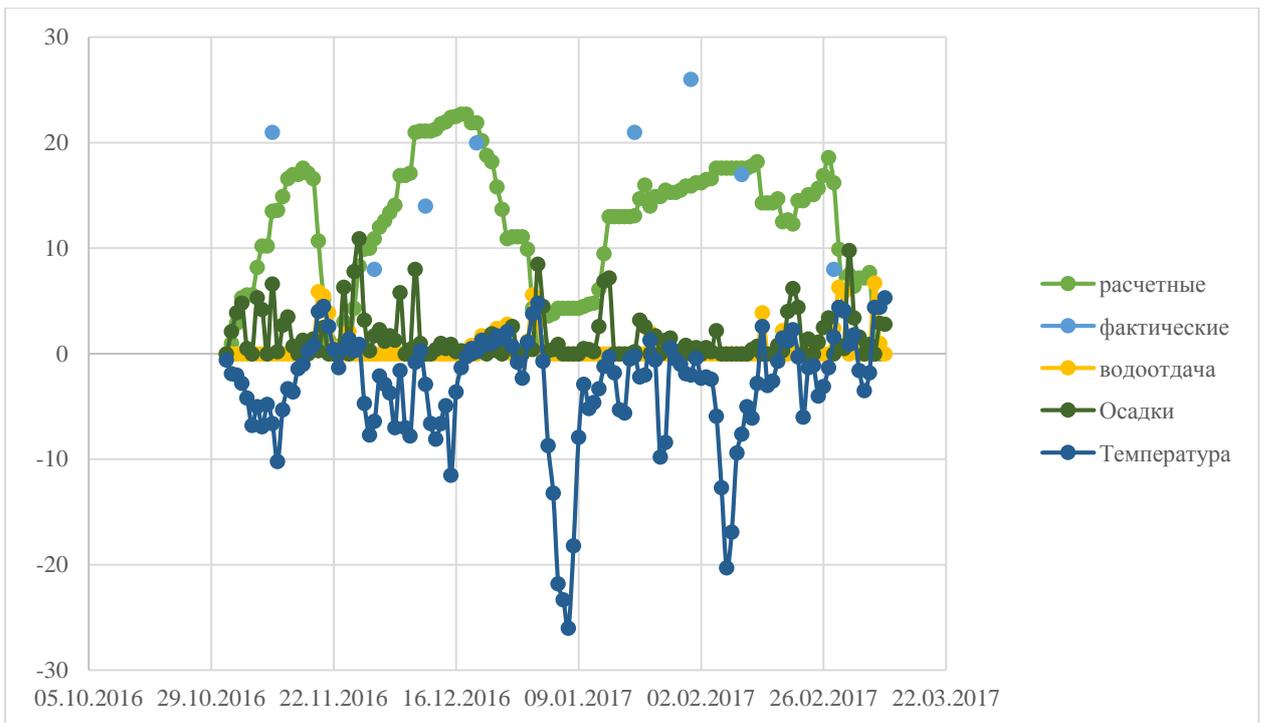


Рисунок 10 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20162017 гг.

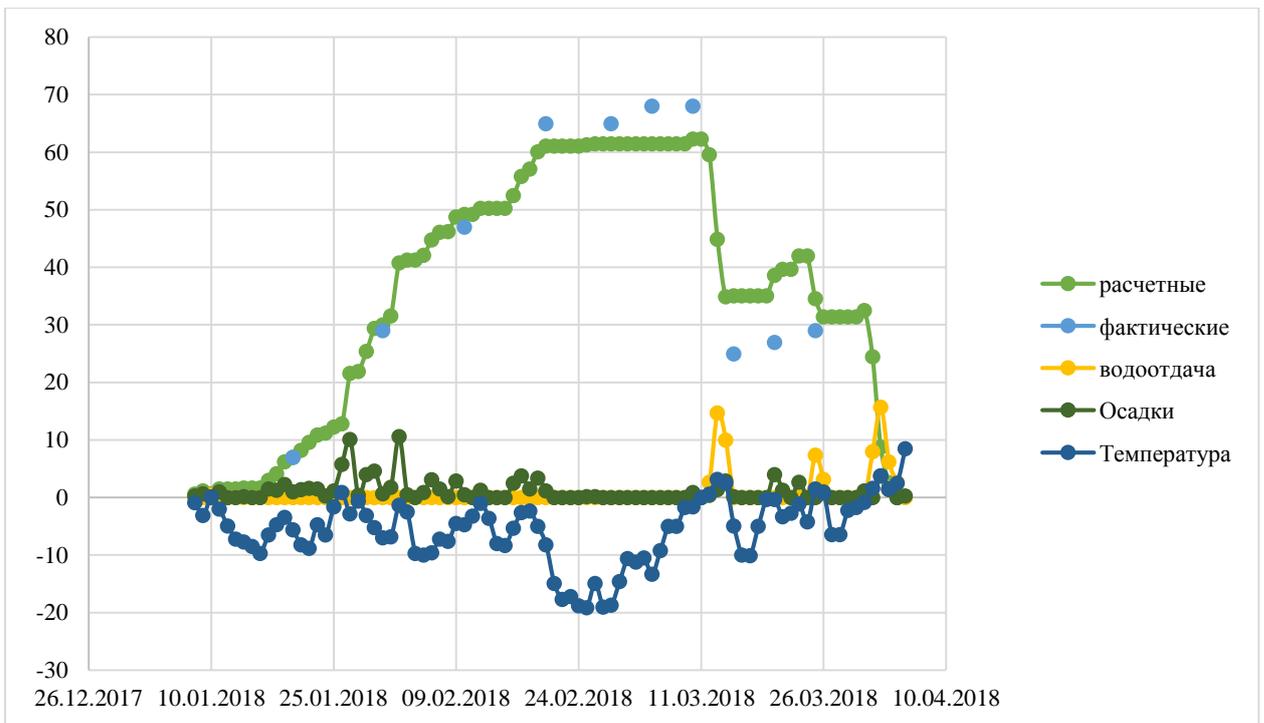


Рисунок 11 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 2017/2018 гг.

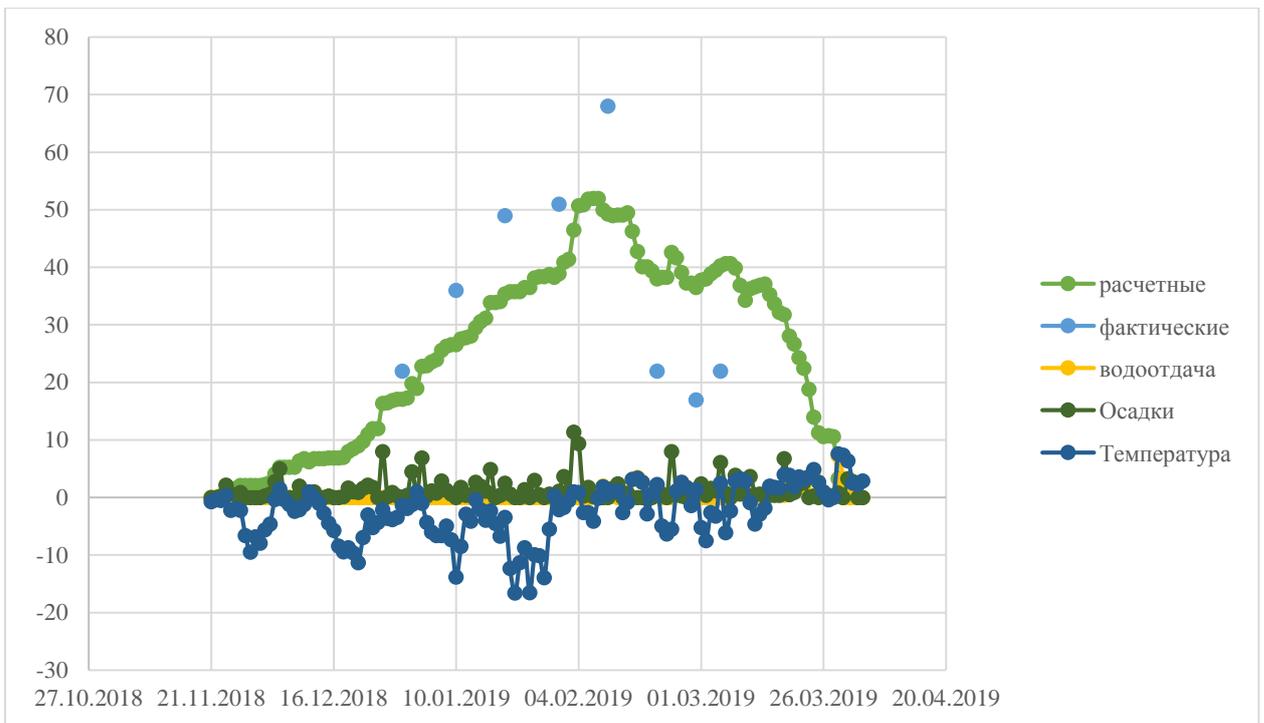


Рисунок 12 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20182019 гг.

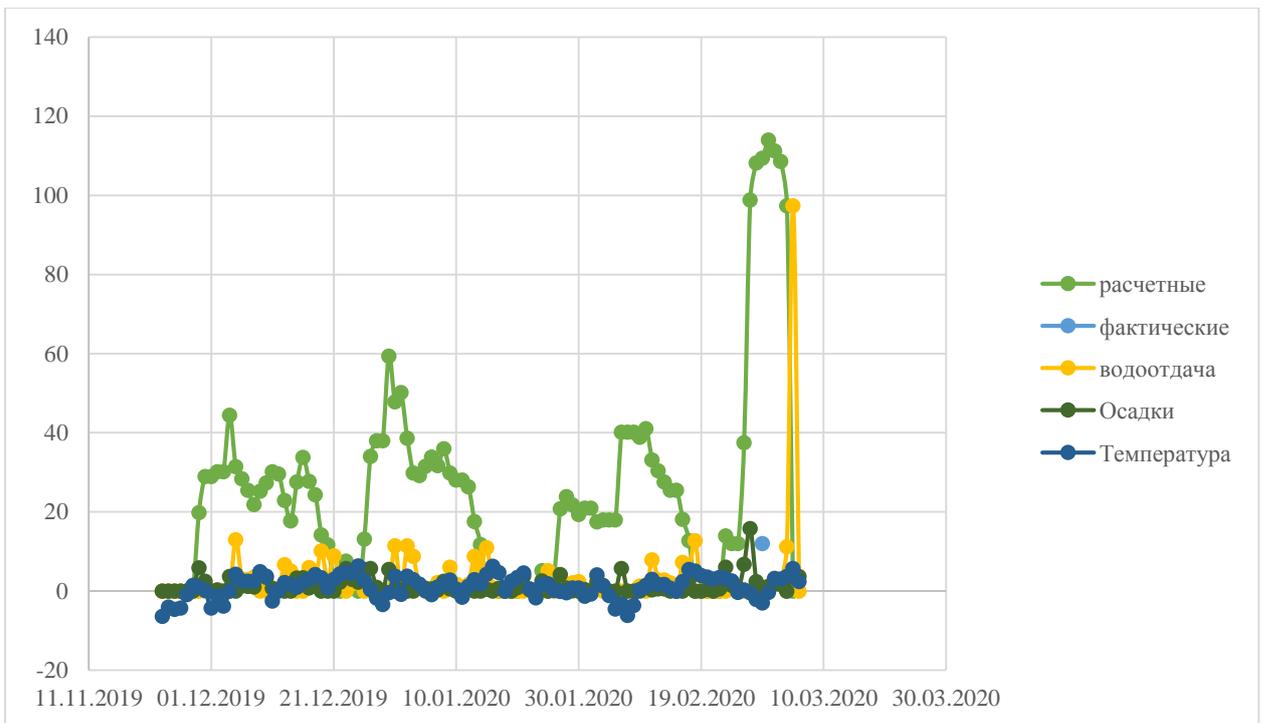


Рисунок 13 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20192020 гг.

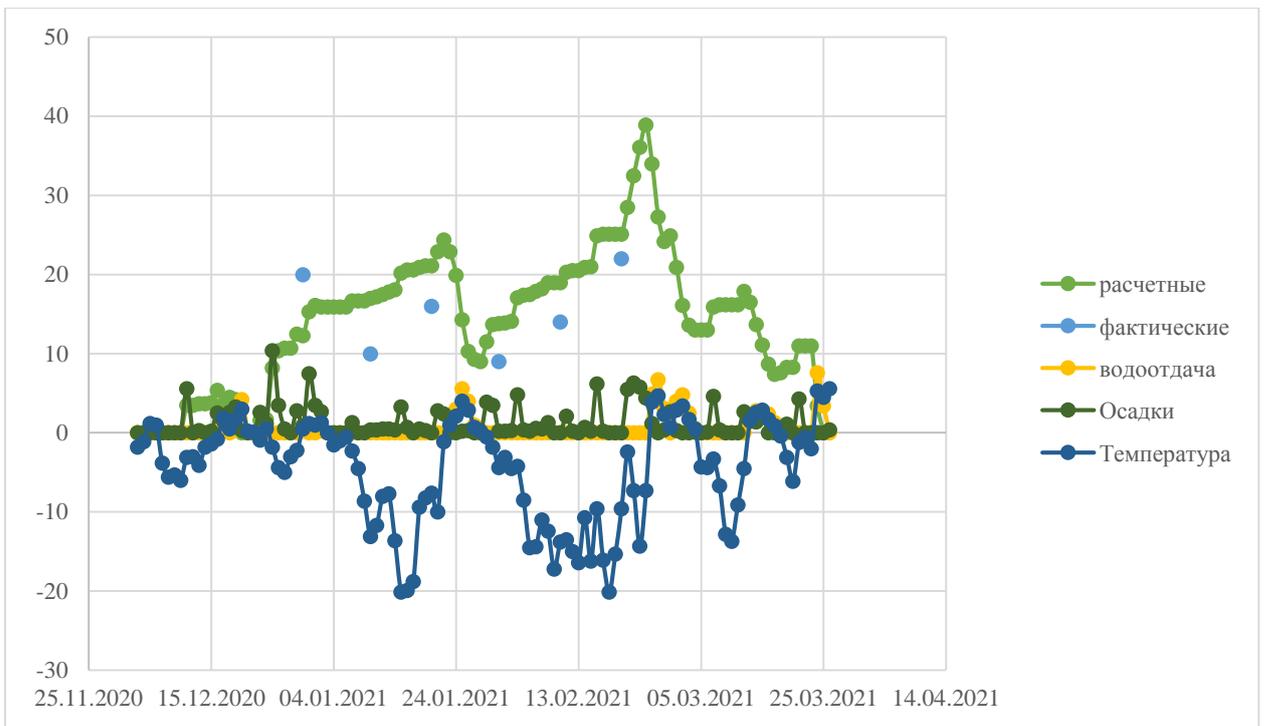


Рисунок 14 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова, а также осадков и температур станции р. Ловать – г. Старая Русса для холодного периода 20202021 гг.

ПРИЛОЖЕНИЕ В Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р.Ловать – г. Великие Луки для холодного периода с 2006 по 2021 гг.

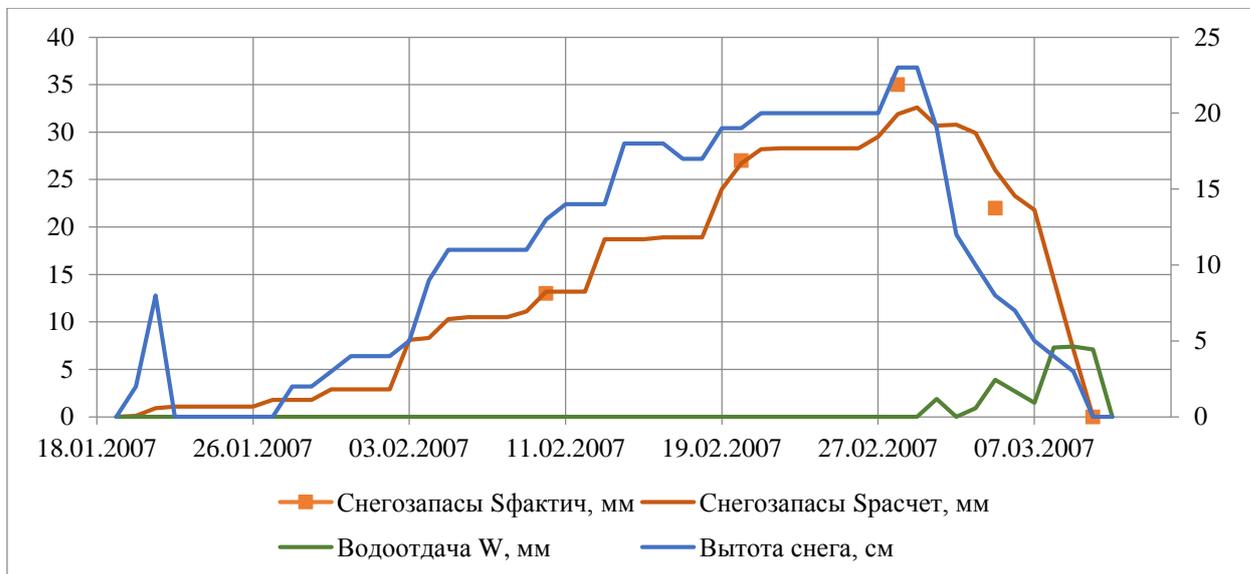


Рисунок 15 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловать – г. Великие Луки для холодного периода 20062007 гг.

