



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 **Особенности параметризации**  
**системной модели бассейна озера**  
**Ильмень**

Исполнитель Журавлева Анастасия Дмитриевна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Кандидат технических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Т.Н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович  
(фамилия, имя, отчество)

«13» 06 2022г.

Санкт-Петербург  
2022

## Содержание

Введение.....	2
1. Физико-географическая характеристика озера Ильмень.....	4
1.1 Климат. Осадки и температура.....	7
1.2 Гидрография.....	9
1.3 Подстилающая поверхность.....	11
1.4 Исходные данные.....	13
2. Математический аппарат.....	14
2.1 Модель формирования стока.....	17
2.2 Модель водоёма.....	20
2.3 Методика параметризации моделей.....	25
2.4 Оценка оправдываемости прогнозов по критерию $S/\sigma$ .....	26
3. Системное моделирование гидрологических процессов.....	27
Выводы.....	29
Использованные источники.....	31

## Введение

Озеро Ильмень и его водосборная площадь расположены в пределах Северо-Запада России. Это экономически развитый регион, где большое внимание уделено отрасли сельского хозяйства, а также пищевой, лесной, лёгкой и тяжёлой видам промышленности. Само озеро Ильмень является судоходным.

Гидрографическая сеть района обширна, также отмечается значительная заболоченность, что в свою очередь приводит к высокой степени естественной зарегулированности стока. Стоит отметить, что сток реки Волхов зарегулирован довольно значительно. Центральное регулирующее звено района – озеро Ильмень. Таким образом отмечу, что моделирование процессов озера и стока представляет немалый интерес, так как будет возможно прогнозирование, основанное на уже имеющихся данных.

У озера Ильмень есть одна природная особенность – его площадь непостоянна. Этот важный фактор необходимо учитывать при создании модели. Максимальная глубина озера достигает почти десяти метров. Площадь водосбора в девяносто раз превышает площадь озера Ильмень. Водообмен озера крайне интенсивен, и вода в нём полностью сменяется до четырёх раз в год, так Ильмень во многом имеет режим, близкий к режиму речного стока. Согласно исследованиям водного баланса озера Ильмень, основными компонентами, влияющими на режим озера, является суммарный приток и расход единственной вытекающей реки – Волхов.

В условиях непрерывно меняющегося климата прогнозирование гидрологических процессов важная часть сохранения экологии, предотвращения ЧС и обеспечения достойного уровня жизни населения. С помощью методов математического моделирования возможно давать прогнозы для более рационального использования водных ресурсов и организации защитных мероприятий от вредного воздействия вод.

Однако решение конкретных гидрологических задач не может быть основано только на уравнениях, описывающих те или иные гидрологические процессы, это должна быть система, иначе говоря, отдельные модели должны “состыковаться” между собой.

Цели настоящей работы состоят в параметризации модели формирования стока и водоёма за многолетний период; выполнение стыковки моделей при постоянных параметрах для последующих двух лет; апробирование моделей на независимом материале; оценка оправдываемости методик.

Для решения поставленных задач в работе использовались данные наблюдений за температурой воздуха и количеством выпавших осадков на метеостанциях водосбора озера с 2008 по 2019 года (г. Старая Русса, г. Бологое, г. Тихвин, г. Великие Луки, г. Торопец); данные наблюдений расходов рек (Мста – д. Девкино, Пола – д. Налючи, Ловать – г. Холм, Шелонь – д. Заполье, Полисть – д. Утушкино) с 2008 по 2019 год и уровню озера Ильмень – пост. Коростынь с 2008 по 2019 года. Для установления внутригодовых колебаний используются ежедневные значения. Для анализа многолетней изменчивости используются среднегодовые величины.

## 1. Физико-географическая характеристика озера Ильмень

Ильмень – одно из крупнейших озер Русской равнины. Озеро расположено в центре Приильменской низменности, на высоте восемнадцати метров над уровнем моря. Формой напоминает неровный треугольник. Берега изрезанные, низкие и заболоченные. Вследствие больших колебаний уровня воды площадь озера сильно меняется в течение года. В половодье более пятидесяти притоков наполняют озеро, из-за чего оно выходит из берегов, затапливая пойму.

При среднем уровне воды длина озера – сорок три километра, ширина – тридцать три километра. Ильмень не глубокое озеро, его средняя глубина всего 3-4 метра, в самых глубоких местах до десяти метров. Все эти величины сильно зависят от времени года и ситуации на водосборе. Уровень Ильменя изменяется в связи с сезонными колебаниями уровня в реках. Амплитуда сезонных колебаний уровня озера до шести метров. В период межени наибольшая глубина озера порядка 4,5 метра, а средняя – 2,5 метра. Самые низкие уровни наблюдаются в конце зимы.

Высокая проточность озера является причиной сменяемости воды примерно за 2 месяца, что очень быстро для такого большого озера. Так как озеро неглубокое, летом оно прогревается до 20°C, и вода насыщена кислородом. Дно сложено речным илом, приносимым многочисленными притоками, так же озеро богато гидробионтами, вследствие этих факторов вода практически непрозрачна.

Весной посредством половодья, с вскрытия льда и до начала лета, в озере наблюдается самый высокий уровень воды. После на протяжении лета уровень падает. С середины осени начинаются дождевые паводки и, уровень воды снова поднимается, после чего озеро замерзает и устанавливается зимняя межень. Подо льдом Ильмень бывает, по средним многолетним наблюдениям, с конца ноября по конец апреля.

Дно озера покрыто мощным (до десяти метров) слоем озерного ила. Ил за лето прогревается, а зимой отдает тепло, повышая температуру придонных слоев воды. Небольшая глубина обеспечивает хороший прогрев всей толщи воды, температура воды в наиболее жаркий сезон (в июле) 19-21°C.

Исследования показали, что котловина озера ледникового происхождения и при образовании была глубиной более 20 метров. Со временем половина этой глубины стала состоять из нанесённых илов. Котловина расположена в низменности, которая время от времени затопливается водами озера. Особенно большие площади затоплений приходится на дельтовые участки рек Мсты и Ловати. При этом меняются и запасы воды в озере от 1,5 км до 11,6 км. В качестве средних многолетних характеристик можно принять: площадь озера 982 км<sup>2</sup>, объем воды 2,85 км<sup>3</sup>, длина озера 43 км и ширина озера 33 км.

Реки – главный источник поступления воды в озеро, составляющий более 90% всего прихода воды в водоём. Средний по бассейну модуль стока – 7,5 л/[с·км<sup>2</sup>]. Сток реки Волхов, вытекающей из озера Ильмень, составляет более четверти общего объема притока Ладожского озера.

Внутригодовая амплитуда колебаний уровней озера не превышает 6 метров. Эти колебания влияют на жизнь в экосистеме озера, на то как и с какой частотой заливаются луга, сколько и как высоко стоят грунтовые воды и пр. Режим стока Волхова полностью определяется уровнем режимом и предопределяет планирование работ ГЭС. При этом в отдельные годы подпор от водохранилища Волховской ГЭС достигает озера, что довольно интересно, так как получается обратная картина паводочным волнам, подпор пикообразно движется по реке в обратном направлении, что зависит от пусков на ГЭС.

В более засушливые периоды года уровень воды значительно снижается, озеро мелеет. В это время сокращается его площадь, что ведёт к

появлению обширных отмелей. Природные особенности озера обусловлены резкими перепадами уровня воды.

Карта расположения бассейна озера Ильмень и р. Волхов представлена на рисунке 1. Бассейн озера занимает площадь в 66400 км<sup>2</sup>, и протянулся с запада на восток на 350 км и с юга на север на 400 км. Эта территория охватывает большую часть Новгородской, Псковской и Тверской областей, отличается большим разнообразием природных условий.



Рисунок 1. Карта-схема водосбора оз. Ильмень и р. Волхов

## 1.1 Климат. Осадки и температура

Климат на территории водосбора озера, можно охарактеризовать как умеренно-континентальный, зима продолжительная, но с частыми оттепелями, лето относительно тёплое. Ильменский водосбор относится к зоне избыточного увлажнения. Количество осадков в районе озера порядка 550 мм в год, около 70% годовой суммы приходится на период с апреля по октябрь. Годовая абсолютная влажность воздуха 8 бар. В течение года преобладают южные и юго-западные ветры, причем наибольшая скорость составляет в осенне-зимний период 5-6 м/с. Ветрами юго-западных направлений часть озерного льда направляется к истоку Волхова и уходит по реке. В очищенном ото льда озере вода начинает быстро прогреваться. Наиболее высокая ее температура отмечается в июне – июле. Максимальная величина за годы наблюдений была отмечена 27 июня 1938 года плюс 30°C. Обычная разница между температурой воды у поверхности и дна озера летом составляет 3-5°C, реже 8°C. Со второй половины лета водная поверхность постепенно начинает охлаждаться. Осенью температура по всей толще воды постепенно понижается до 4°C, затем падает до 0°C. Замерзает Ильмень, как правило, в конце ноября. В тихую морозную погоду поверхность его быстро схватывается льдом, толщина которого впервые же сутки достигает 5-6 см. 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. Мало того, что 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 2-4°С.

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. 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 2 м) 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.

Из-за ограниченного числа наблюдений над волнением связей между высотой волн и скоростью ветра определенных направлений установить не удалось. Однако, по отрывочным сведениям, можно сделать вывод, что размеры ветровых волн на озере зависят в основном от продолжительности действия ветра и низменного направления его скорости

## 1.2 Гидрография

Ильмень питают около 50 больших и малых рек. Наиболее крупные из них – Ловать, Мста и Шелонь.