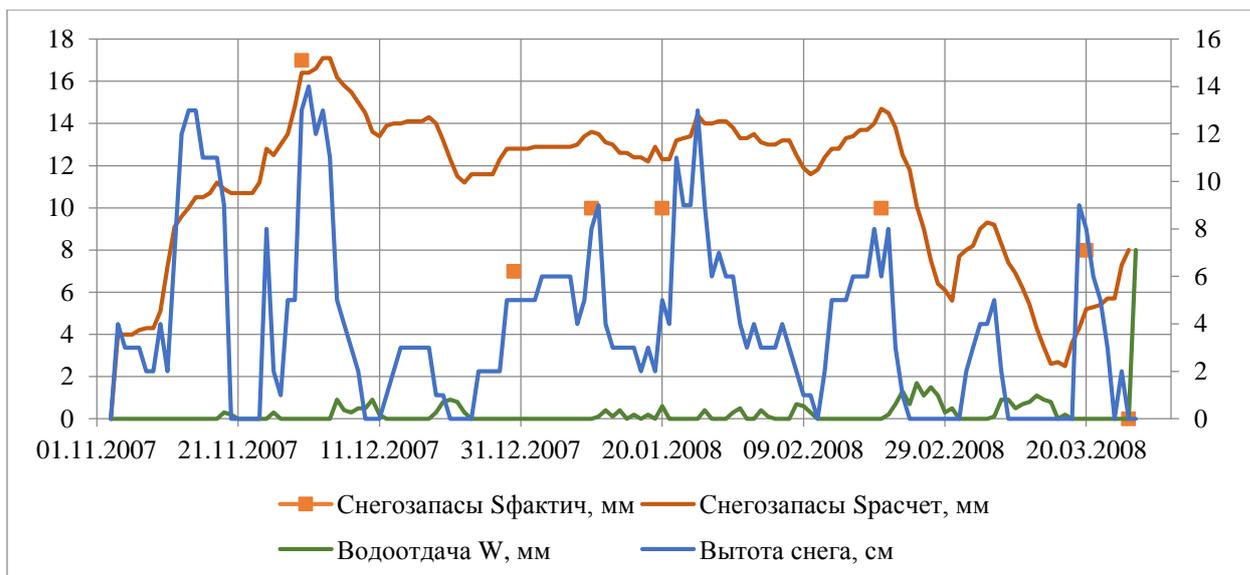


Рисунок 16 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловать – г. Великие Луки для холодного периода 20072008 гг.

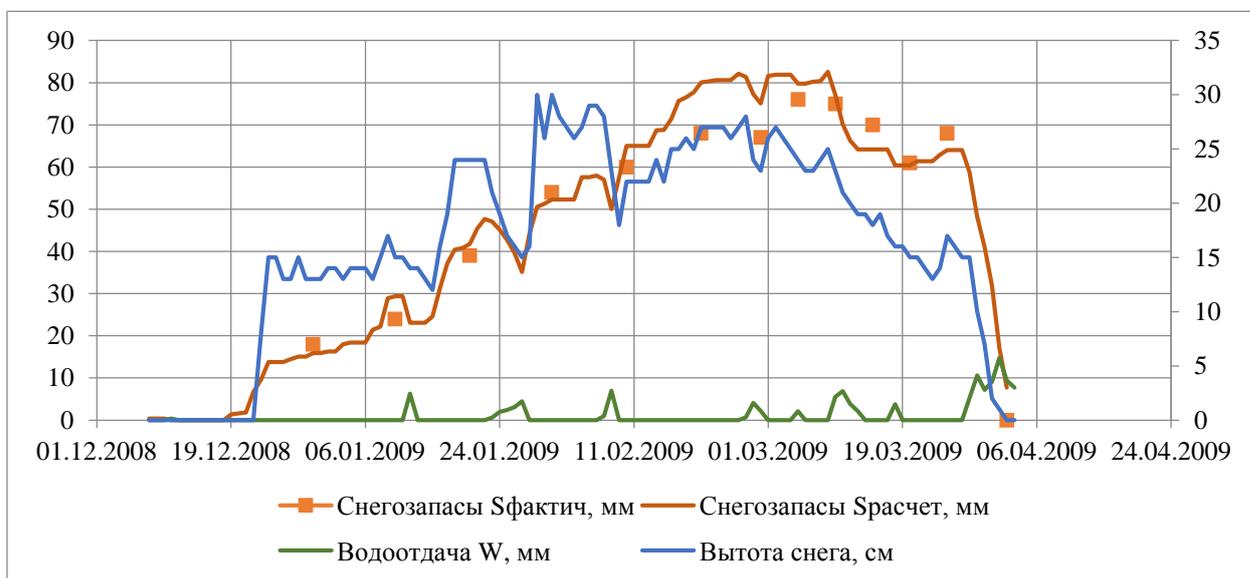


Рисунок 17 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловать – г. Великие Луки для холодного периода 20082009 гг.

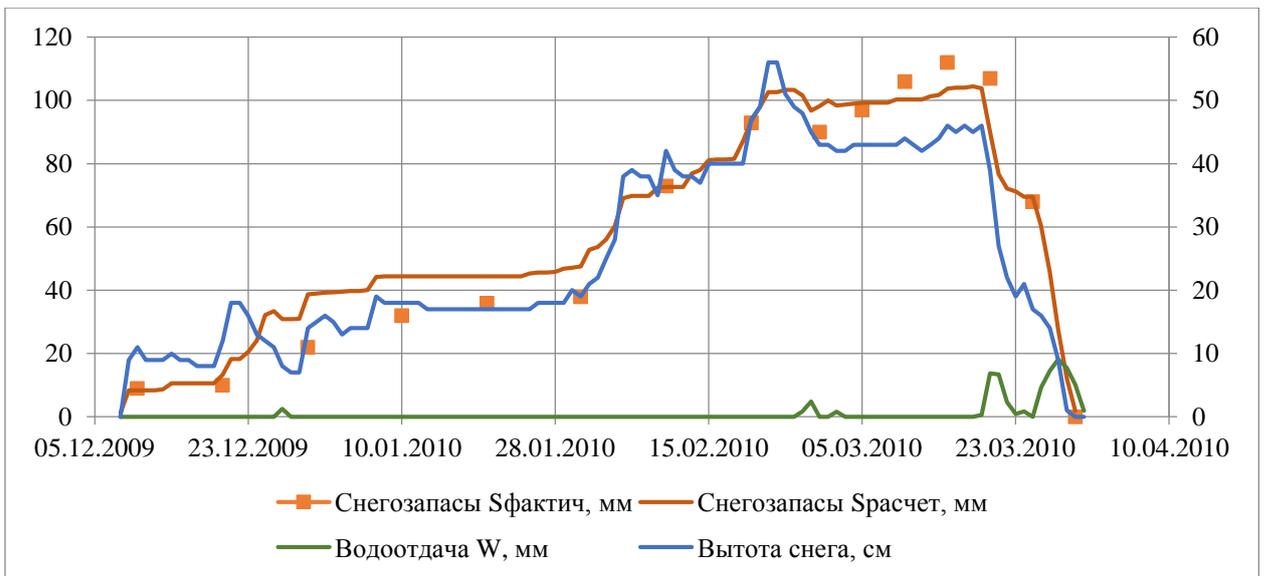


Рисунок 18 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловать – г. Великие Луки для холодного периода 20092010 гг.

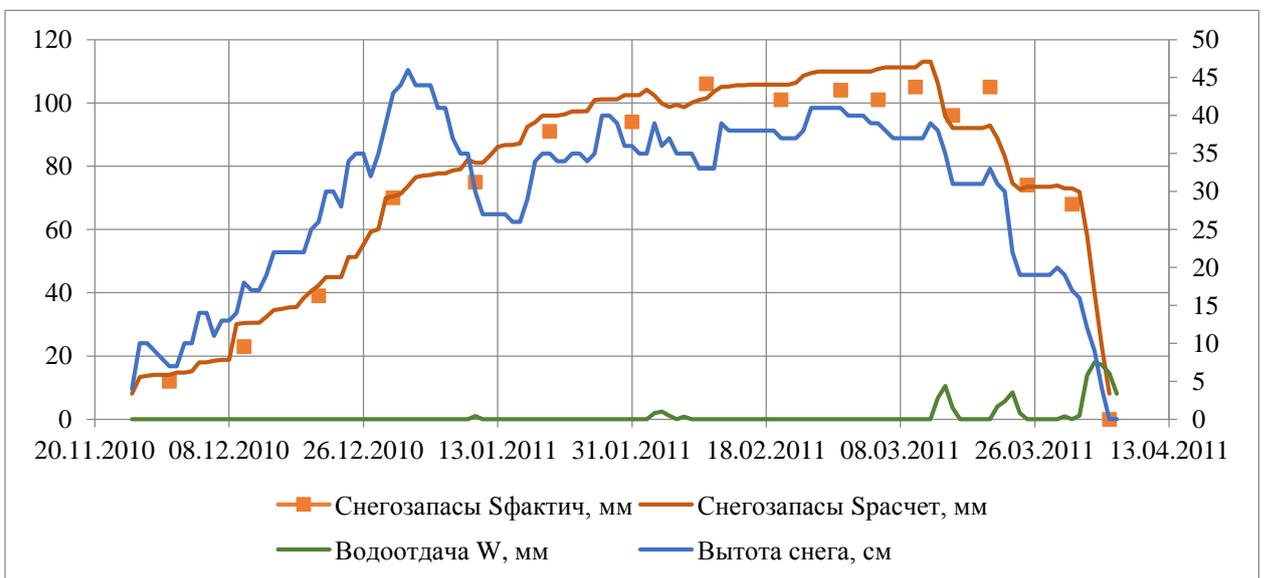


Рисунок 19 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловать – г. Великие Луки для холодного периода 20102011 гг.

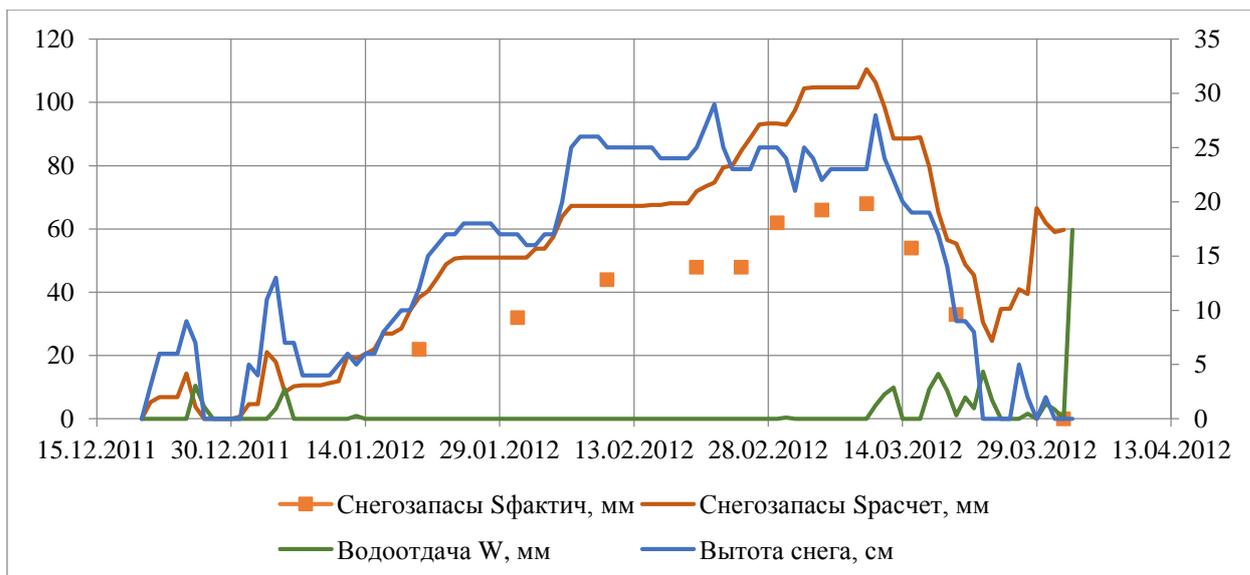


Рисунок 20 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловат – г. Великие Луки для холодного периода 20112012 гг.

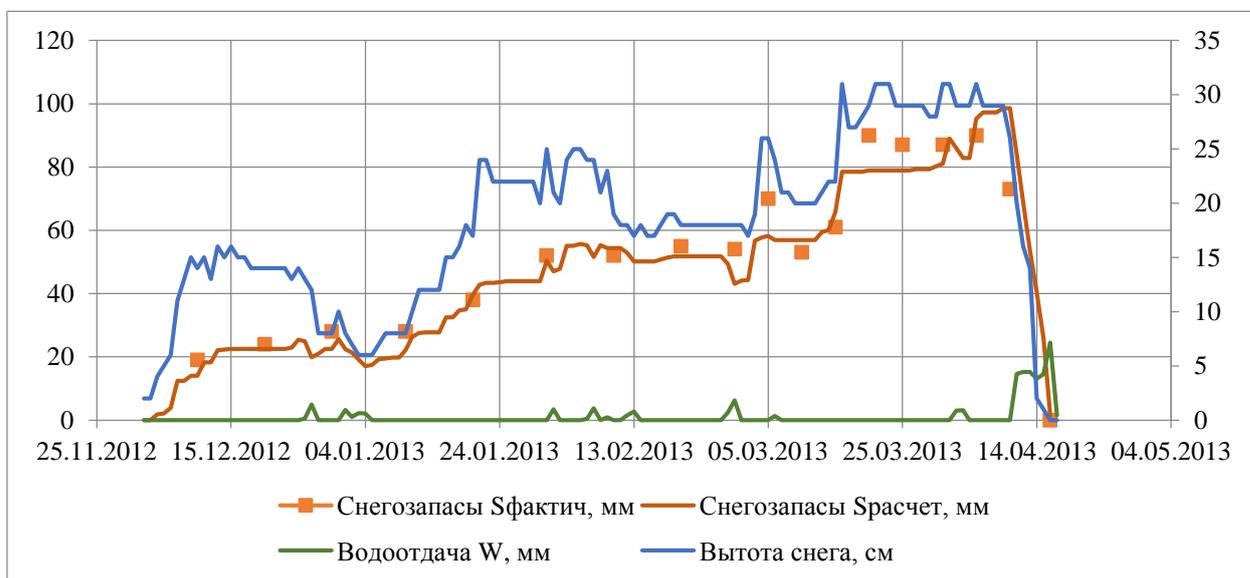


Рисунок 21 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловат – г. Великие Луки для холодного периода 20122013 гг.

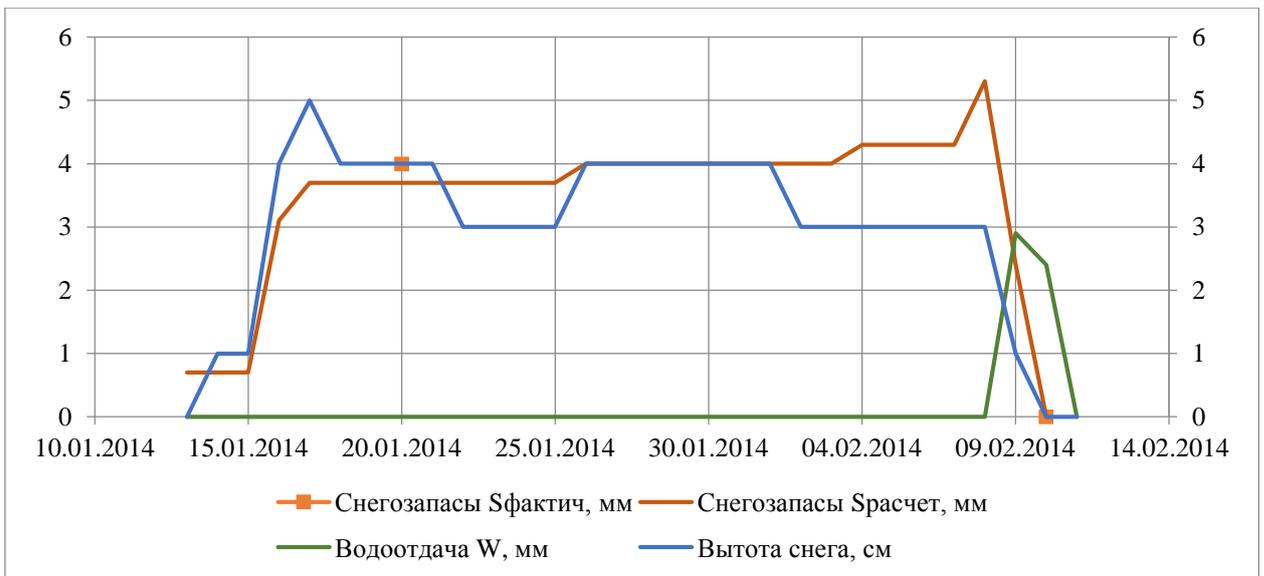


Рисунок 22 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловать – г. Великие Луки для холодного периода 20132014 гг.

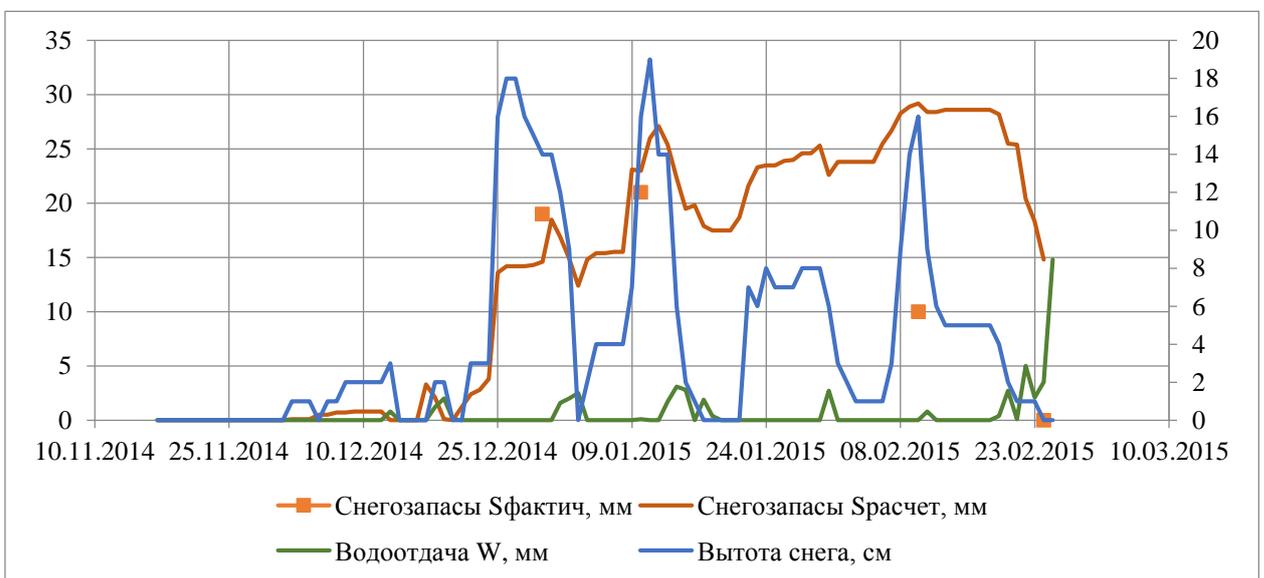


Рисунок 23 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловать – г. Великие Луки для холодного периода 20142015 гг.

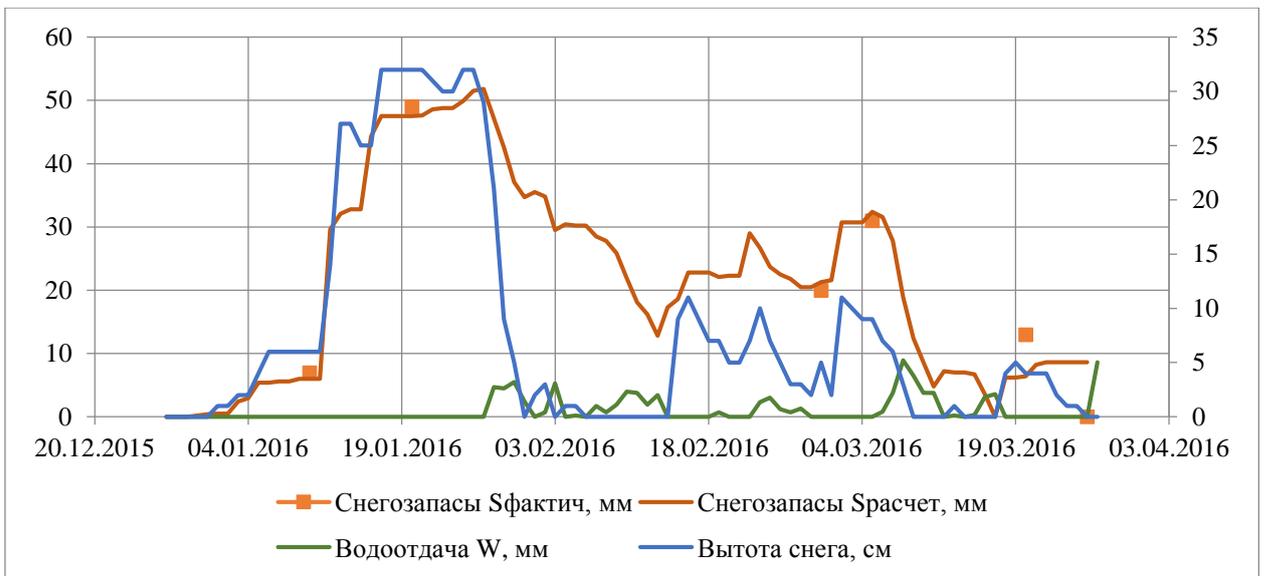


Рисунок 24 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловать – г. Великие Луки для холодного периода 20152016 гг.

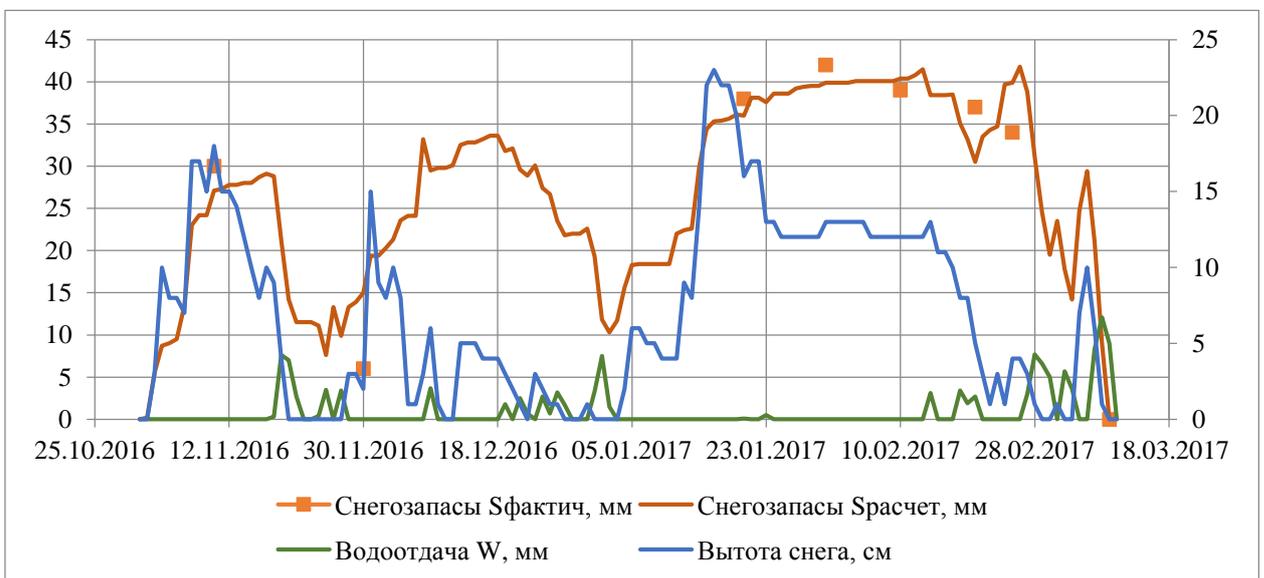


Рисунок 25 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловать – г. Великие Луки для холодного периода 20162017 гг.

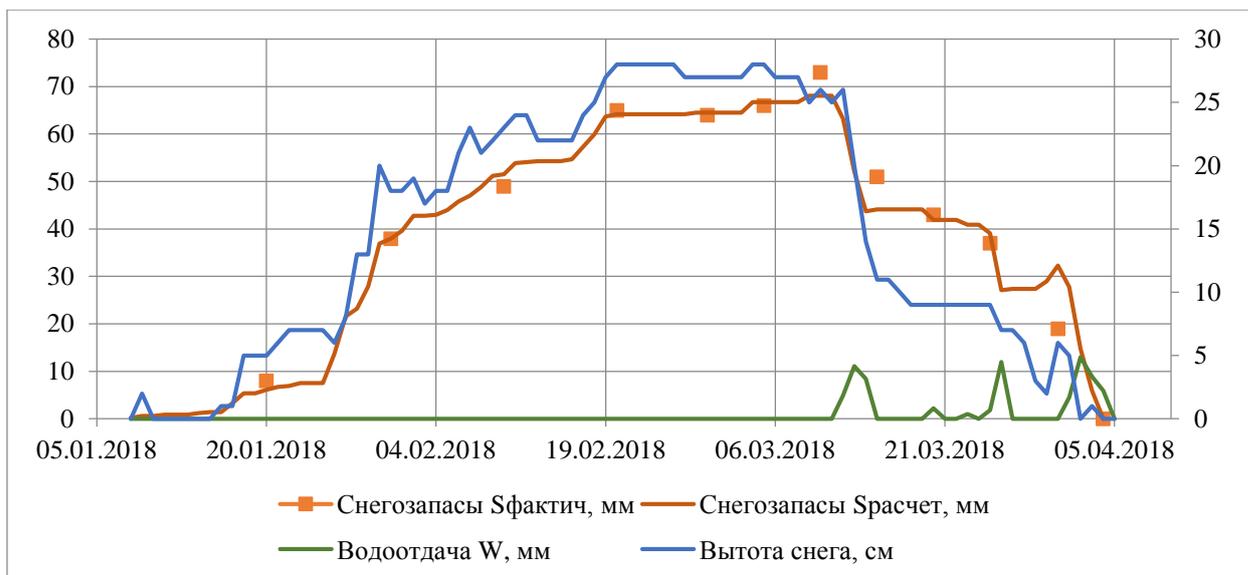


Рисунок 26 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловать – г. Великие Луки для холодного периода 2017/2018 гг.

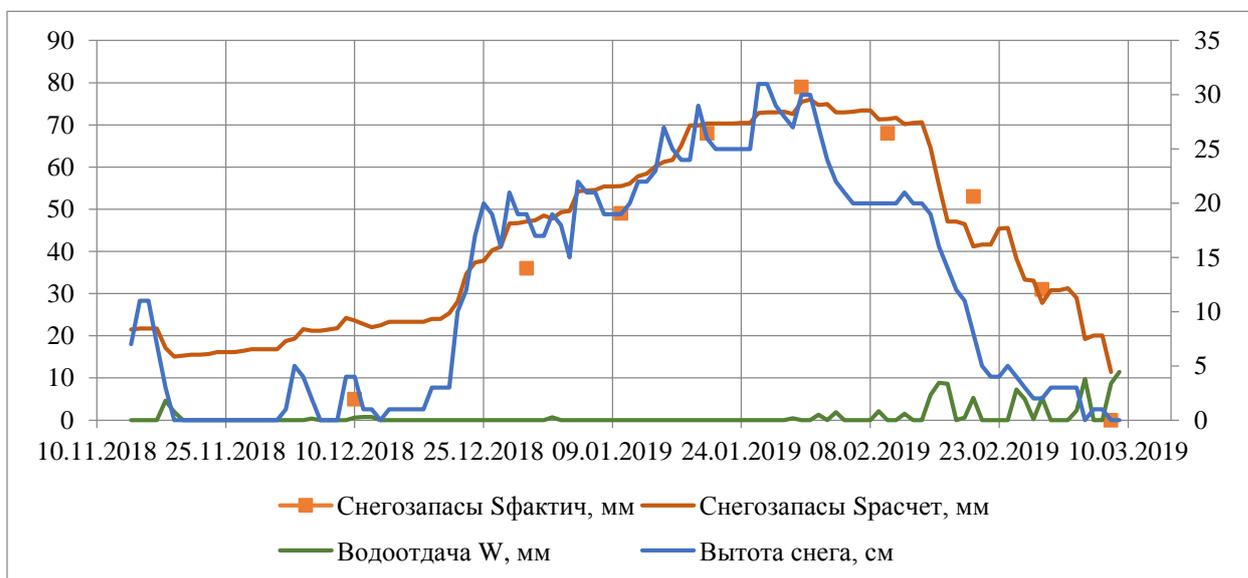


Рисунок 27 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловать – г. Великие Луки для холодного периода 2018/2019 гг.

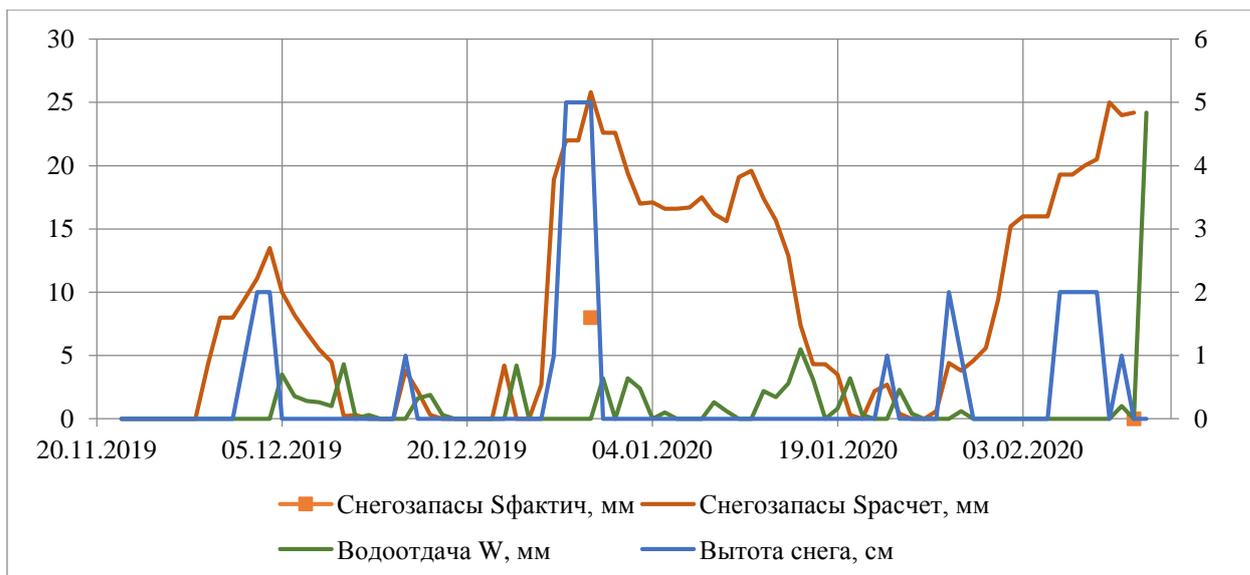


Рисунок 28 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловат – г. Великие Луки для холодного периода 20192020 гг.

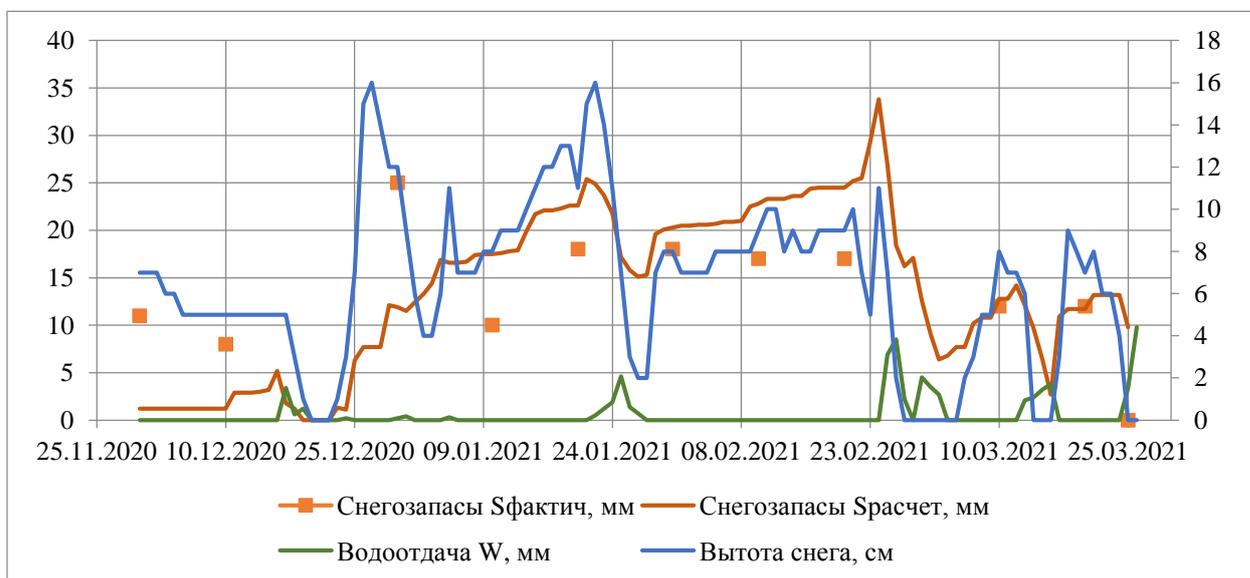


Рисунок 29 – Хронологические графики фактических и расчетных запасов воды в снеге, водоотдачи из снежного покрова и высоты снега для станции р. Ловат – г. Великие Луки для холодного периода 20202021 гг.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г Графики параметризации расходов воды за холодный период на р. Ловать – п. Холм с 2008 по 2019 г и апробации модели формирования стока за 20182019гг

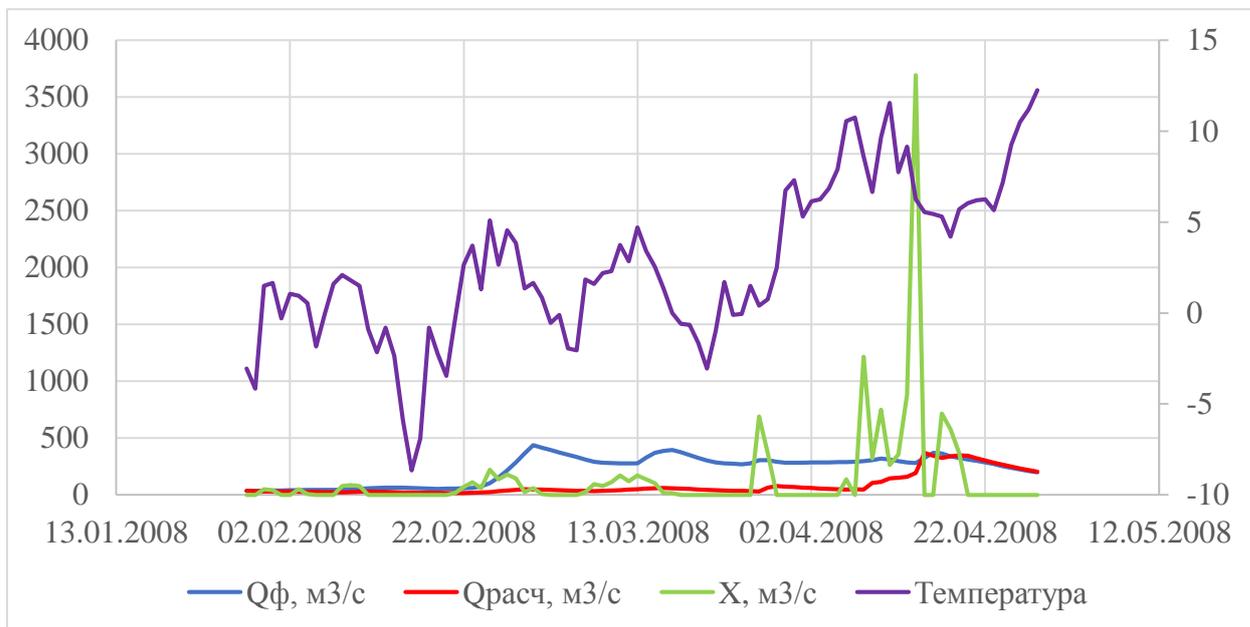


Рисунок 30 – График параметризации расходов воды на р. Ловать – п. Холм за 2008 г.,  $k = 0.8033$ ,  $\tau = 16$  сут.,  $S/\sigma = 1.49$