Самый длинный приток – река Ловать. Ее длина – 536 км, площадь бассейна – 21900 км<sup>2</sup> Ловать берет начало из озера в Белоруссии и течет на север по территории Псковской и Новгородской областей. В верхнем течении река проходит через систему озер, местами имеет порожистое русло, высокие, крутые берега. В нижнем течении ее берега плоские и низкие. В Ильмень Ловать впадает рукавами, образуя широкую заливную дельту площадью 300км<sup>2</sup>. Большая часть бассейна этой реки расположена в Приловатской низине, имеющей плоскую, слабо покатую к северу поверхность высотой от 40 до 100 метров над уровнем моря. Его площадь 92000 гектар. Из озера Полисто, расположенного на северной окраине этого массива, берет начало крупный левый приток Ловати – река Полисть. Правый приток Ловати – река Пола, которая достигает длина 258 км. Она берет начало с холмов Валдайской возвышенности и впадает в Ловать в двадцати километрах выше ее устья. И Полисть, и Пола в прошлом были самостоятельными реками.

Река Мста вытекает из озера Мстино в Тверской области, близ города Вышний Волочек. Длина ее – 445 км, площадь водосбора – 23060 км<sup>2</sup>. С начала восемнадцатого века Мста входит в Вышневолоцкую водную систему. С бассейном Волги она была соединена каналами и, начиная с петровских времен, служила связующей артерией между северо-западом

России и Поволжьем. Природные условия бассейна Мсты очень разнообразны. Восточная его часть расположена в пределах Валдайской возвышенности, а западная – в Приильменской низменности. В верхнем и среднем течении Мста порожиста, 18 имеет черты горной реки. Разница в уровнях воды от ее истока до устья составляет 135 метров. Особенно велика она в пределах Валдайской возвышенности: на расстоянии 30 км от села Опеченский Посад до деревни Потерпелица – 65 км.

Русло здесь врезается в толщу плотных известняков, образуя пороги-водопады. Всего на Мсте более 50 порогов, из них только на участке между Опеченским Посадом и Боровичами около 30 порогов. В пределах Приильменской низменности Мста принимает характер типичной равнинной реки и спокойно несет свои воды в Ильмень.

При впадении в озеро Мста, как и Ловать, разветвляется на протоки, образуя обширную дельту площадью 170 км<sup>2</sup>, где откладывается много наносов. У Мсты немало особенностей. Так, в ее порожистой части зимой наблюдаются многочисленные полыньи, а в мягкие зимы сплошного ледостава не бывает. В морозные дни на порогах образуется шуга, которая иногда забивает все русло, вызывая подъем воды.

Шелонь значительно меньше Ловати и Мсты. Ее длина – 253 км, площадь водосбора – 9850 км<sup>2</sup>. Она стекает с восточных склонов Судомской возвышенности, расположенной в Псковской области. В нижнем течении река имеет равнинный характер, ее русло извилисто. В отличие от Мсты и Ловати, она при впадении в Ильмень не разбивается на рукава, а образует широкий лиман, переходящий в залив озера.

Кроме трех крупных притоков в Ильмень впадает много небольших рек: Веряжка, Веронда, Псижа, Тулебля, Ниша и другие.

Вытекает из озера – река Волхов. Волхов соединяет два больших озера северо-запада России – Ильмень и Ладожское. Путь его на удивление мало

извилист. Длина реки – 224 км превышает длину прямой линии, соединяющей исток и устьем, всего на 17%. Из всех рек, впадающих в Ладожское озеро, Волхов уступает по водности только Свири и Вуоксе. За год он выносит в среднем около 17 км<sup>3</sup> воды. Река эта не совсем обычная. Дельты у нее нет, и она впадает в Ладожское озеро одним единственным рукавом шириной в полкилометра. Зато на дельту похож исток Волхова, имеющий форму воронки, повернутой широким концом к Ильменю.

Исток Волхова состоит из целого ряда протоков ручьев, среди них встречаются даже небольшие шириною до 100 метров озера. У Волхова шесть более или менее крупных притоков: Вишера, Пчевжа, Оскуя, Тигода, Кереть и Полисть. Все они, кроме Вишеры, впадают в Малый Волховец, отдают свои воды Волхову в районе Большой Поймы. Долина реки там расширяется до 40 км, и весной в половодье в этом районе образуется огромный разлив. Берега Волхова низки, почти нигде не превышают 15-20 метров, а для такой широкой и мощной реки очень немного. Водный и уровненный режимы Волхова определяются озером Ильмень, работой Волховской ГЭС и Ладожским озером.

Из всей массы, которую приносит Волхов в Ладожское озеро, примерно 80%, принадлежит Ильменю. В истоке расход Волхова составляет около 460 м<sup>3</sup> /с, притоки его частного бассейна по пути к Ладоге добавляют всего 90 м<sup>3</sup> /с.

### 1.3 Подстилающая поверхность

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 11 имеется ряд заливов, среди которых наиболее крупные находятся в восточной части – Большая и Малая Аркадские, в юго-восточной – Синецкий, югозападной – Тулебельский. Большие колебания уровня воды во многом зависит от значительной проточности Ильменя и повышенной

увлажнённости его бассейна. 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. Геологическое исследование свидетельствуют, что ранее на месте Ильменя располагался обширный водоем с глубинами до 30 метров. В дальнейшем его котловина более чем на 90% была заполнена речными отложениями. В настоящее время Ильмень представляет собой постепенно «умирающий» водоем, исчезающий под воздействием вековых процессов заиливания и заноса его ложа речными наносами.

Большая часть дна озера покрыта мощным слоем ила, в основном тектонического происхождения. В центральной части мощность иловых отложений 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 всего 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. 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 Рыжуха. 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.

#### 1.4 Исходные данные

Для начала работы нужны были исходные данные по водным объектам – в первую очередь по озеру Ильмень. Так на АИСГМВО были взяты данные об уровнях озера на посту Коростынь за 2008-2019 гг. А также расходы за тот же временной период на крупнейших притоках озера реках – Мста – д. Девкино, Пола – д. Налючи, Ловать – г. Холм, Шелонь – д. Заполье, Полисть – д. Утушкино.

На сайте всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – мирового центра данных – [meteo.ru](http://meteo.ru), были взяты данные об осадках и температуре на ближайших к исследуемым водным объектам метеостанциях – г. Старая Русса, г. Бологое, г. Тихвин,

г. Великие Луки, г. Торопец. Для каждой исследуемой реки были выбраны ближайшие метеостанции, значения температуры и осадков по ним осреднены и представлены в виде графиков. На рисунке 2 представлен график по реке Шелонь за 2008-2019 гг., графики по остальным рекам будут представлены в приложении 1.

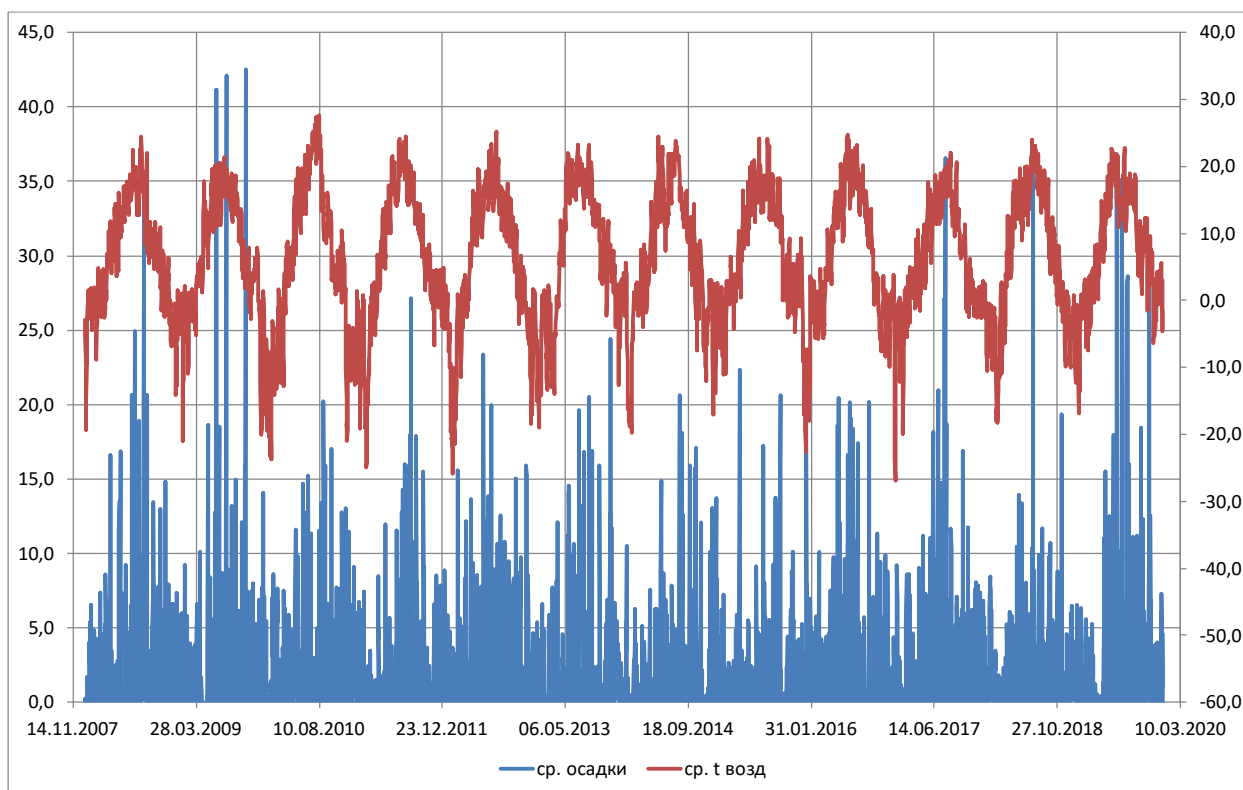


Рисунок 2. Осреднённые значения осадков и температуры по метеостанциям Старая Русса, Великие Луки, Торопец

## 2. Математический аппарат

Математические модели позволяют решать как диагностические, так и прогностические задачи; точность выходной информации в первую очередь определяется качеством исходных данных и степенью детализации физических процессов, описываемых самой моделью. Уровень схематизации реальных процессов, описываемых уравнениями математической физики и гидродинамики, определяется целым рядом факторов, важнейшим из которых является возможность использования разработанной модели в оперативной практике.