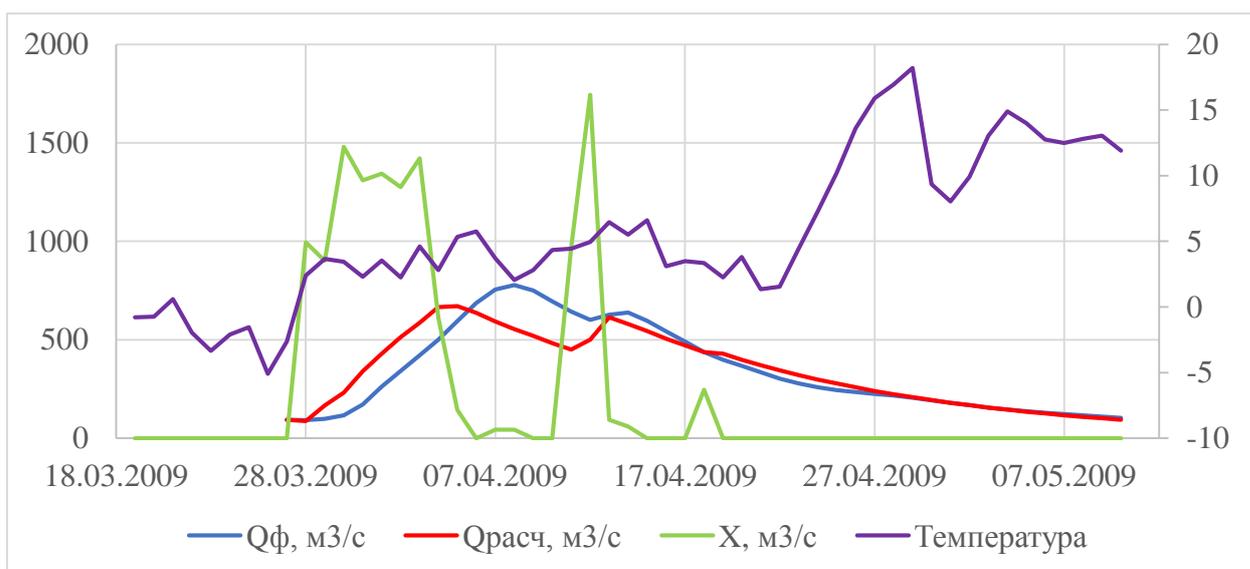


Рисунок 31 – График параметризации расходов воды на р. Ловать – п. Холм за 2009 г.,  $k = 1.2198$ ,  $\tau = 14$  сут.,  $S/\sigma = 0.45$

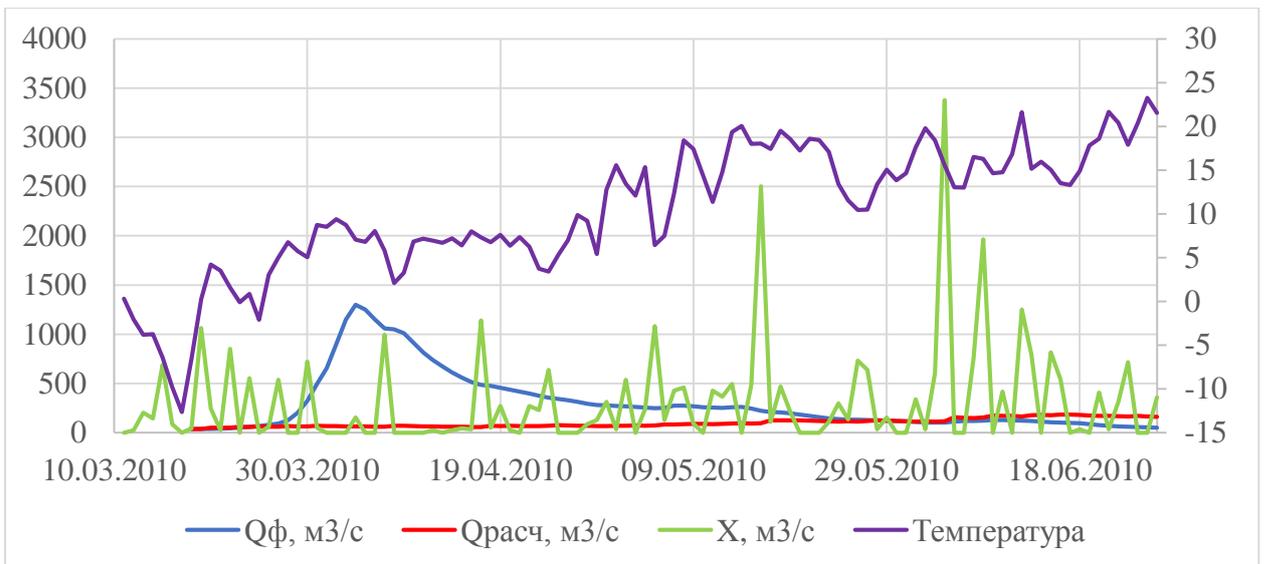


Рисунок 32 – График параметризации расходов воды на  
 р. Ловать – п. Холм за 2010 г.,  $k = 0.4625$ ,  $\tau = 36$  сут.,  $S/\sigma = 1.28$

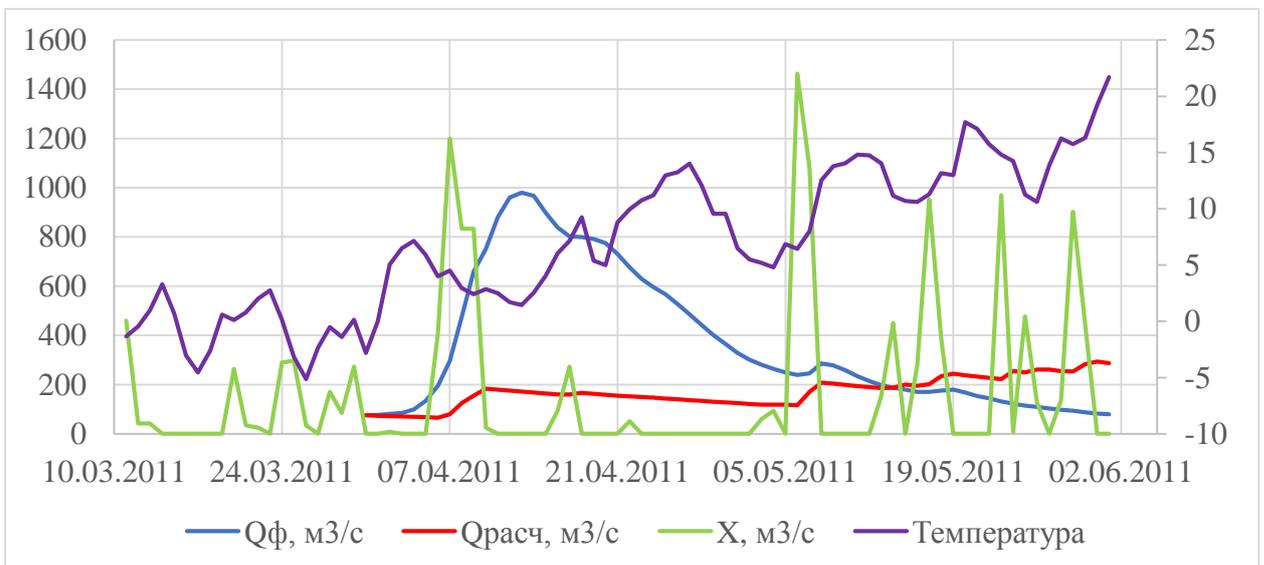


Рисунок 33 – График параметризации расходов воды на  
 р. Ловать – п. Холм за 2011 г.,  $k = 1.6695$ ,  $\tau = 43$  сут.,  $S/\sigma = 1.29$

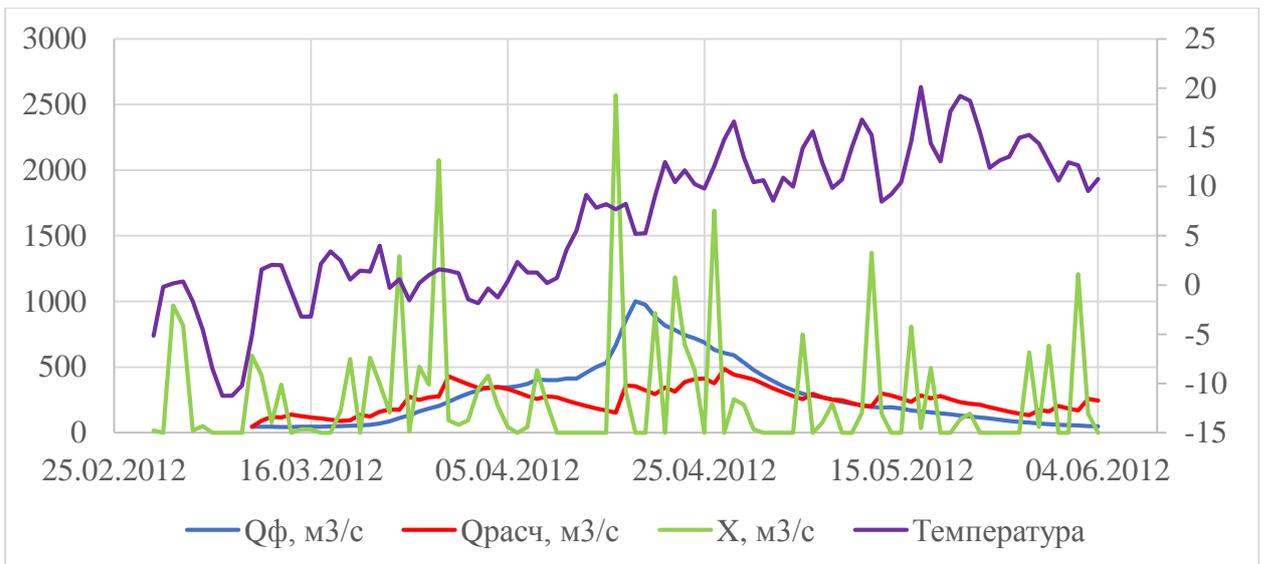


Рисунок 34 – График параметризации расходов воды на р. Ловать – п. Холм за 2012 г.,  $k = 0.9505$ ,  $\tau = 11$  сут.,  $S/\sigma = 1.82$

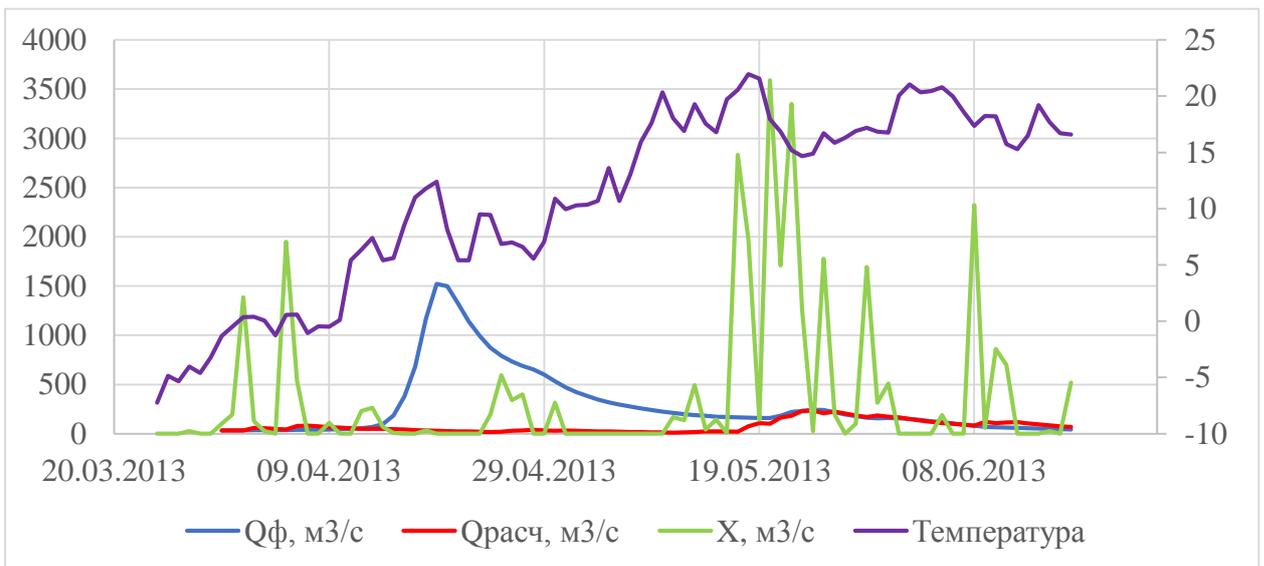


Рисунок 35 – График параметризации расходов воды на р. Ловать – п. Холм за 2013 г.,  $k = 0.1990$ ,  $\tau = 10$  сут.,  $S/\sigma = 1.25$

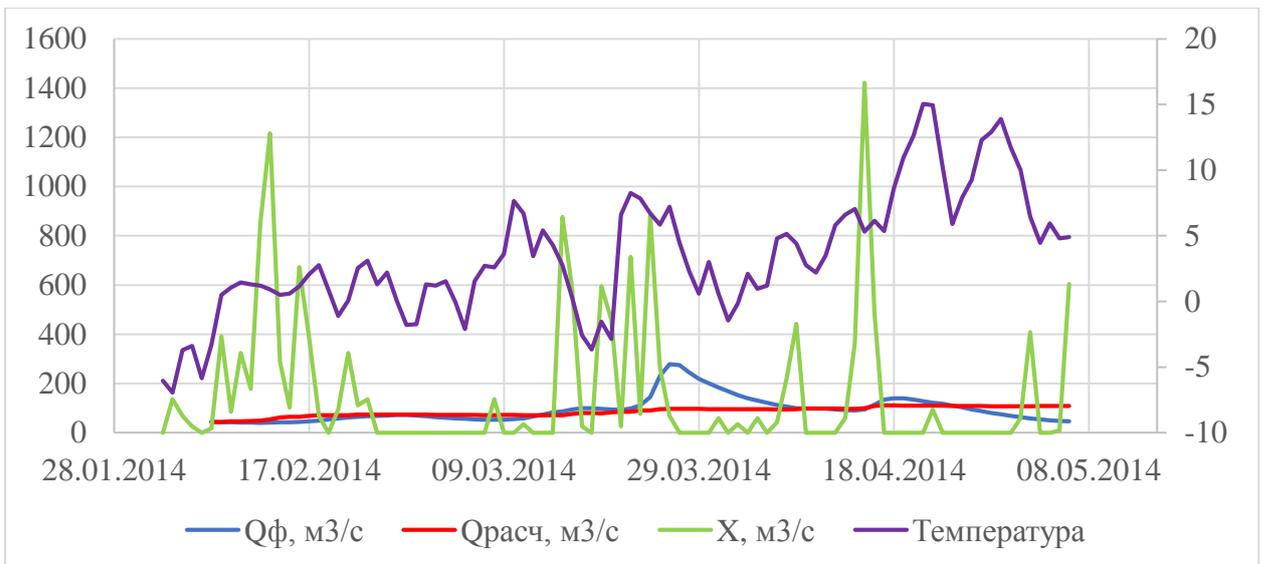


Рисунок 36 – График параметризации расходов воды на  
 р. Ловать – п. Холм за 2014 г.,  $k = 1.9758$ ,  $\tau = 305$  сут.,  $S/\sigma = 0.90$

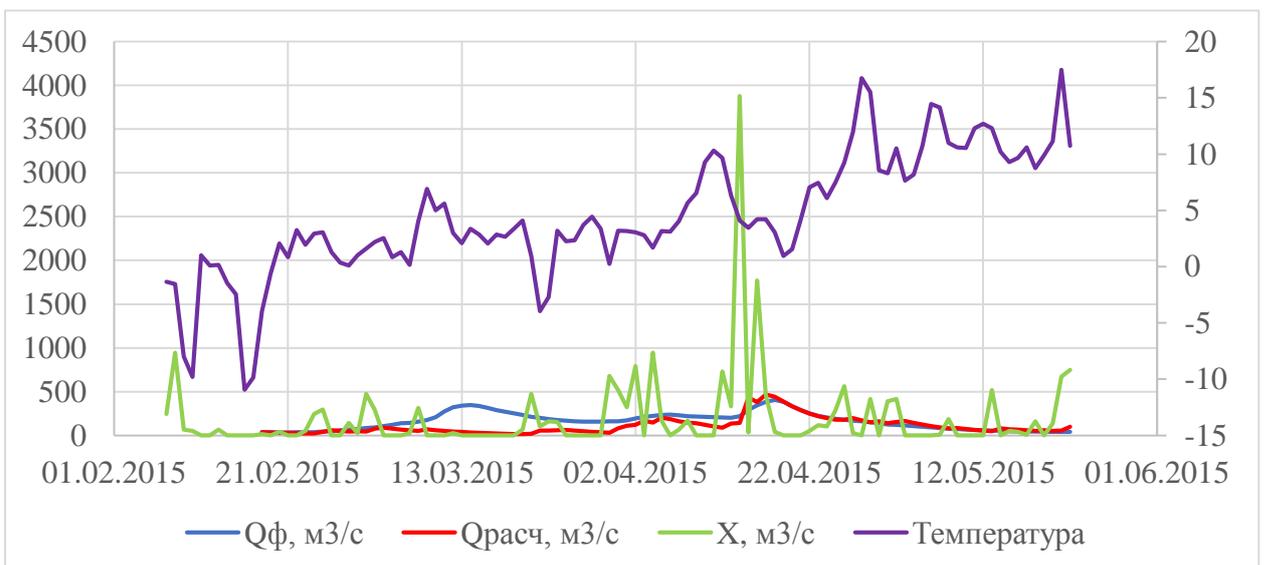


Рисунок 37 – График параметризации расходов воды на  
 р. Ловать – п. Холм за 2015 г.,  $k = 0.5877$ ,  $\tau = 7$  сут.,  $S/\sigma = 1.12$

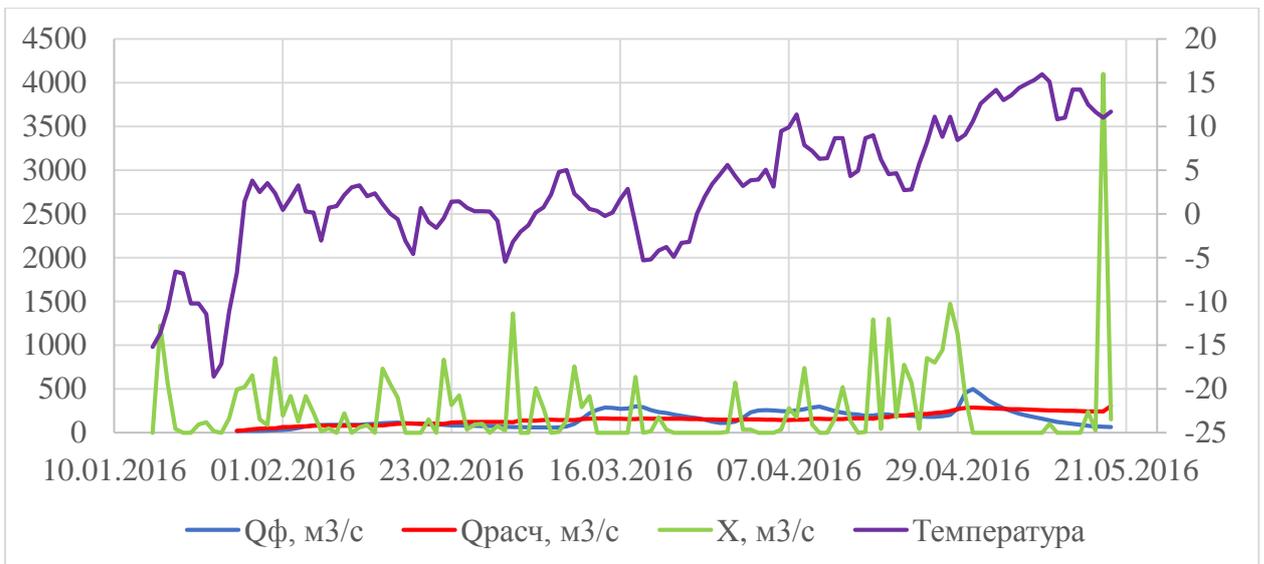


Рисунок 38 – График параметризации расходов воды на  
 р. Ловать – п. Холм за 2016 г.,  $k = 1.4398$ ,  $\tau = 90$  сут.,  $S/\sigma = 0.84$

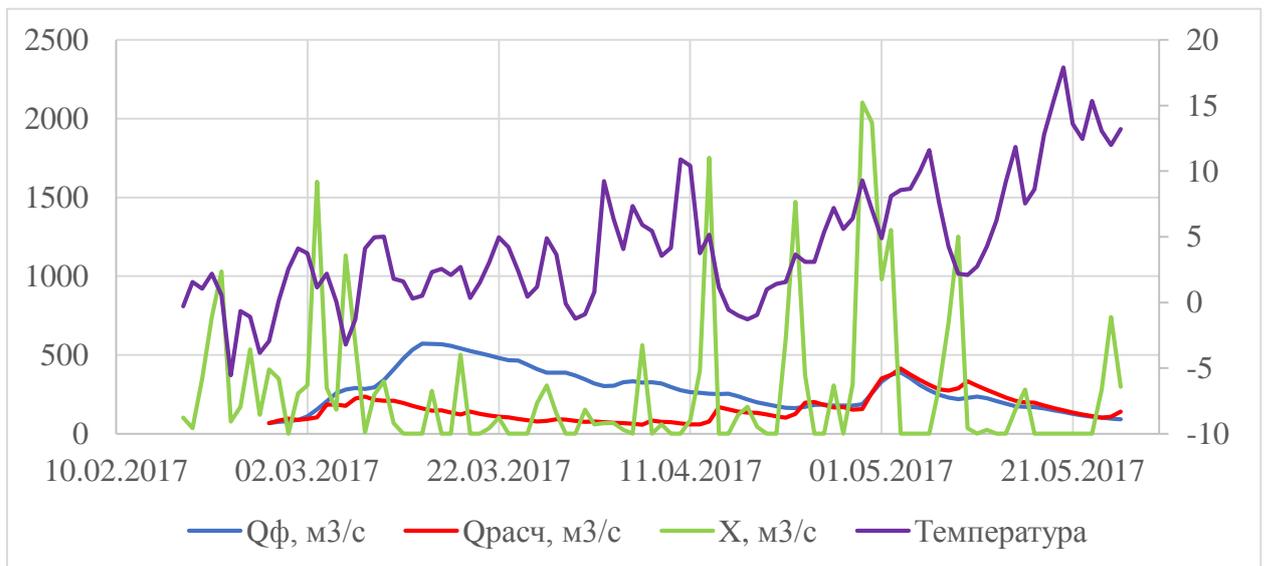


Рисунок 39 – График параметризации расходов воды на  
 р. Ловать – п. Холм за 2017 г.,  $k = 0.6244$ ,  $\tau = 11$  сут.,  $S/\sigma = 1.52$

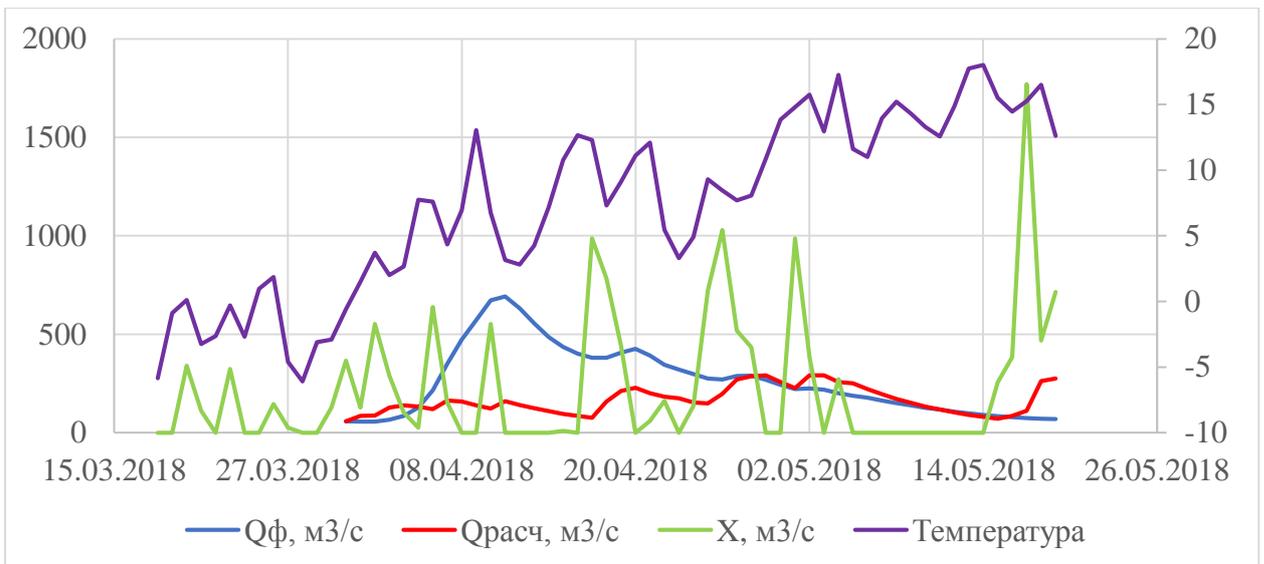


Рисунок 40 – График параметризации расходов воды на р. Ловать – п. Холм за 2018 г.,  $k = 0.7769$ ,  $\tau = 8$  сут.,  $S/\sigma = 1.23$

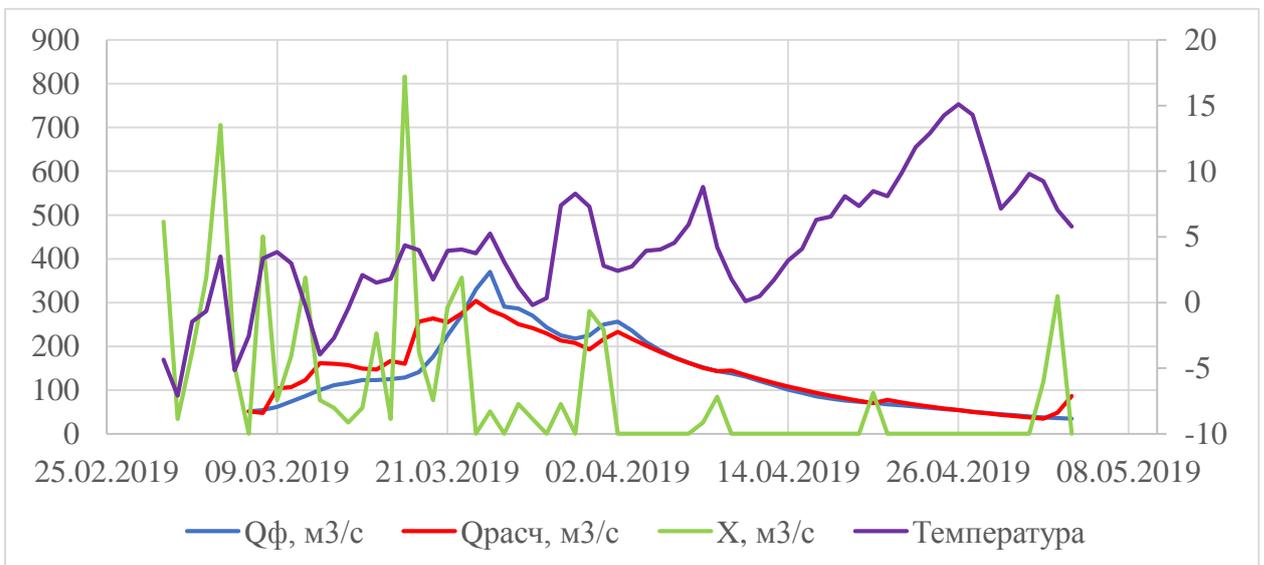


Рисунок 41 – График параметризации расходов воды на р. Ловать – п. Холм за 2019 г.,  $k = 1.8897$ ,  $\tau = 14$  сут.,  $S/\sigma = 0.37$

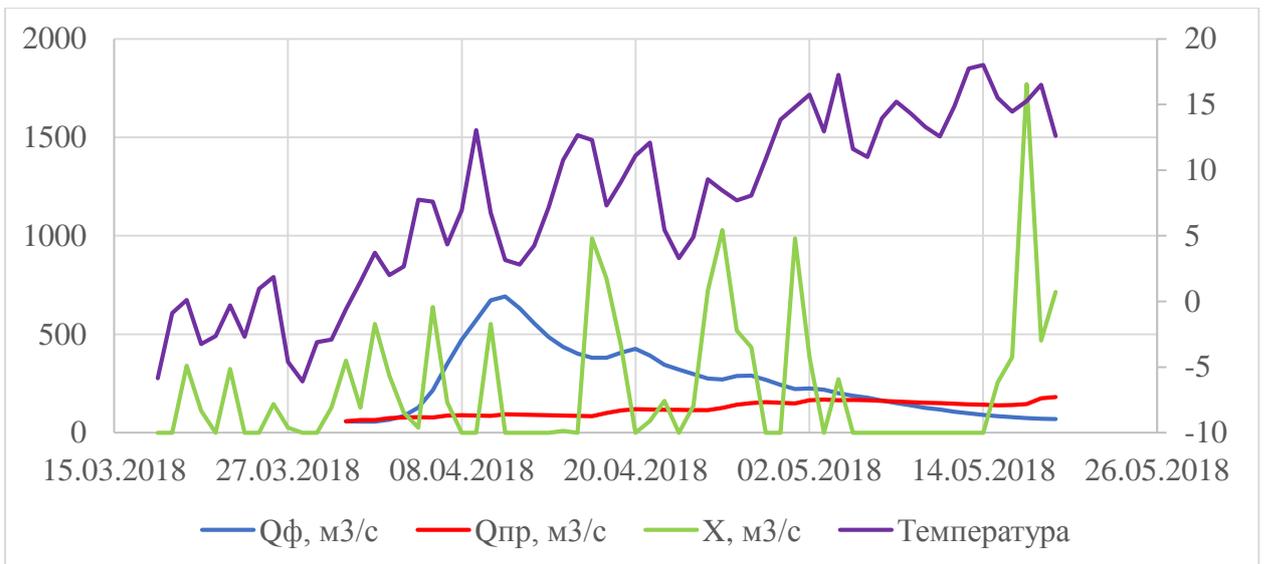


Рисунок 42 – График прогнозных значений расходов воды на р. Ловать – п. Холм за 2018 г.

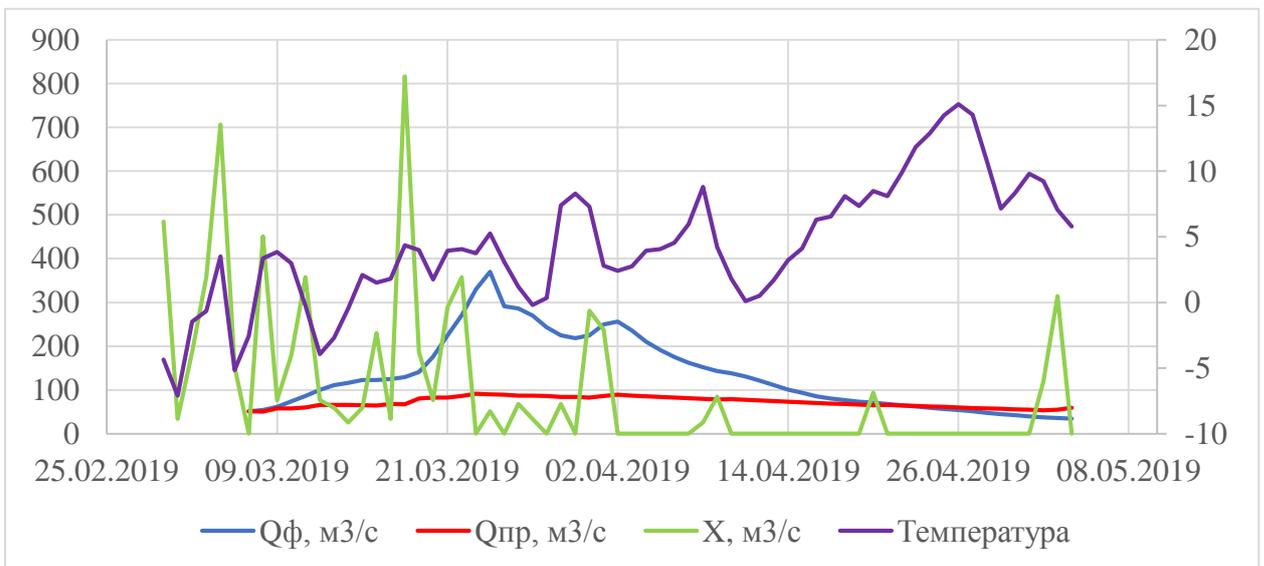


Рисунок 43 – График прогнозных расходов воды на р. Ловать – п. Холм за 2019 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д Графики параметризации уровней воды за холодный период на оз. Ильмень – пост. Коростынь с 2008 по 2019 г. и апробации модели водоема за 20182019 гг.