В основе метода прогнозирования любого гидрологического явления лежит физический анализ процессов, обуславливающих данное явление. Метод прогнозирования указывает на целесообразность того или иного общего подхода к решению задачи. Так, метод водного баланса основан на исследовании взаимосвязи между стоком и основными факторами, его определяющими, и широко применяется при прогнозах сезонного стока. [1]

Для нахождения прогнозных уровней оз. Ильмень необходимо построение двух моделей: формирования стока и водоёма; и последующая их стыковка. Таким образом методами математического моделирования будет возможно с заблаговременностью до семи суток давать гидрологические прогнозы.

Модели основных гидрологических процессов: склоновый сток, русловой сток, водоём, зона аэрации (ненасыщенная зона), насыщенная зона и напорные горизонты, наглядно показаны на рисунке 3. В настоящей работе будет производиться только параметризация модели склонового стока и водоёма.

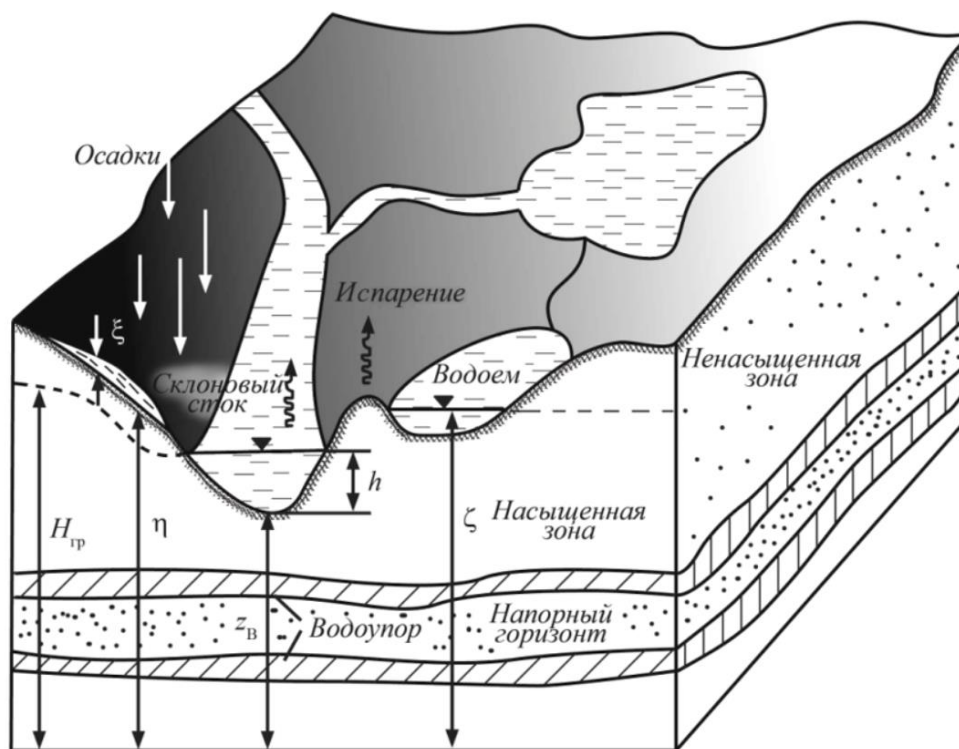


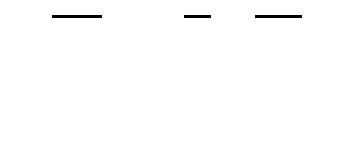
Рисунок 3. Основные звенья гидрологической цепи



В работе рассматривается система перехода от имитационных расчётов к расчёту по фактическим данным. Для этого выбрана модель похожая на использованную в контрольной работе третьего курса. Моделирование склонового стока произведено по наиболее крупным рекам: Шелонь, Мста, Ловать, Пола, Полисть. Моделирование водоёма по озеру Ильмень.

В системную гидрологическую модель входят: модель формирования стока пяти рек, сток в оз. Ильмень всех водотоков, по которым имеются данные, ежедневные уровни озера Ильмень.

Модель формирования стока:



Модель водоёма:



Использованные в работе гидрологические посты представлены в таблице 1; метеорологические посты – таблица 2.

Таблица 1. Гидрологические посты

Код поста	Водный объект	Название поста	Расстояние от устья, км
72281	р. Мста	д. Девкино	84
72423	р. Пола	д. Налючи	68
72459	р. Ловать	г. Холм	193
72510	р. Шелонь	д. Заполье	59
72760	р. Полисть	д. Утушкино	41

Таблица 2. Метеорологические посты

Код	Наименование	Координаты
-----	--------------	------------

поста		с. ш.	в. д.
26094	Тихвин	59° 39' 0"	33° 33' 0"
26275	Старая Русса	58°01'0"	31°19'0"
26298	Бологое	57° 54' 0"	34° 3' 0"
26477	Великие Луки	56° 21' 0"	30° 37' 12"
26479	Торопец	56°29'52"	31°38'07"

## 2.1 Модель формирования стока

В качестве внешнего воздействия для модели формирования стока используются данные по температуре и осадкам за период 2008-2019 гг. На рисунке 2 представлен осреднённый ход температуры и осадков на р. Шелонь – д. Заполье за рассматриваемый период.

Типовой гидрограф р. Шелонь за этот же период представлен на рисунке 4. Типовые гидрографы по другим рекам будут в приложении 2.

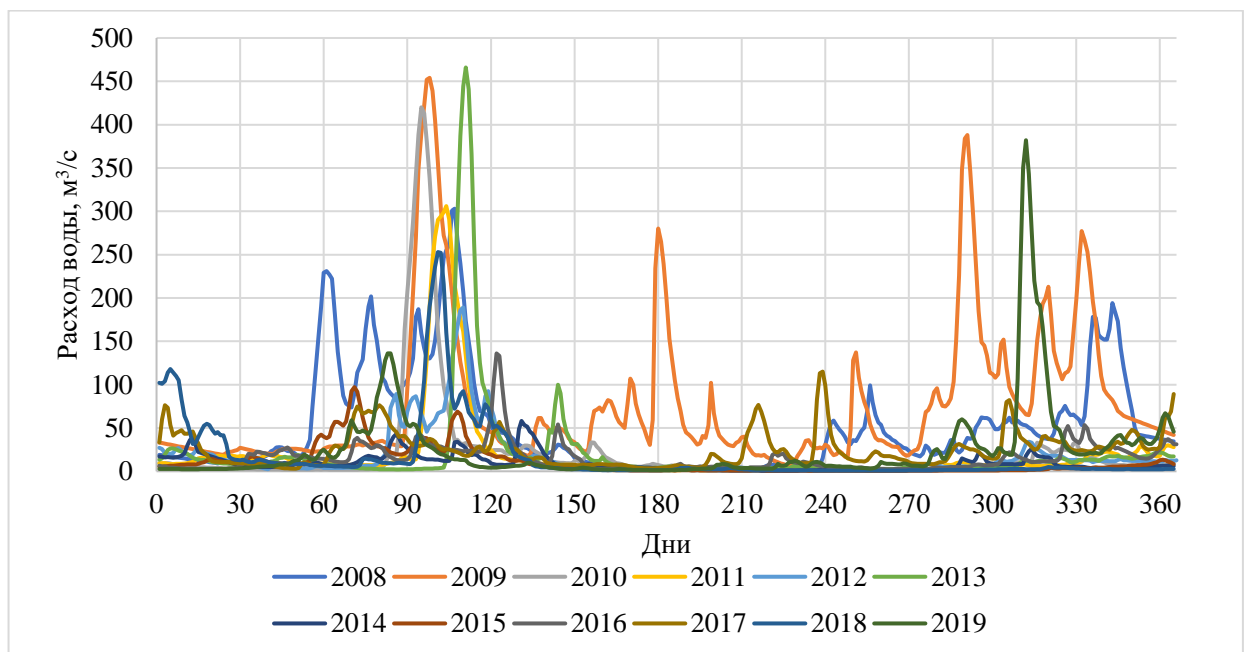


Рисунок 4. Гидрографы р. Шелонь – д. Заполье за период 2008-2019 гг.

Так с помощью надстройки MSExcel “Поиск решения” были параметризованы  $k$  и  $\tau$  для реки Шелонь за тёплый период (май-октябрь) 2008-2019 годов. Для примера на рисунке 5 представлен график параметризации расхода воды на р. Шелонь – д. Заполье за май 2008 года. Как видно прогнозные значения недалеки от фактических.