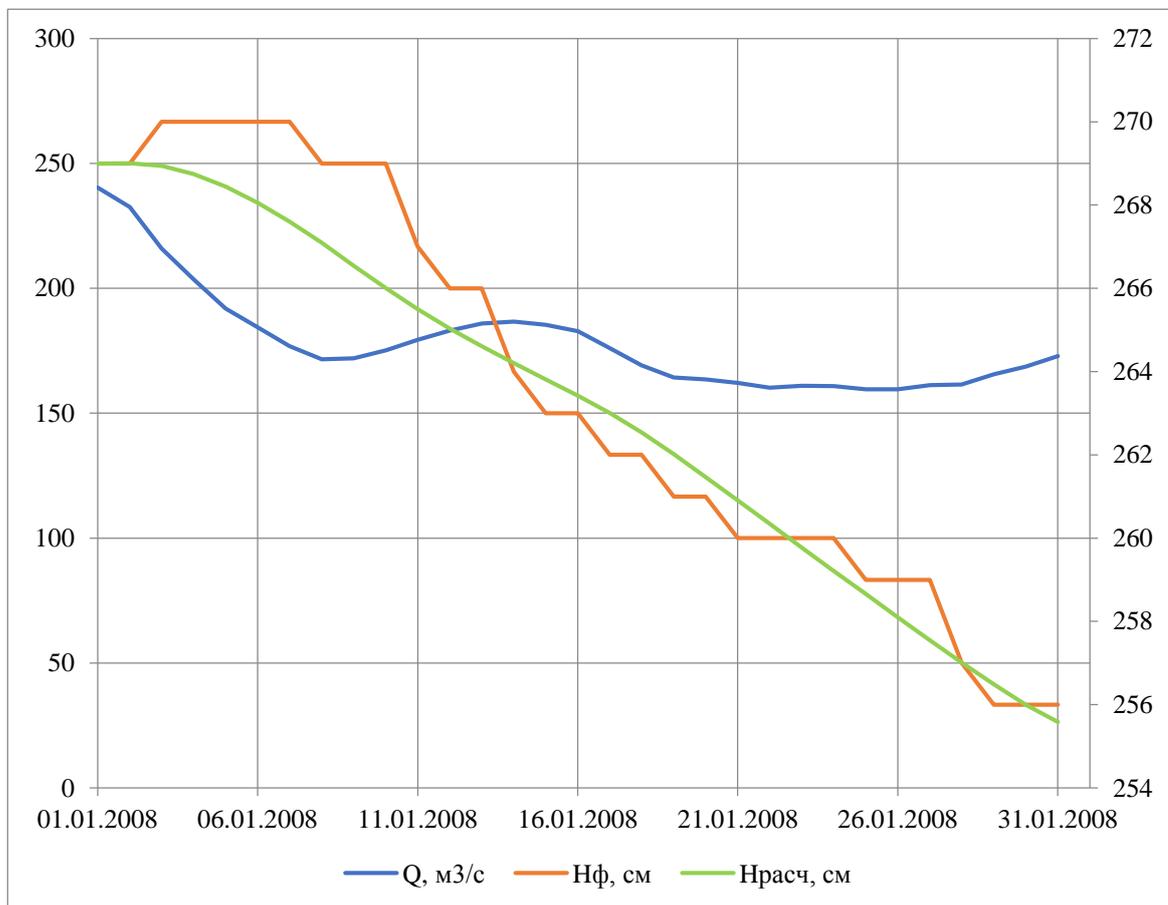


Рисунок 44 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2008 г.

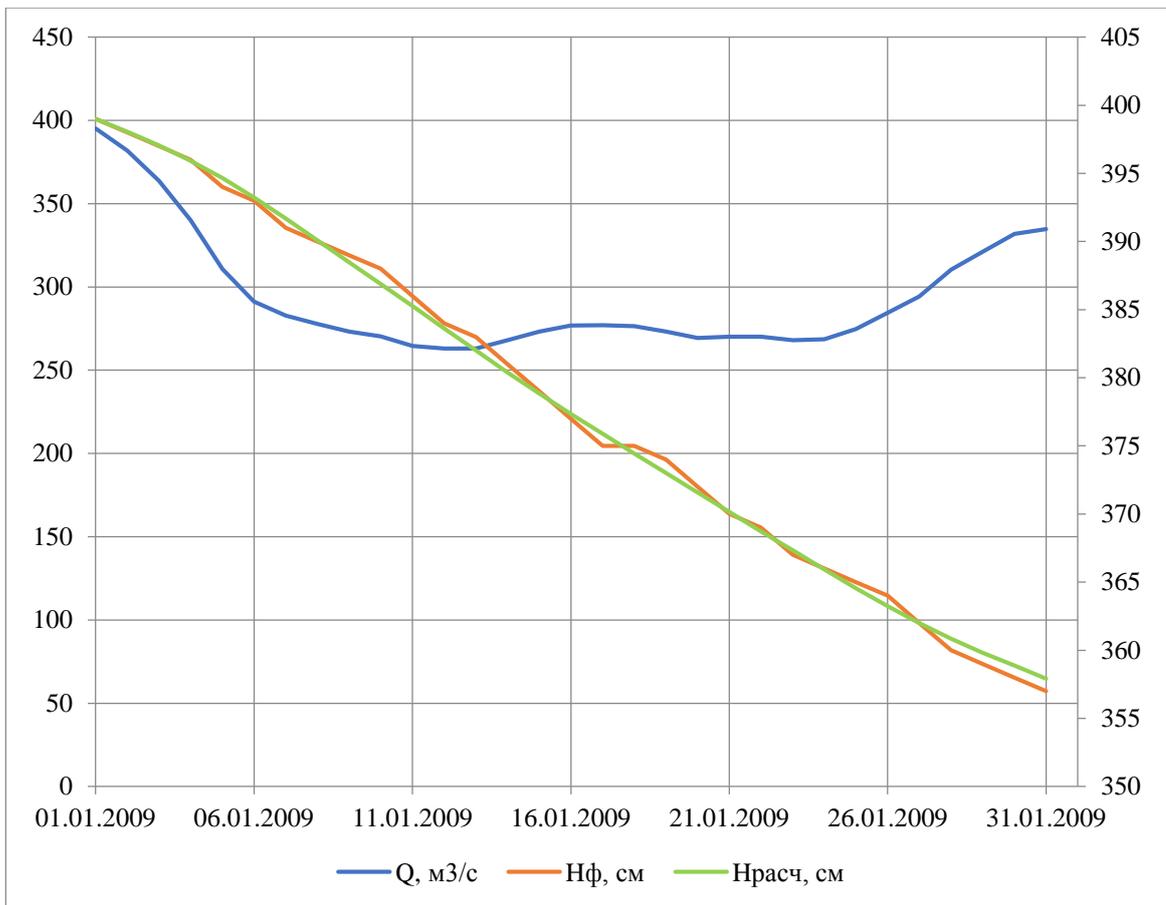


Рисунок 45 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2009 г.

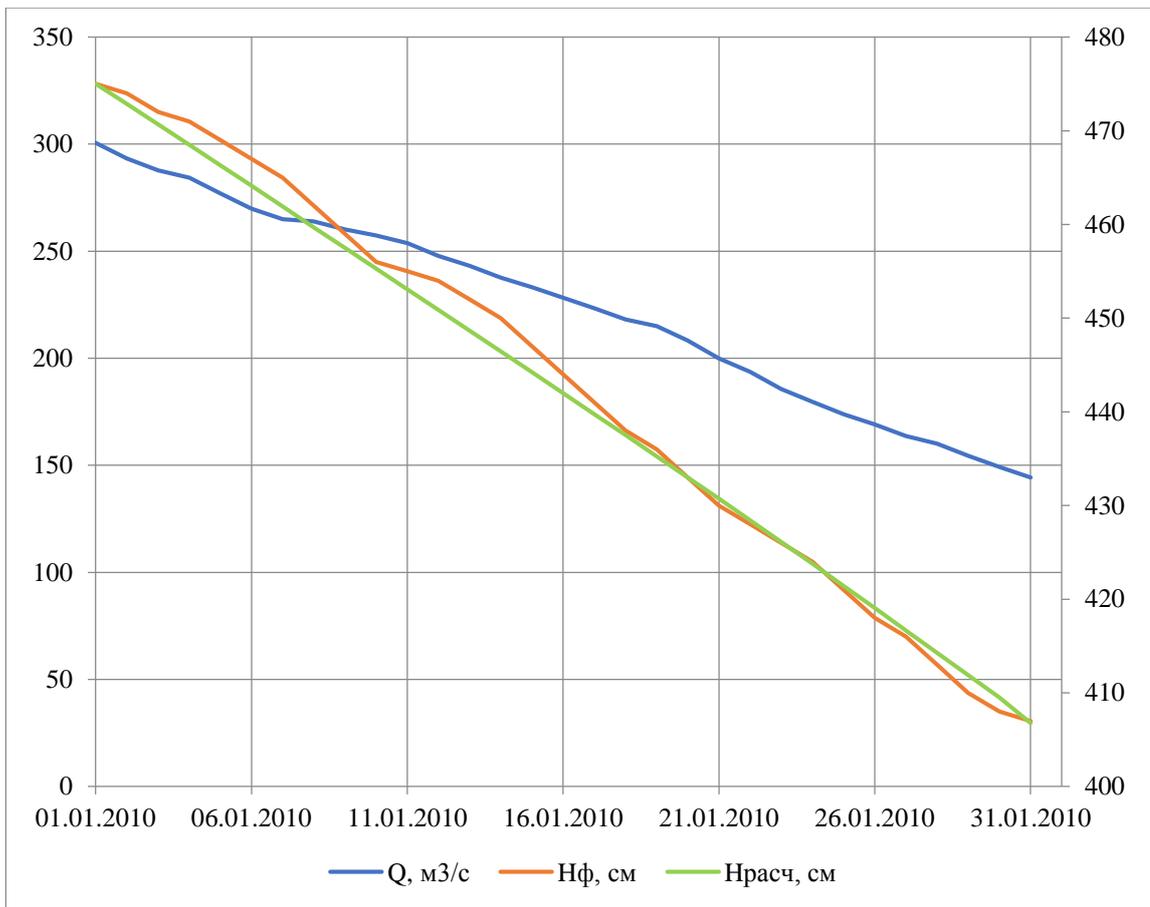


Рисунок 46 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2010 г.

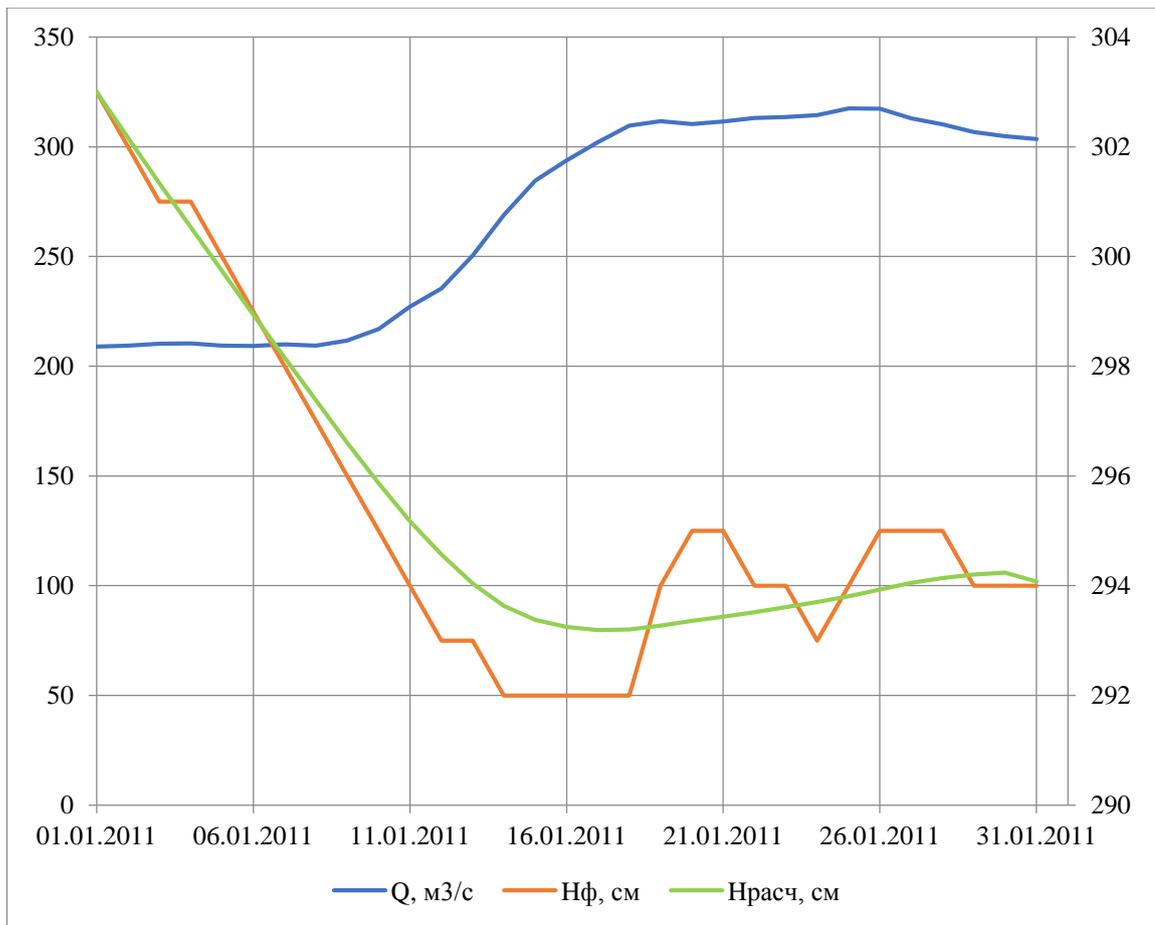


Рисунок 47 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2011 г.

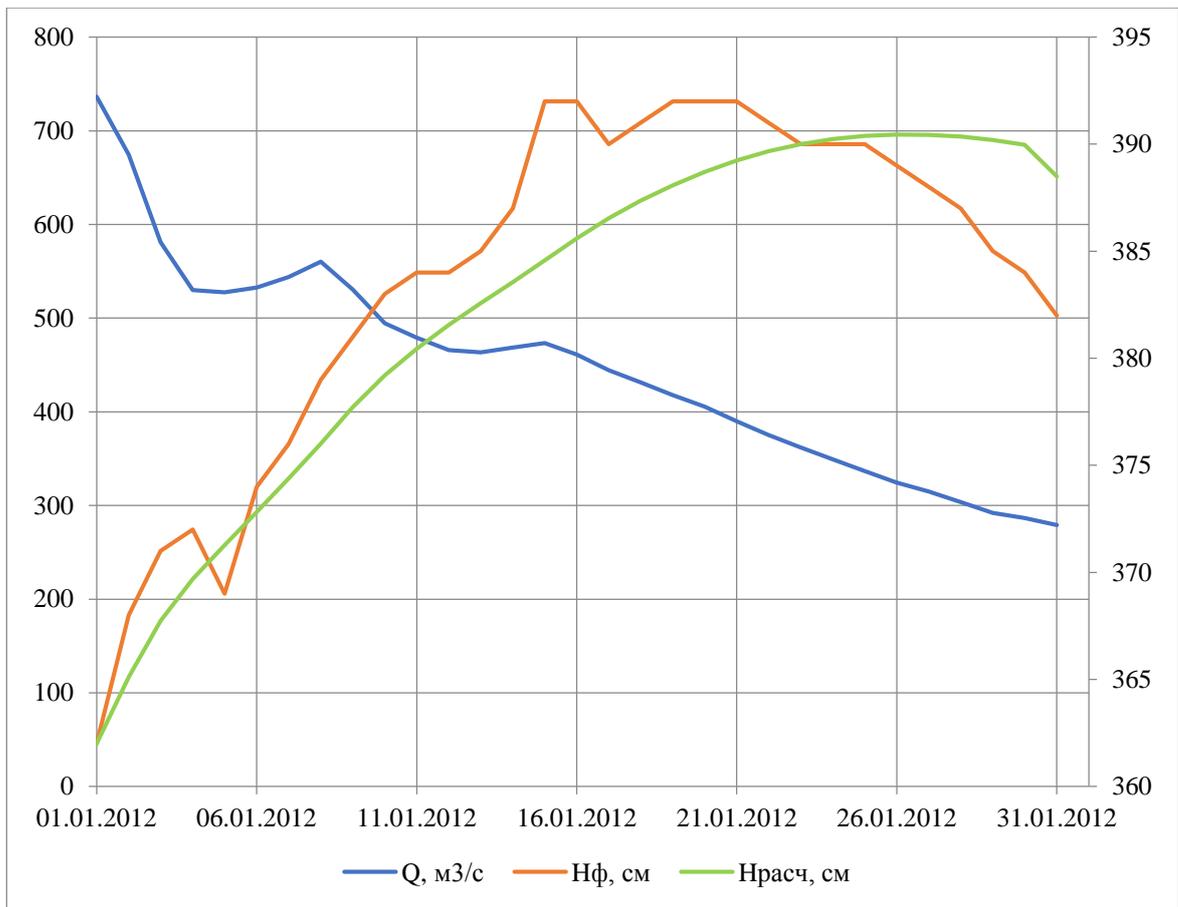


Рисунок 48 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2012 г.

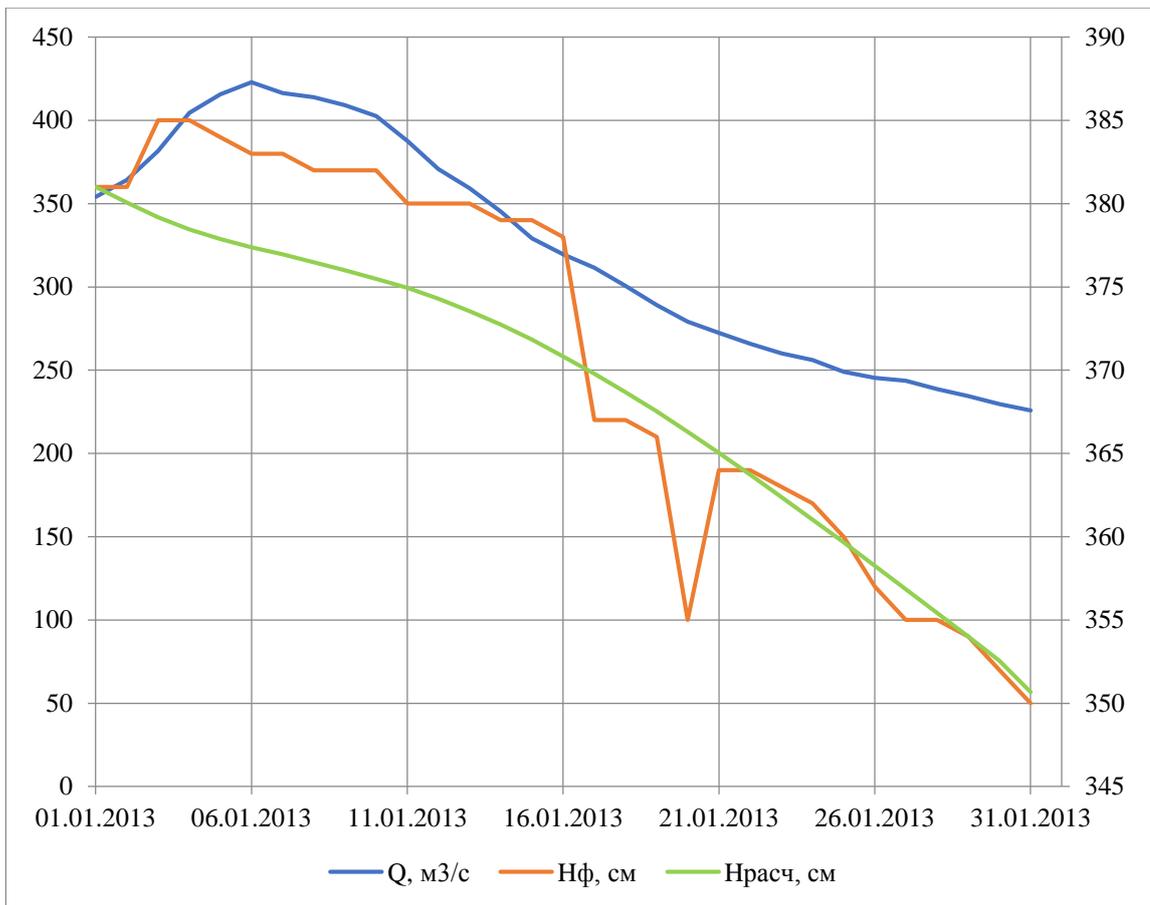


Рисунок 49 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2013 г.

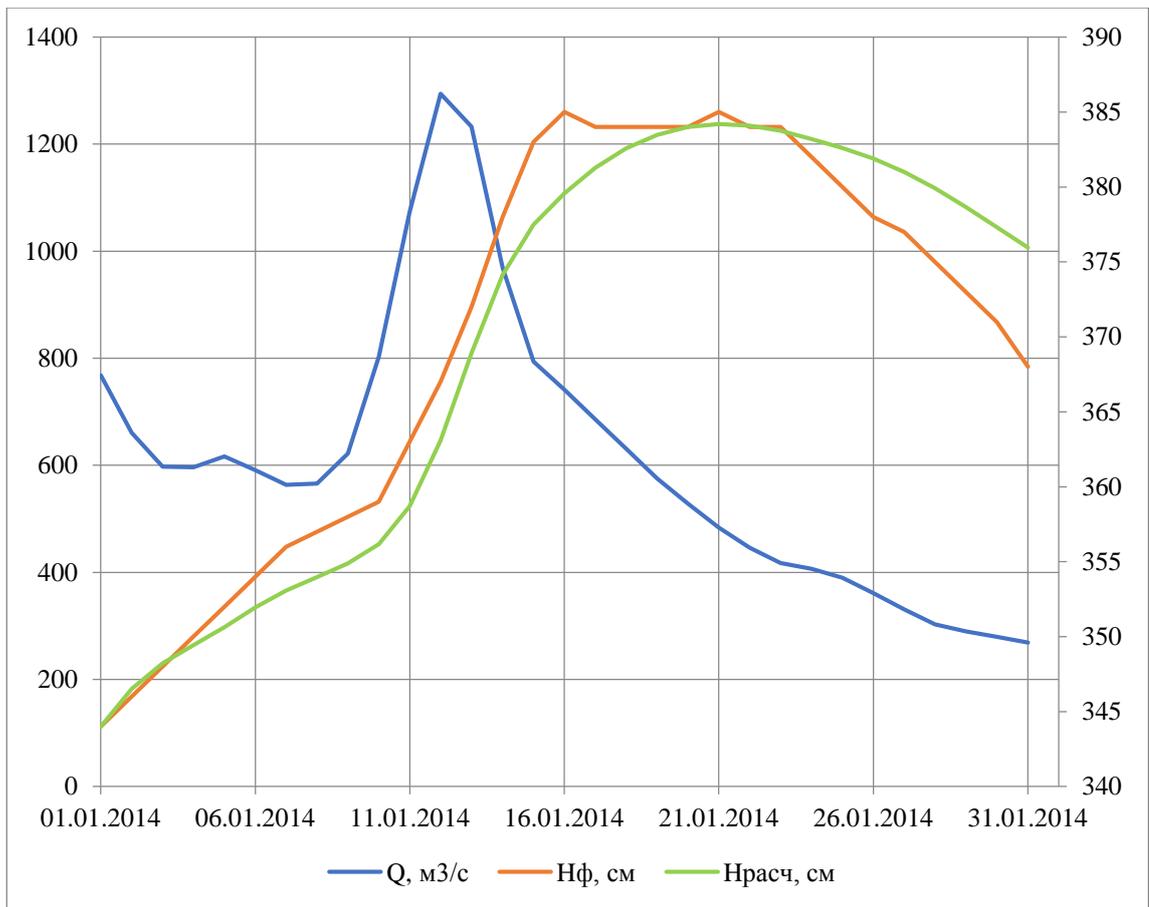


Рисунок 50 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2014 г.

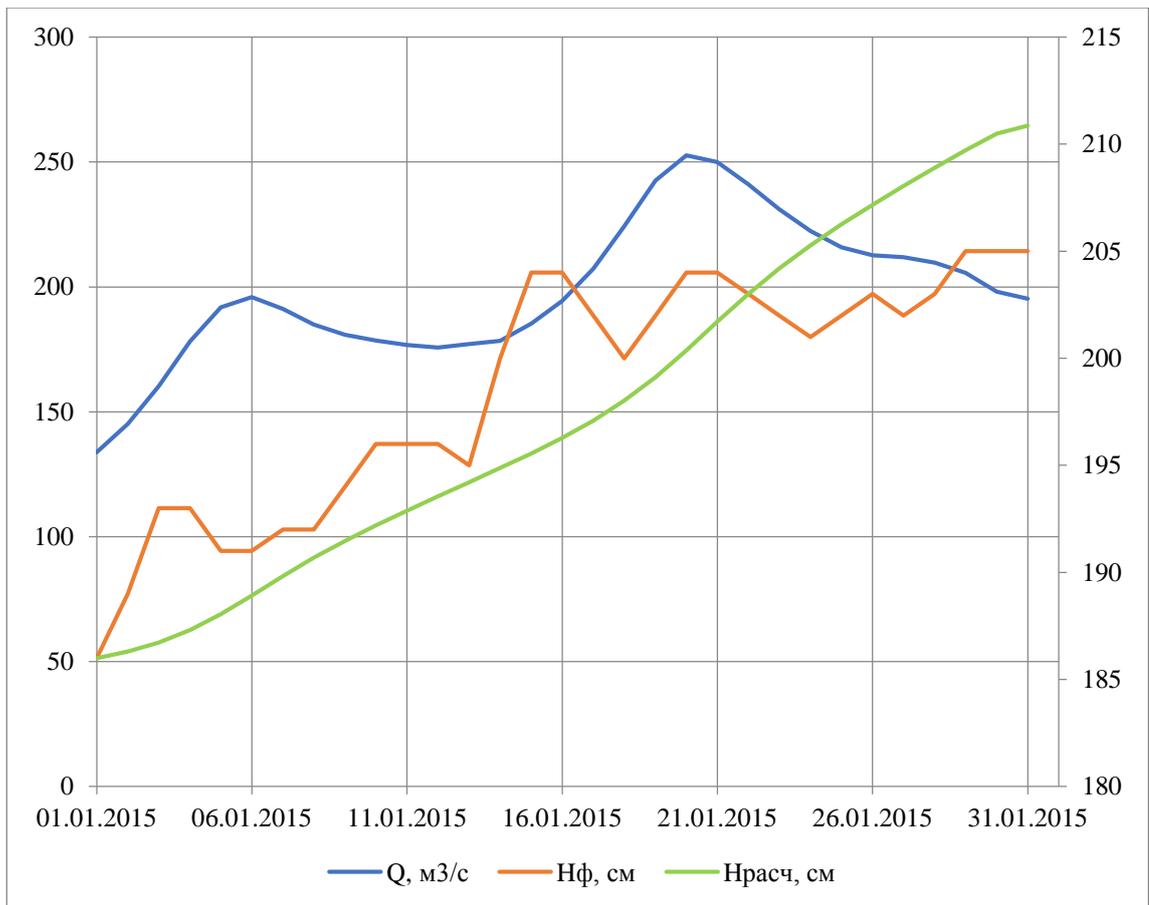


Рисунок 51 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2015 г.

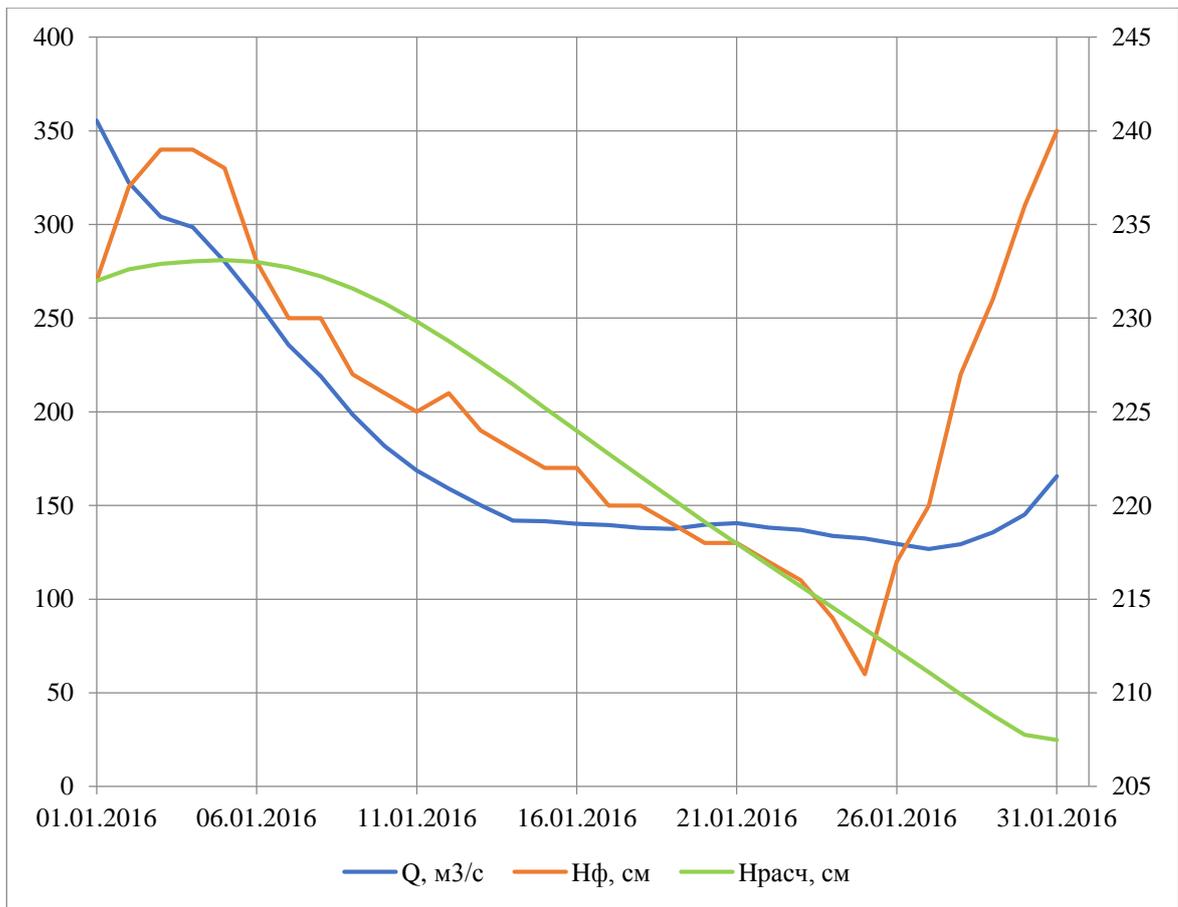


Рисунок 52 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2016 г.

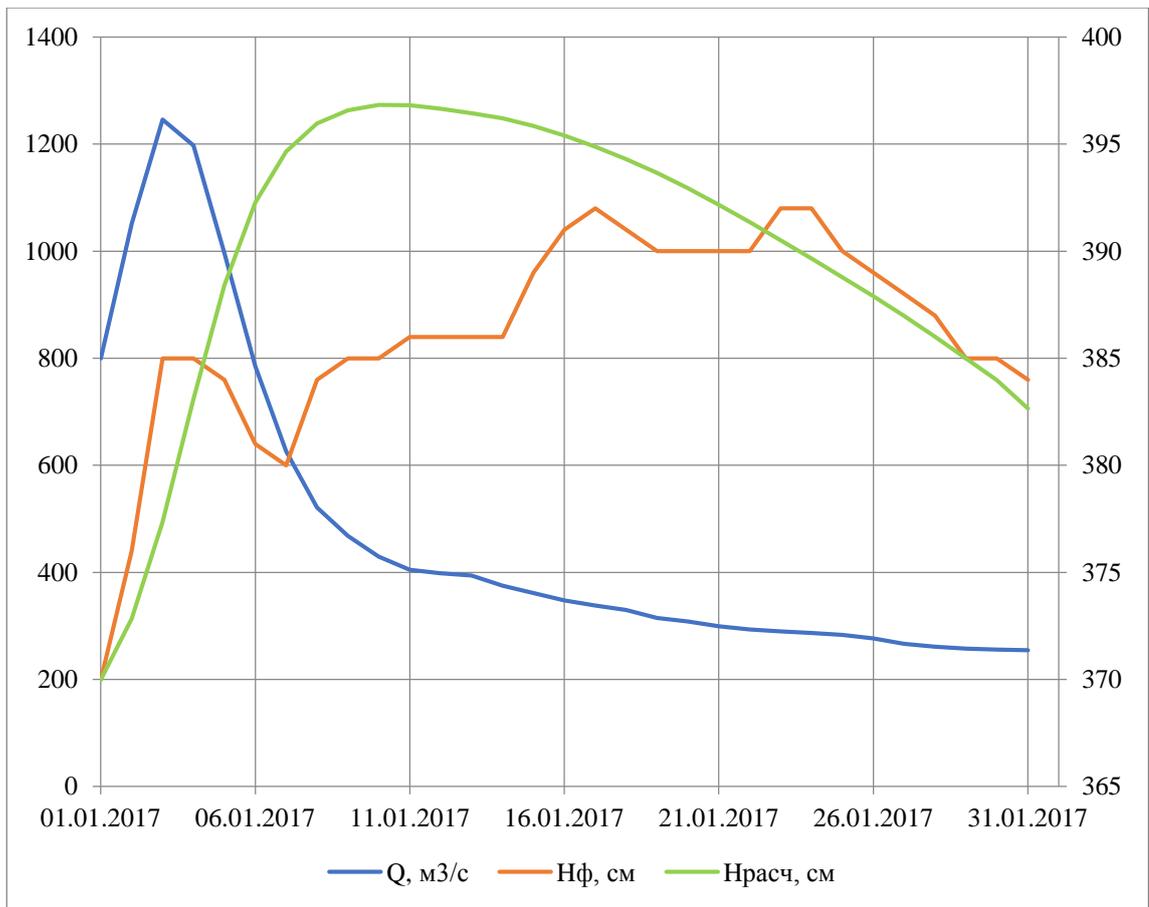


Рисунок 53 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2017 г.

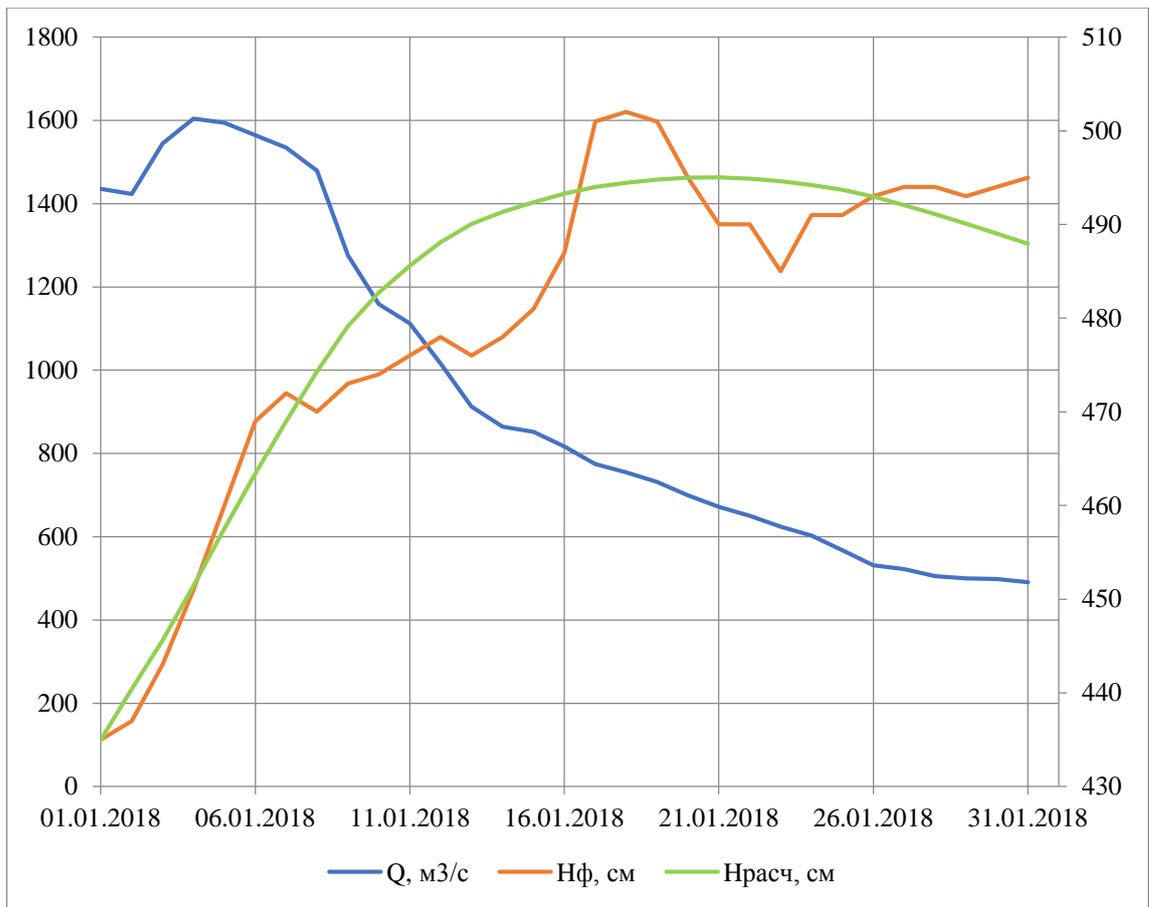


Рисунок 54 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2018 г.