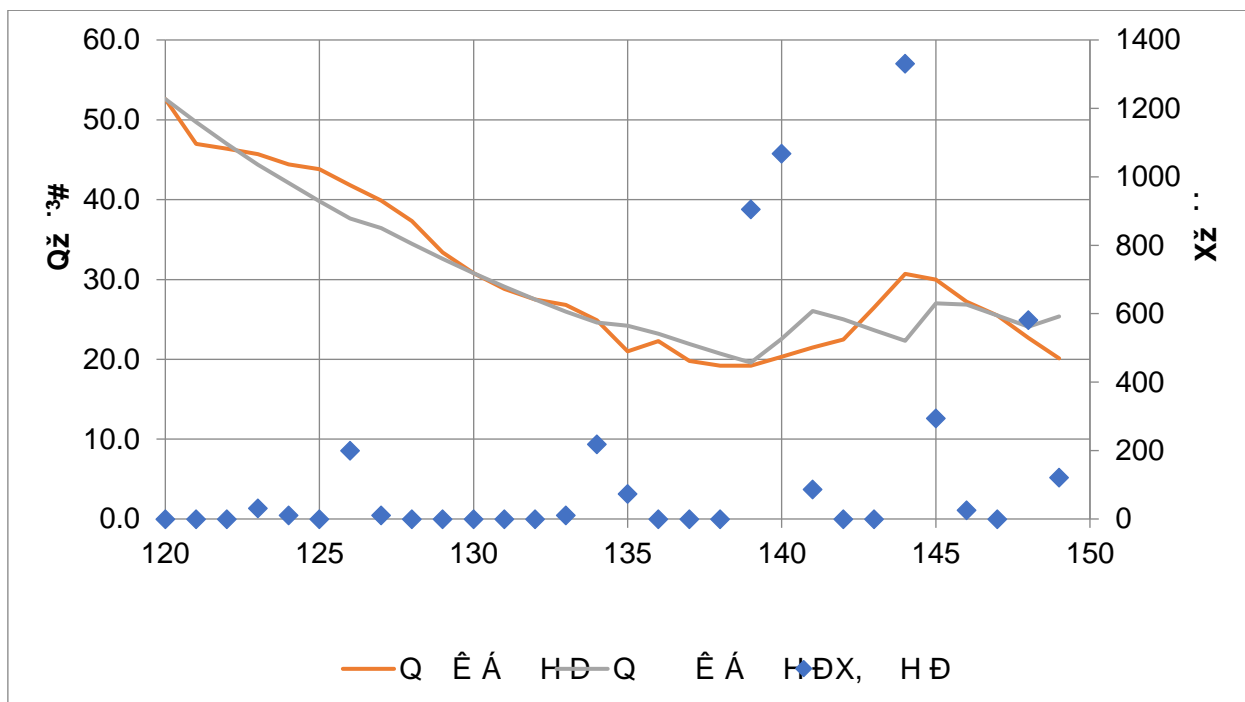


Рисунок 5. График параметризации расхода воды на р. Шелонь – д. Заполье за май 2008 года

Графики параметризации расхода воды на р. Шелонь – д. Заполье за другие месяцы 2008 г будут представлены в приложении 3.

Как это было сделано. Были взяты ряды осадков и расходов за рассматриваемый период и найдены прогнозные значения расходов путём нахождения минимальных абсолютных отклонений параметризацией  $k$  и  $\tau$ .

Суммируем абсолютные отклонения фактических расходов от прогнозных и получаем  $\sum|\delta|$  в большинстве случаев значение, обеспеченное нормальными значениями операторов  $k$  и  $\tau$ .

Таким образом проведена параметризация для всех рассматриваемых месяцев, конечный график за 2008 год представлен на рисунке 6. Графики за другие года можно посмотреть в приложении 4. На этом же графике мы видим корректировку – это данные о фактических расходах за каждые тридцать дней, соединённые одной линией.

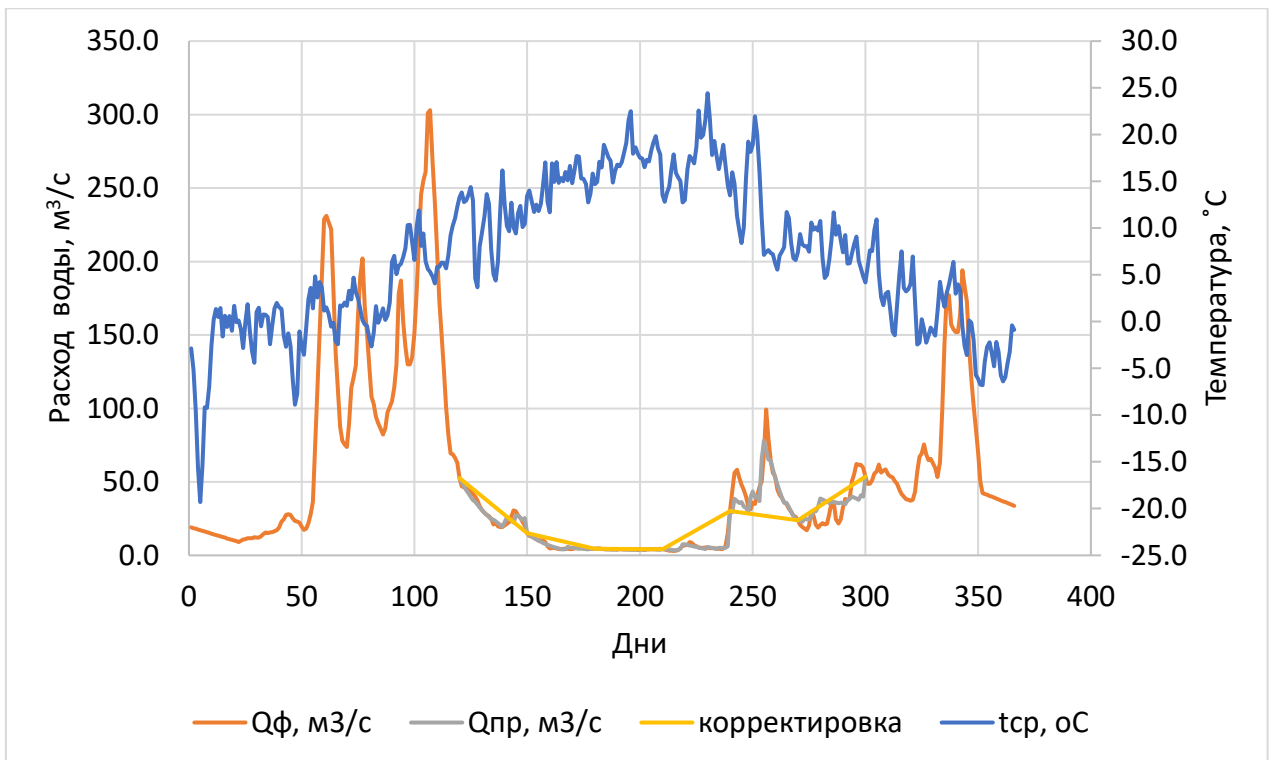


Рисунок 6. График параметризации р. Шелонь – д. Заполье за 2008 год

Как можем увидеть на рисунках 7 и 8 значения  $k$  и  $\tau$ , которые подвергались параметризации, имеют довольно разные значения на протяжении всего тёплого периода (май-октябрь) за один год. В приложении 5 можно посмотреть, как изменялись параметры  $k$  и  $\tau$  за все рассмотренные года, а также наибольшие, наименьшие и средние значения на всех реках.

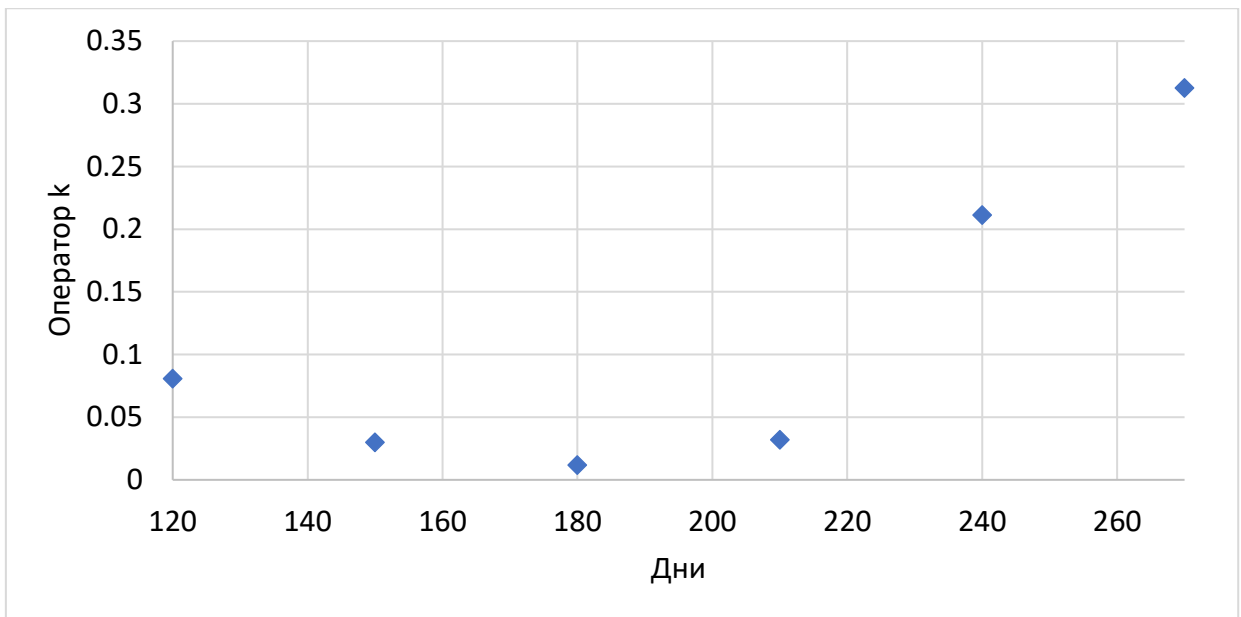


Рисунок 7. Ход изменения значения параметра k за тёплый период за 2008 г.

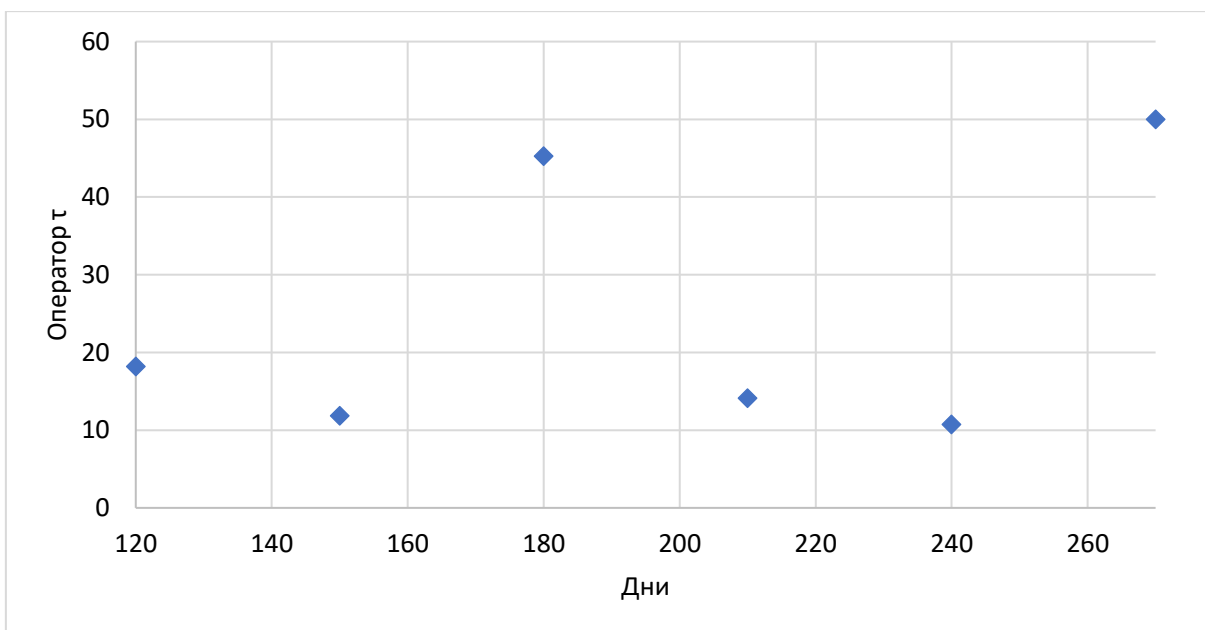


Рисунок 8. Ход изменения значения оператора tau за тёплый период за 2008 г.

## 2.2 Модель водоёма

В качестве внешнего воздействия для модели водоёма используются данные об уровнях оз. Ильмень – пост. Коростынь за период 2008-2019 гг, иллюстрация на рисунке 9; а также данные о стоке втекающих рек за тот же период времени.

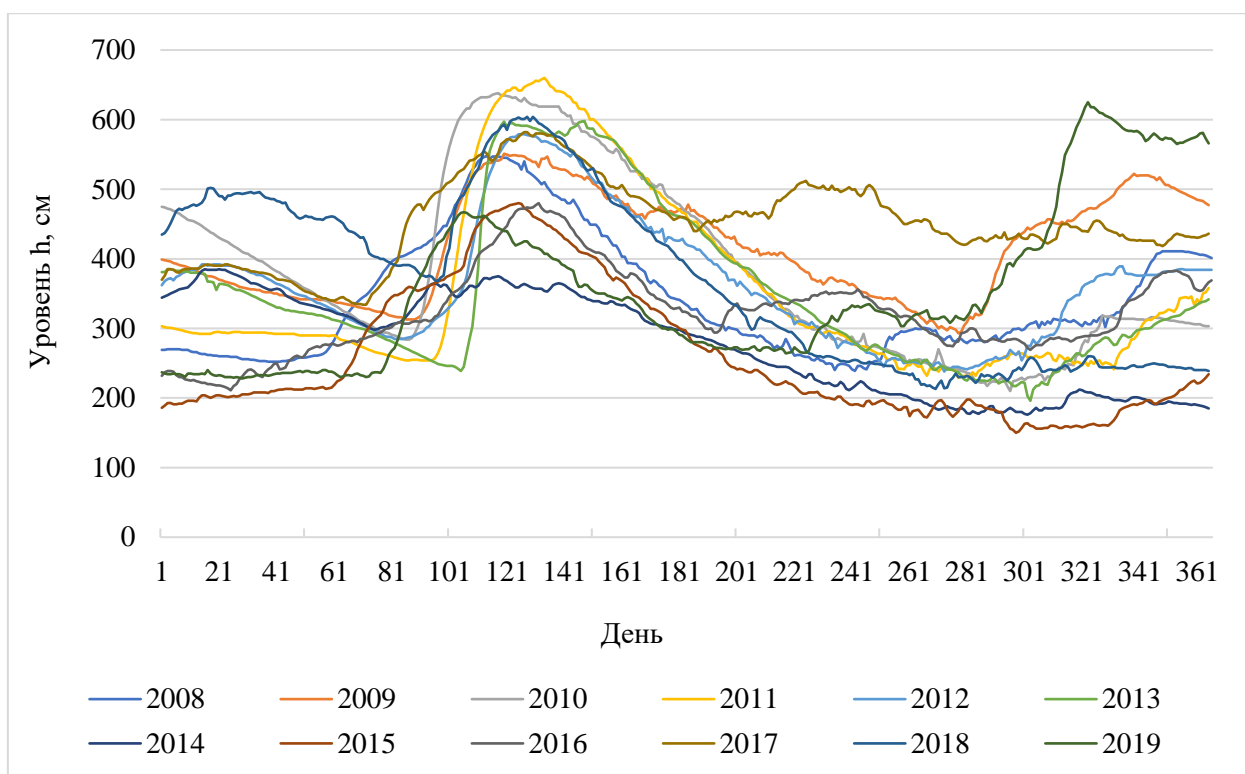


Рисунок 9. Хронологические графики уровней оз. Ильмень – пост. Коростынь

Основные характеристики оз. Ильмень представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. Характерные уровни оз. Ильмень

	А			Б	В
	16,5	3	1,95	770	1 500
	18	4,5	2,64	1 090	2 870
	21,3	6,5	4,27	1 780	7 600
	23,4	10	5,62	2 096	11 647

Таблица 4. Площадь водосбора

Водный объект	Площадь, км <sup>2</sup>	
оз. Ильмень	67 200	
р. Волхов	80 200	с оз. Ильмень
р. Волхов	13 000	без оз. Ильмень

На рисунке 10 представлен график зависимости площади оз. Ильмень от уровня, а также полиномиальная линия тренда второй степени, на основе уравнения которой будет проведена параметризация водоёма.

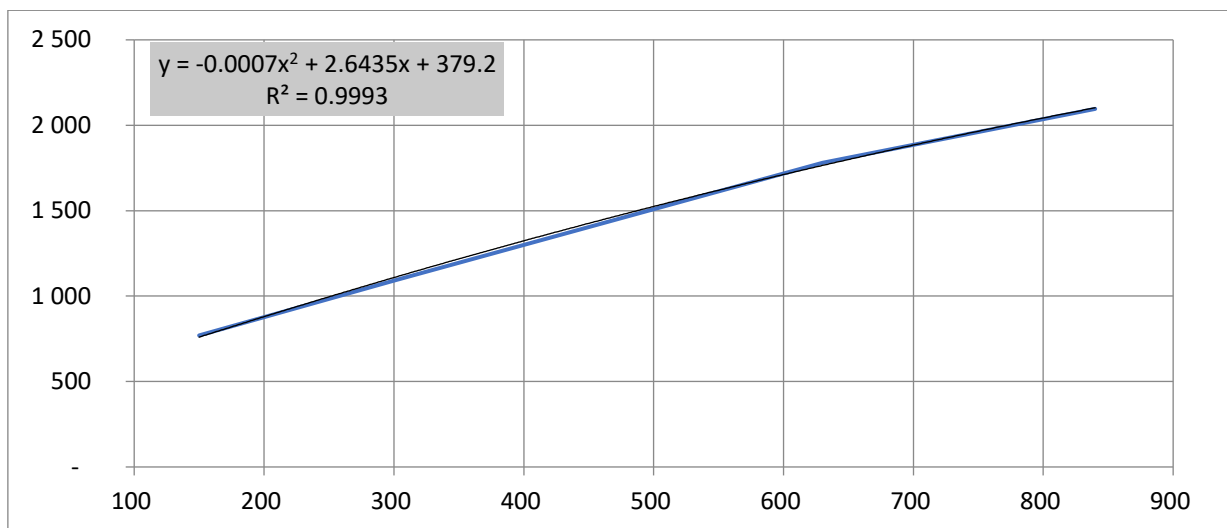


Рисунок 10. Зависимость площади оз. Ильмень от уровня

Так с помощью надстройки MSExcel “Поиск решения” был параметризован  $k_{\text{морф}}$  оз. Ильмень – пост. Коростынь за тёплый период (май-октябрь) 2008-2019 гг.

Для примера на рисунке 11 представлен график параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за май 2008 года. Как видно прогнозные значения очень близки к фактическим.