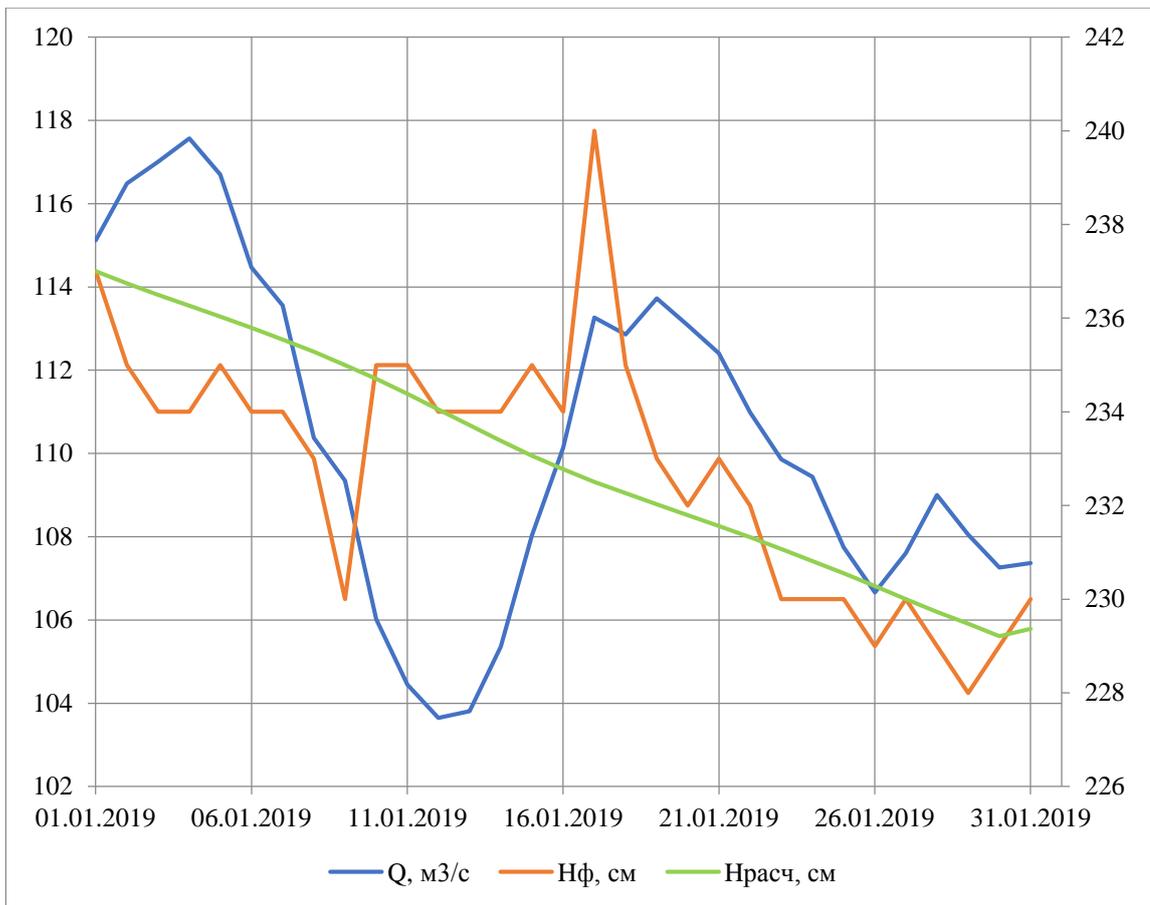


Рисунок 55 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2019 г.

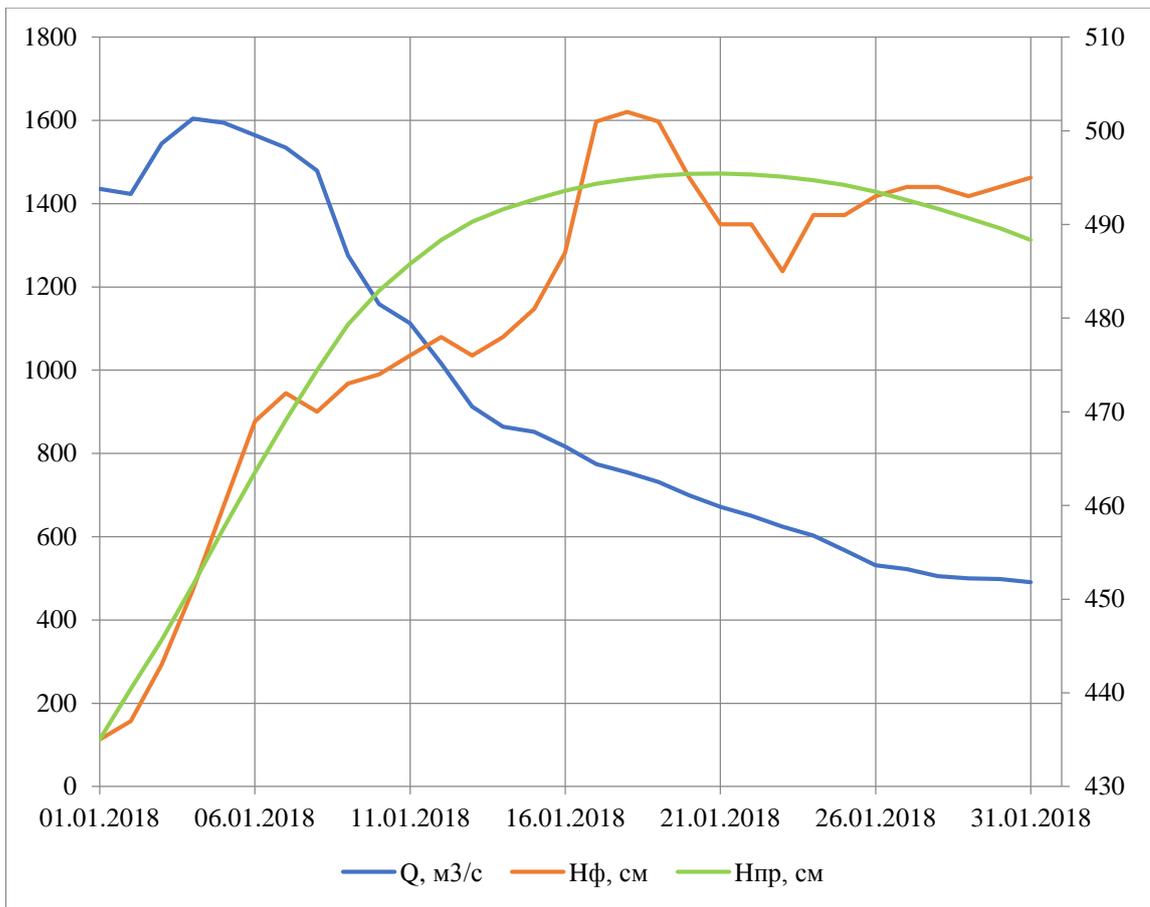


Рисунок 56 – График прогнозных уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2018 г.

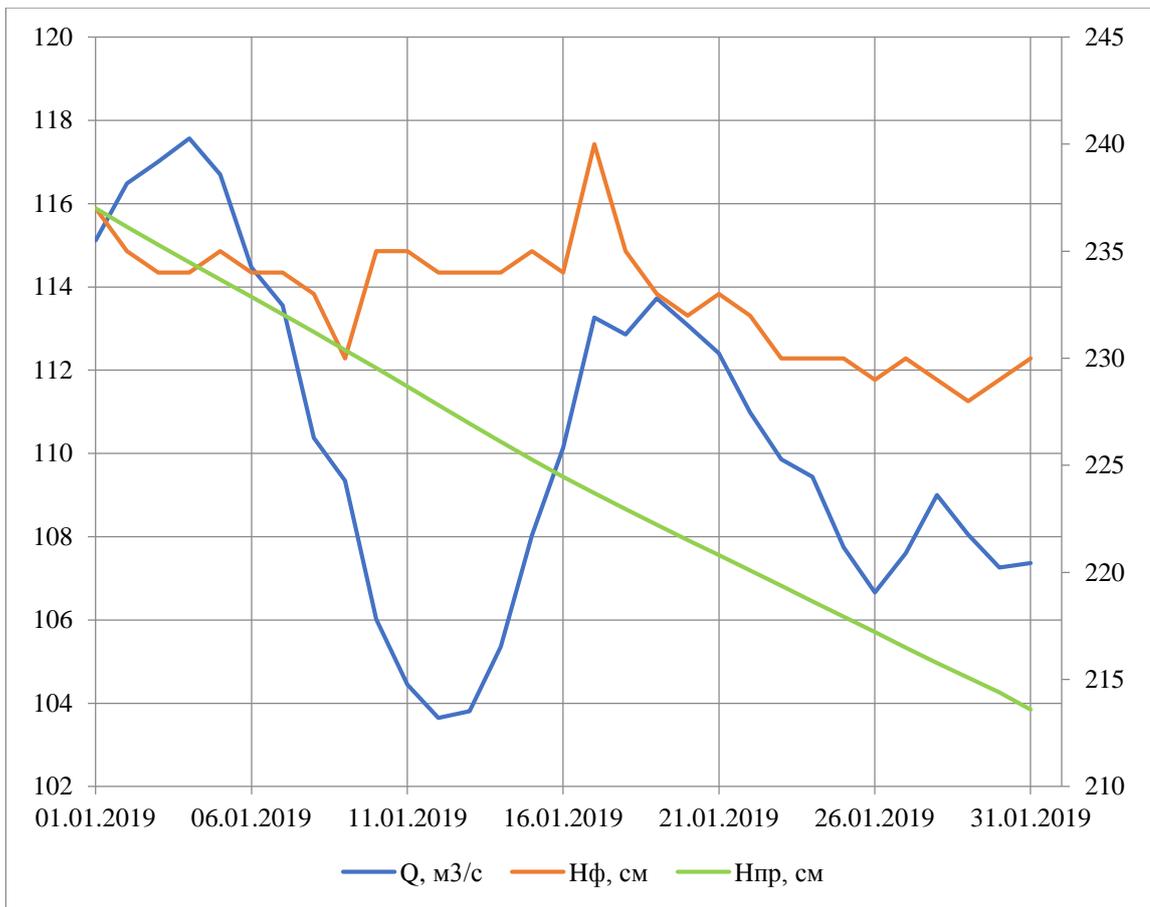


Рисунок 57 – График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за январь 2019 г.

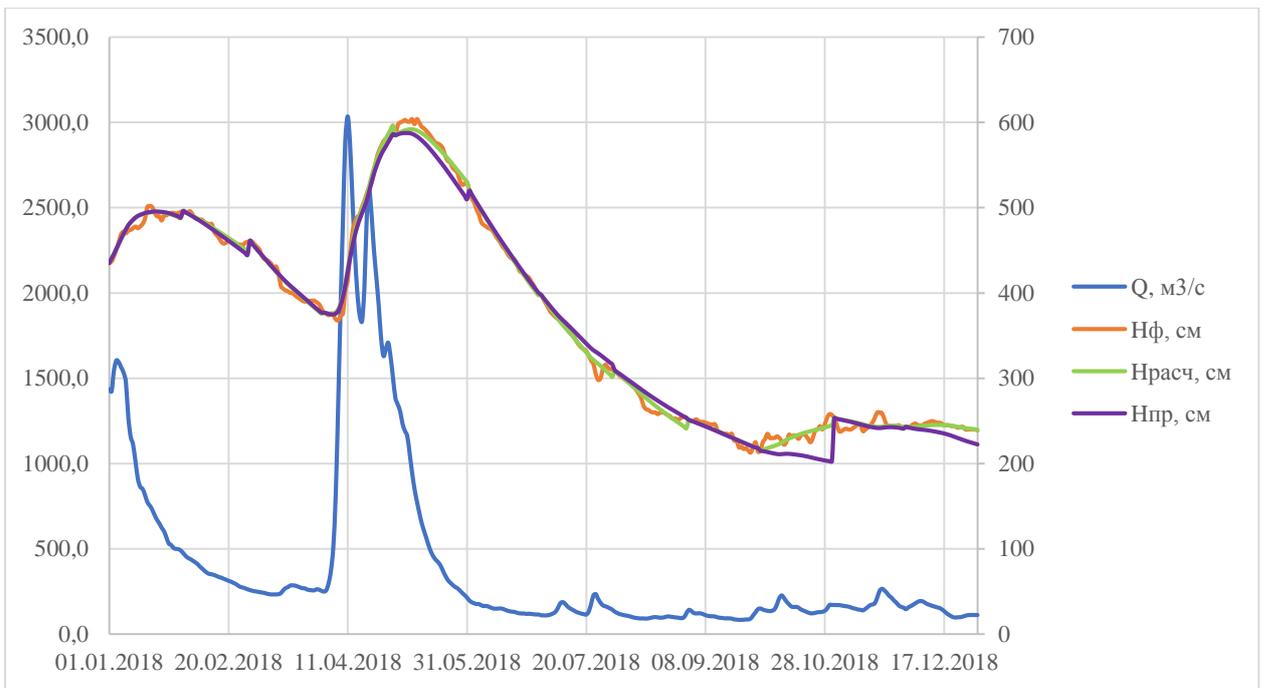


Рисунок 58 – График параметризованных и прогнозных уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за 2018 г.

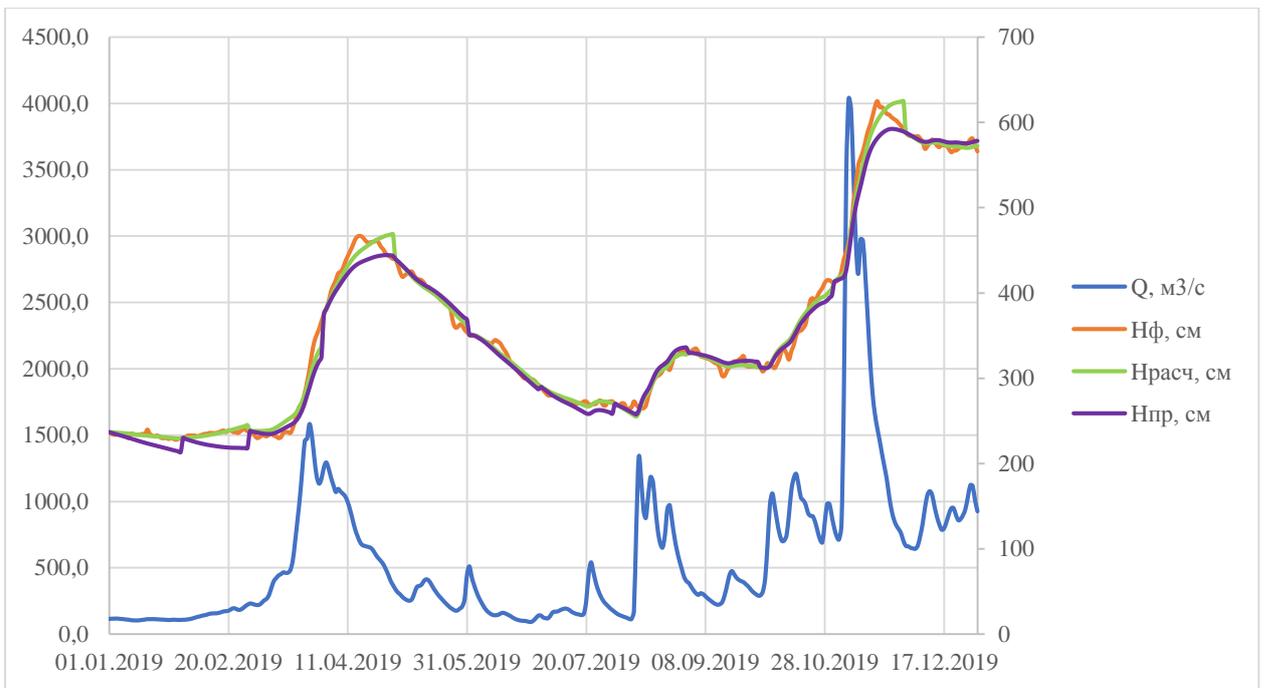


Рисунок 59 – График параметризованных и прогнозных уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за 2019 г.