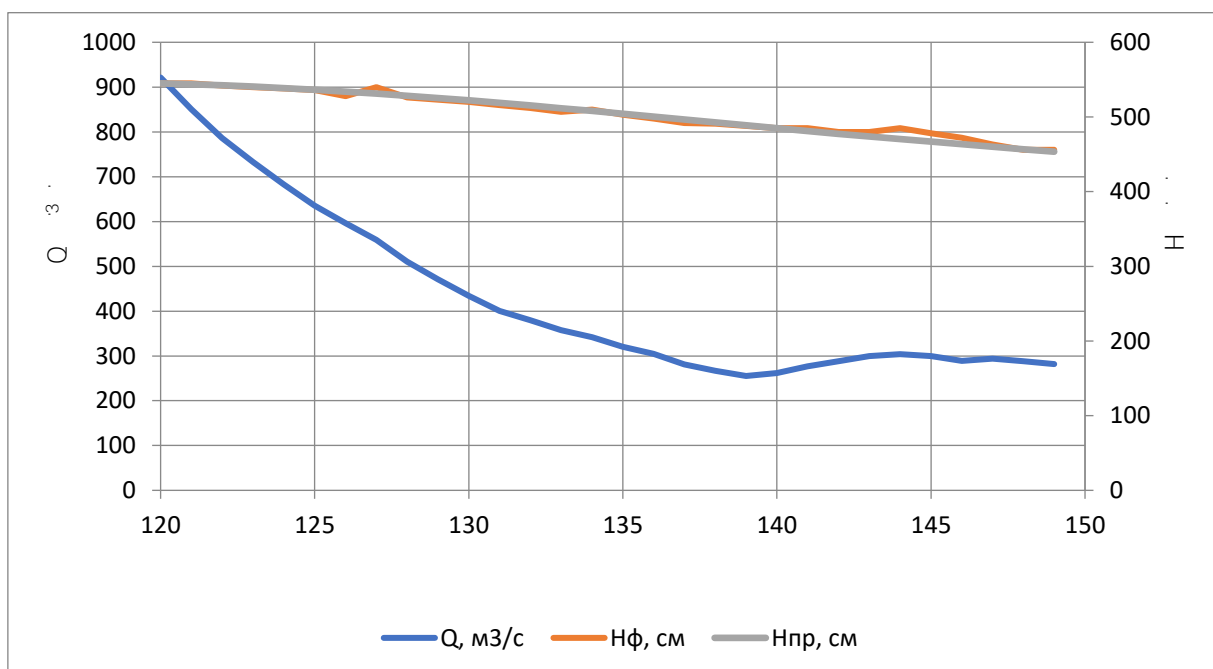


Рисунок 11. График параметризации уровней воды на оз. Ильмень – пост. Коростынь за май 2008 года

Как это было сделано. Были взяты ряды фактических расходов на втекающих реках (Мста, Пола, Ловать, Шелонь, Полисть) за рассматриваемый период. Найден суммарный предполагаемый расход, путём сложения значений расходов на втекающих реках. Также были взяты ряды фактических уровней на оз. Ильмень – пост. Коростынь. С помощью ранее обозначенной зависимости площади оз. Ильмень от уровня, взятого тренда и параметризуемого  $k_{\text{морф}}$  были рассчитаны прогнозные уровни.

Уравнение для нахождения прогнозных значений уровней [2]:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{\text{факт}} - Q_{\text{прог}})^2}{n} = \sigma^2$$

Суммируем абсолютные отклонения фактических расходов от прогнозных и получаем  $\sum|\delta|$  в большинстве случаев значение, обеспеченное нормальными значениями оператора  $k_{\text{морф}}$ .

Таким образом проведена параметризация для всех рассматриваемых месяцев, конечный график за 2008 год представлен на рисунке 12. На этом же графике мы видим корректировку – это данные о фактических расходах за каждые тридцать дней, соединённые одной линией. Графики параметризации водоёма за другие года можно посмотреть в приложении 6.



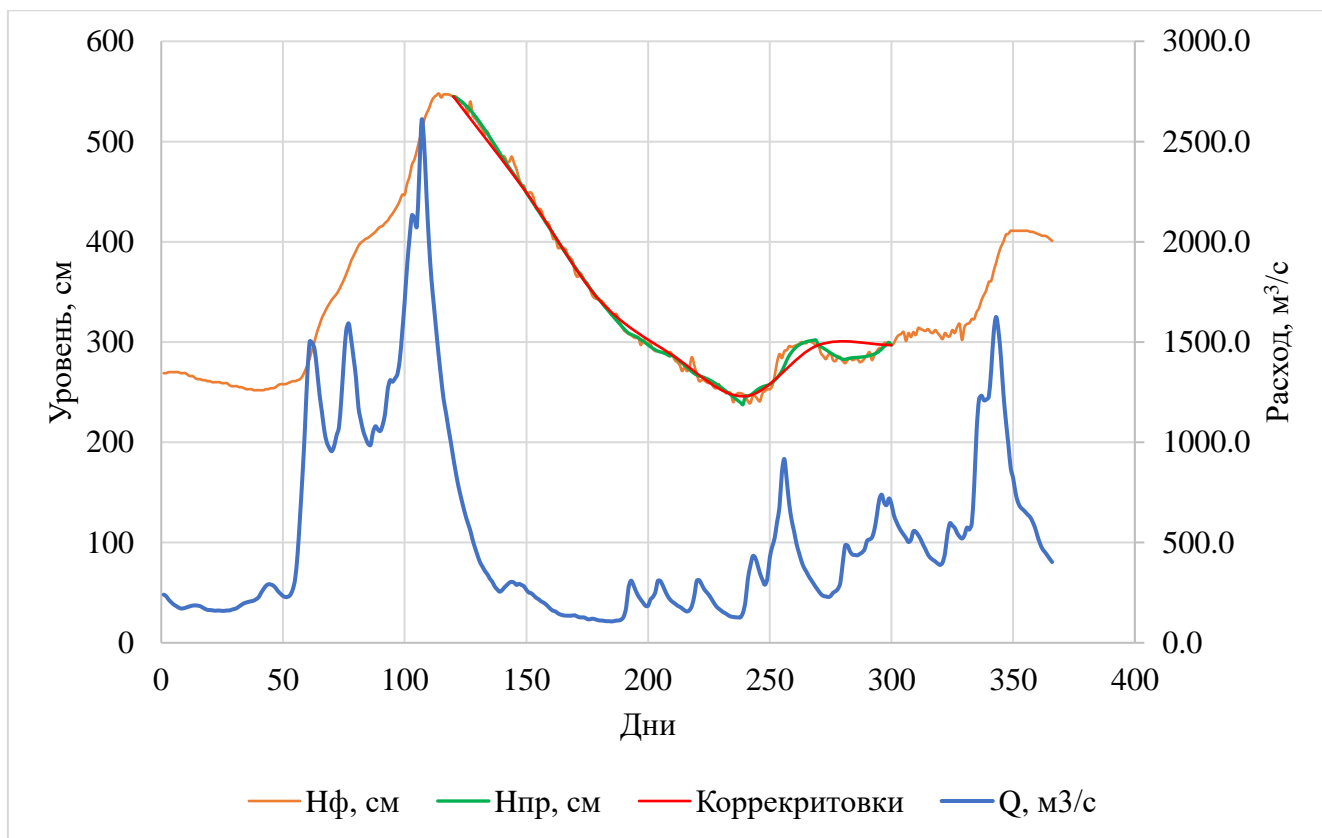


Рисунок 12. График параметризации оз. Ильмень – пост. Коростынь за 2008 год

Как можем увидеть на рисунке 13 значения  $k_{\text{морф}}$ , который подвергался параметризации, выглядят как неровная кривая, в начале мало изменяющаяся. В приложении 7 можно посмотреть таблицу изменения  $k_{\text{морф}}$  за все года и рассмотренные месяцы.

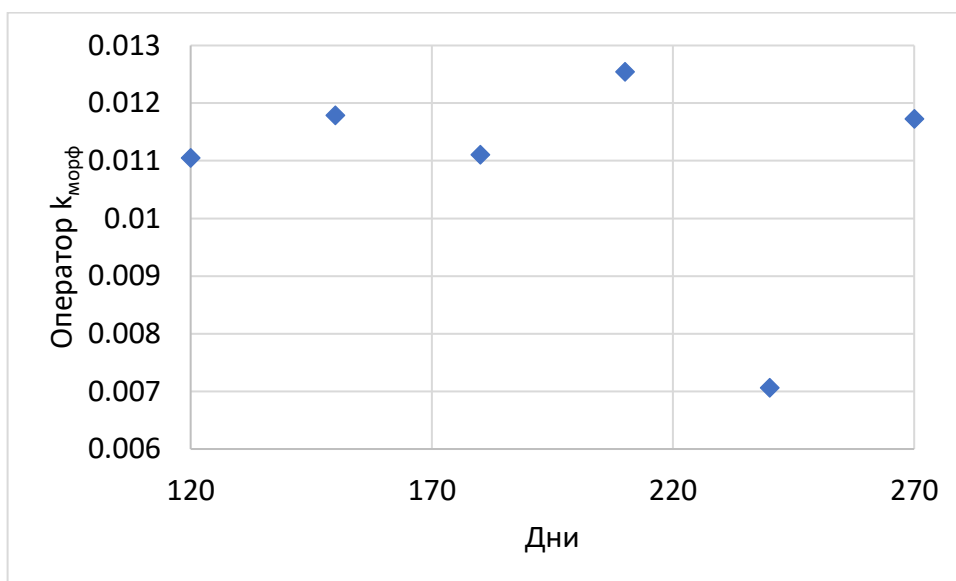


Рисунок 13. Ход изменения значения оператора  $k_{\text{морф}}$  за тёплый период за 2008 г.

### 2.3 Методика параметризации моделей

Параметризация моделей производилась с помощью надстройки MSExcel "Поиск решения", являющаяся частью набора команд, которые иногда называют средствами анализа "что-если". С помощью этой надстройки можно найти оптимальное значение (максимум или минимум) формулы, содержащейся в одной ячейке, называемой целевой, с учетом ограничений на значения в других ячейках с формулами на листе. Надстройка "Поиск решения" работает с группой ячеек, называемых ячейками переменных решения или просто ячейками переменных, которые используются при расчете формул в целевых ячейках и ячейках ограничения. Надстройка "Поиск решения" изменяет значения в ячейках переменных решения согласно пределам ячеек ограничения и выводит результат в целевой ячейке.

Более подробно об использовании надстройки MSExcel "Поиск решения" на примере параметризации модели формирования стока.

В начале были взяты фактические данные по осадкам и расходам. Далее посчитаны прогнозные расходы со случайными характеристиками  $k$  и  $t$ . После вычислены абсолютные отклонения фактических значений от прогнозных, найдена их сумма. И уже значение этой суммы являлось целевой ячейкой, которую нужно было оптимизировать, приводом к минимальному значению из возможных.

В поле "Оптимизировать целевую функцию" вводится ссылка на ячейку. Целевая ячейка обязательно должна содержать формулу. Здесь целевой ячейкой является сумма абсолютных отклонений –  $\sum|\delta|$ . Далее выбираем одно из действий, чтобы значение в целевой ячейке было конкретным, максимальным или минимальным из возможных, в нашем случае минимальным.

Далее в поле “Изменяя ячейки переменных” вводим диапазон ячеек переменных, необходимый для решения. У нас это две ячейки, параметризующие  $k$  и  $\tau$ . Ячейки переменных должны быть прямо или косвенно связаны с целевой ячейкой.

В поле “В соответствии с ограничениями” вводим любые нужные ограничения. У нас это  $k < 0,7$ .

После нажимаем “Найти решение” и, если оно нас устраивает, выбираем “Сохранить найденное решение”.

#### 2.4 Оценка оправдываемости прогнозов по критерию $S/\sigma$

Оценка эффективности методики прогнозирования позволяет установить возможность ее практического применения. При оценке эффективности методики и оправдываемости прогнозов требуется выполнение двух условий:

- 1) должна быть соблюдена объективность системы оценки прогнозов;
- 2) необходимо иметь возможность проводить сравнительную оценку.

Выполнение первого условия способствует совершенствованию методик прогнозирования, а второе условие позволяет выявить среди большого числа методик наиболее эффективные.

Здесь  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение прогнозируемого значения элемента от среднего:

$$\frac{S}{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}$$

где  $y_i$  — значение прогнозируемой величины;  $\bar{y}$  (штрих) — её среднее значение;  $n$  — число членов ряда.

Мерой точности методики прогнозирования является средняя квадратическая погрешность проверочных прогнозов, вычисляемая по формуле:

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

где  $y_i$  и  $y'_i$  – соответственно фактическое и предсказанное значения;  $n$  – число членов ряда;  $m$  – число степеней свободы, равное числу постоянных в прогностическом уравнении.

Исходя из того, что распределение погрешностей прогнозов и распределение отклонений гидрологических величин от нормы близки к нормальному, за критерий применимости и качества методики принято отношение  $S/\sigma$  и  $S/\sigma$ . Эти отношения являются показателями эффективности и точности прогнозирования, ибо показывают выигрыш в распределении погрешностей, который дает метод прогнозирования по сравнению с распределением погрешностей при принятии ожидаемой величины по ее норме или норме изменения за период заблаговременности прогноза.

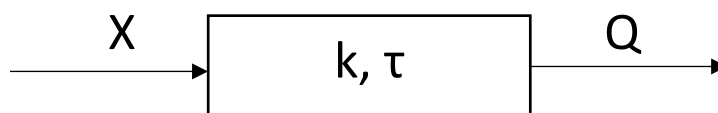
Методика прогнозирования считается приемлемой, если обеспеченность допустимой погрешности проверочных прогнозов не менее чем на 10 % превышает обеспеченность вероятного отклонения от нормы. Учитывая, что погрешности определения  $S$  и  $\sigma$  зависят также и от числа членов ряда и, установлены следующие условия применимости методик прогнозирования [3]:

В нашем случае, когда длина ряда  $n$  превышает 25, тогда  $S/\sigma \leq 0,8$ . Так получается в большинстве случаев, но не всегда, иногда соотношение превышает допустимые пределы. Это можно посмотреть в приложении 8.

### 3. Системное моделирование гидрологических процессов

Системное моделирование выполнено методом стыковки результатов моделирования формирования стока (притоки в озеро).

В модели формирования стока входными данными были осадки, операторами  $k$  и  $\tau$ , а выходными значения расхода речного стока. Наглядно на схеме ниже.



Так для всех пяти рассматриваемых рек (Мста, Шелонь, Ловать, Пола, Полисть).

После произведена стыковка моделей, где для модели водоёма входными данными стали выходные данные моделей формирования стока рек. Выходными данными стали прогнозные уровни озера Ильмень. Наглядно ниже на схеме. [4]



## Выводы

В ходе работы были собраны и обработаны данные об уровнях озера Ильмень – пост. Коростынь за 2008-2019 гг. Расходы воды за тот же временной период на крупнейших притоках озера: реках – Мста – д. Девкино, Пола – д. Налючи, Ловать – г. Холм, Шелонь – д. Заполье, Полисть – д. Утушкино.

В качестве метеорологической информации были взяты данные об осадках и температуре на ближайших к исследуемым водным объектам метеостанциях – г. Старая Русса, г. Бологое, г. Тихвин, г. Великие Луки, г. Торопец за 2008-2019 гг.

Было реализовано создание модели формирования стока без корректировки. Решение обратной задачи, а именно выполнение параметризации модели формирования стока за 2008-2019 гг., с определением численных значений параметров модели  $k$  и  $\tau$  с оценкой согласия фактических и расчетных параметров по критерию  $S/\sigma$  по рекам в пределах Ловать – 0,09-1,18; Мста – 0,11-1,17; Шелонь – 0,25-2,50; Пола – 0,06-1,19; Полисть – 0,12-0,94.

Выполнены поверочные прогнозы по модели формирования стока для двух лет (2018-2019) с  $S/\sigma$  в неудовлетворительных пределах, что говорит о неэффективности методики прогнозирования в данном ключе и требуется использование модели II-го порядка.

Выполнено решение обратной задачи, а именно параметризация водоёма за 2008-2019 гг., с определением численных значений параметра  $k_{\text{морф}}$  с оценкой согласия фактических и расчётных параметров по критерию  $S/\sigma$  в пределах 0,08-2,87.

Выполнены поверочные прогнозы по модели водоёма для двух лет (2018-2019) с  $S/\sigma$  в неудовлетворительных пределах, что говорит о

неэффективности методики прогнозирования в данном ключе и требуется использование модели II-го порядка.

Выполнена стыковка моделей формирования стока и водоёма – использование при прогнозе уровней оз. Ильмень прогнозных значений внешних воздействий (стока рек, впадающих в него).

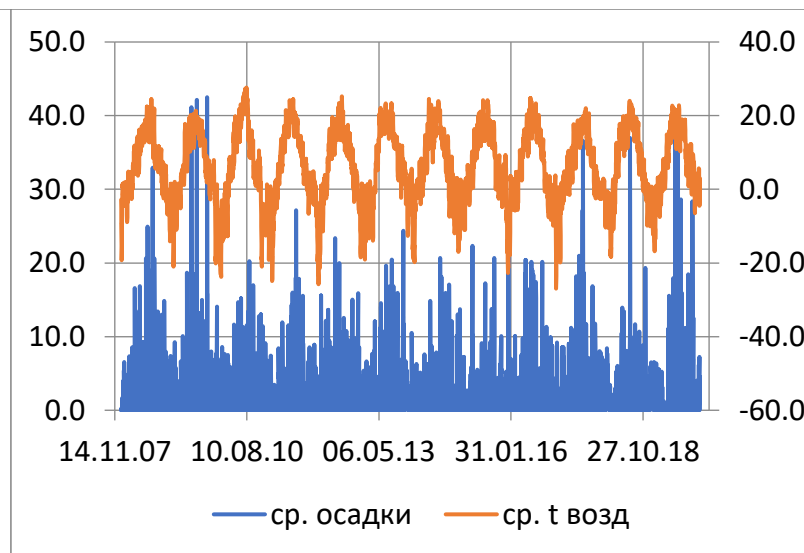
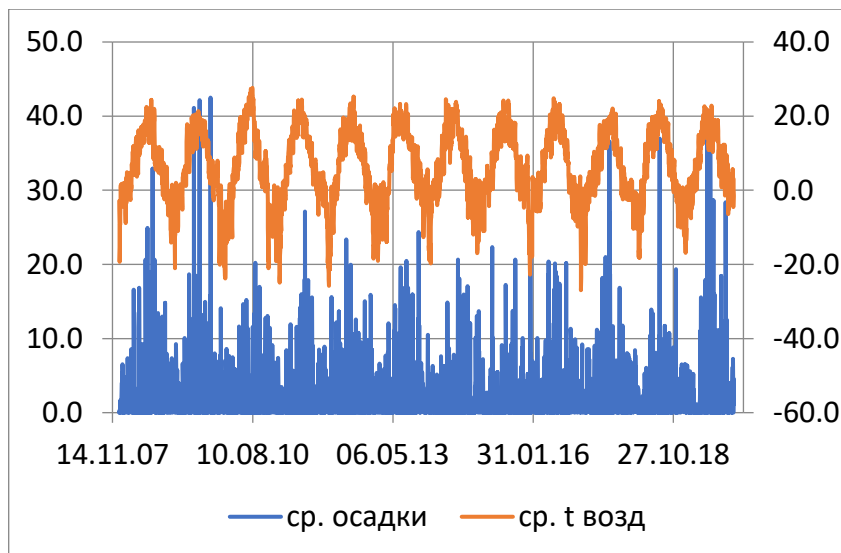
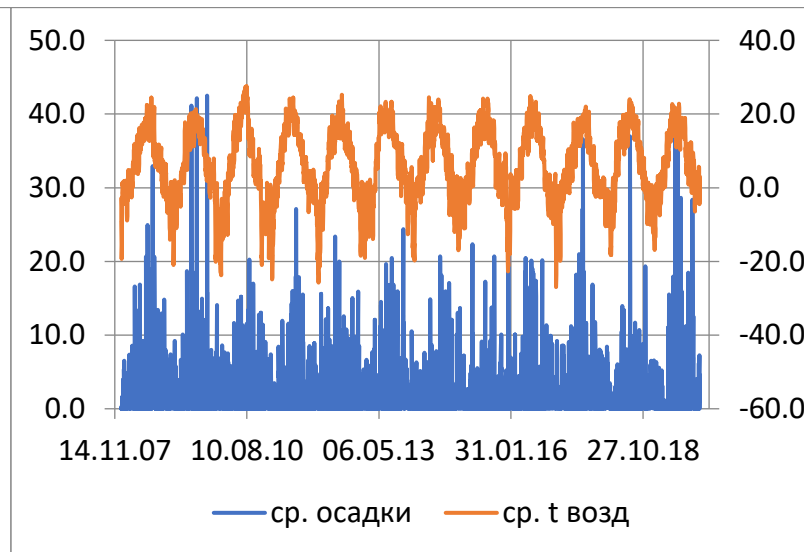
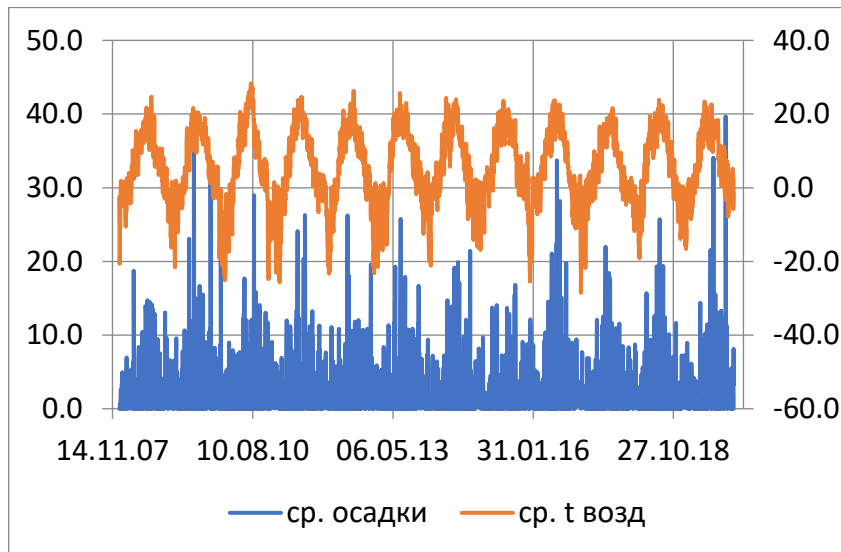
По критерию  $S/\sigma$  сделан вывод об условиях применимости системного моделирования для оз. Ильмень – прогнозные значения стока хорошо описывают ситуацию на озере, однако этого недостаточно для построения рабочей модели.

#### Использованные источники

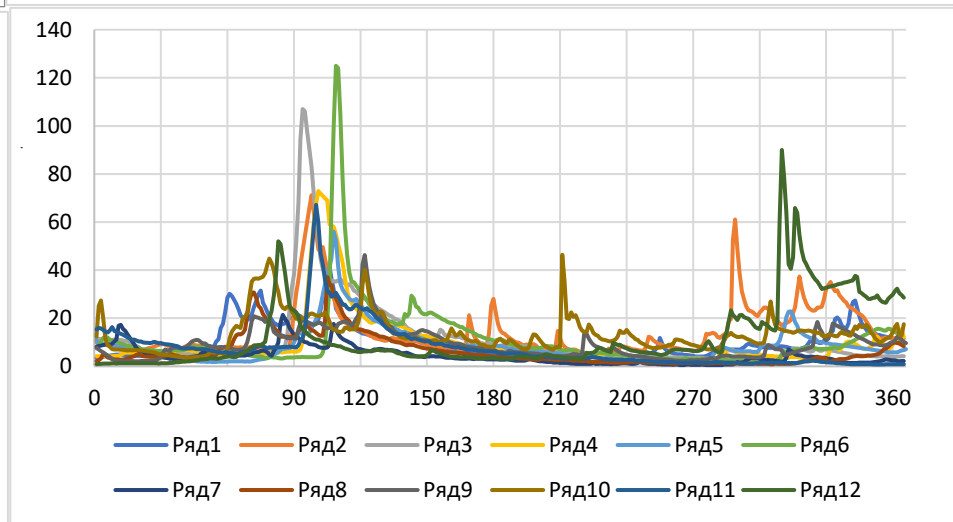
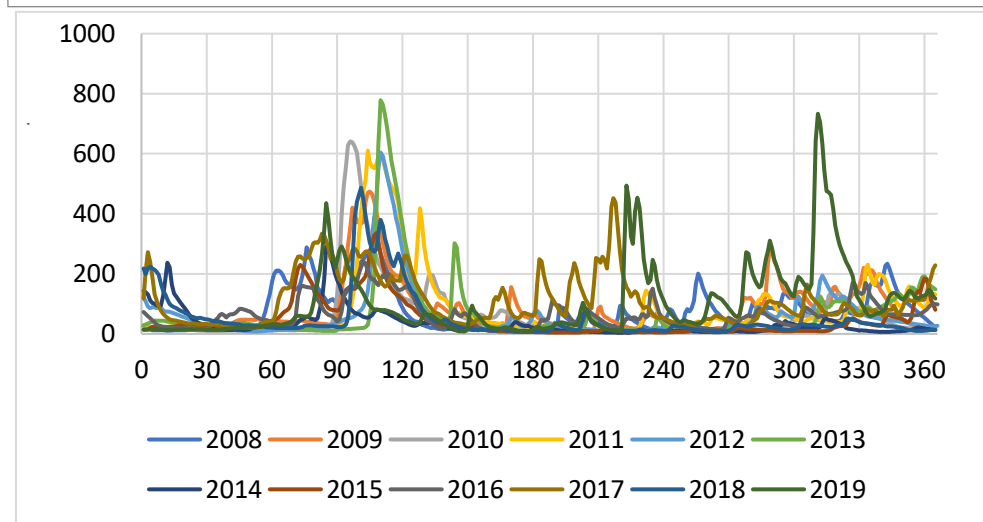
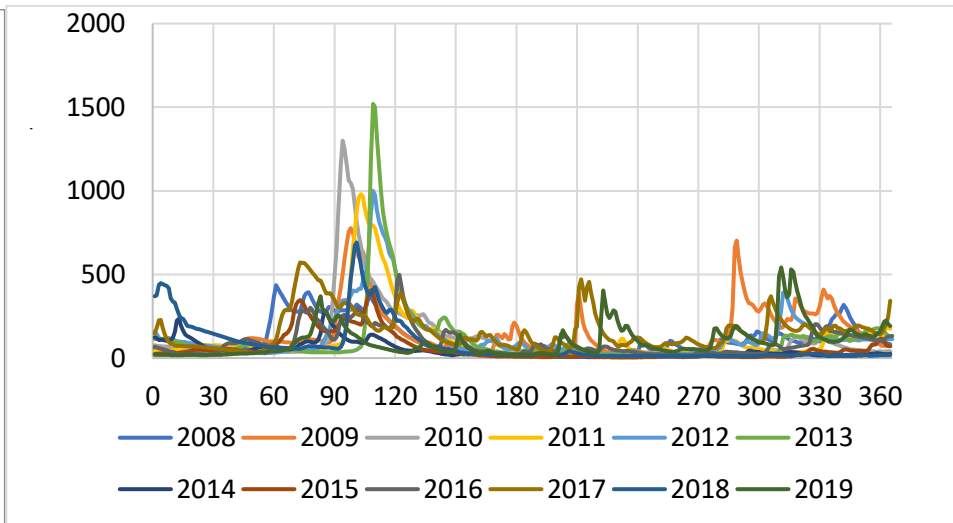
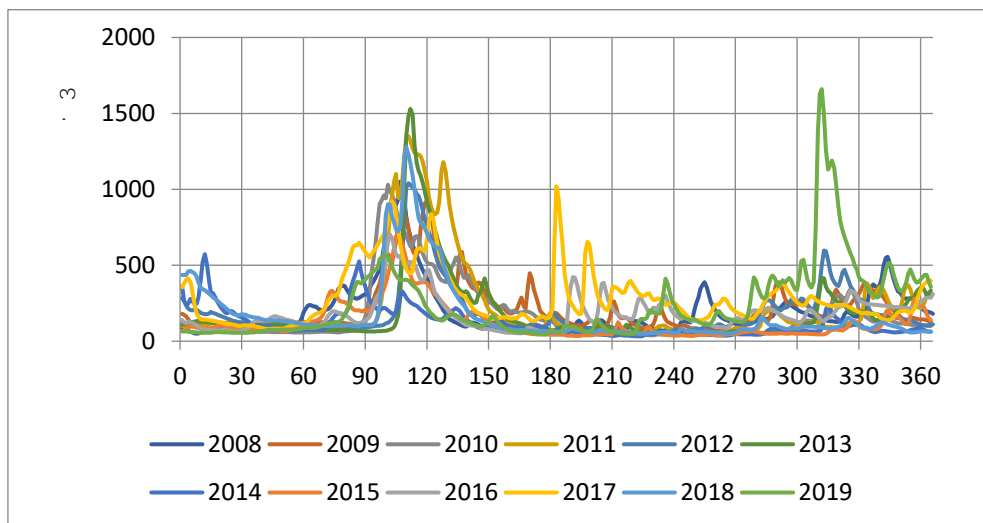
1. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. Учебник. - СПб., изд. РГГМУ, 2007 г. – 436 с.
2. Коваленко В. В., Гайдукова Е. В. Практикум по дисциплине «Моделирование гидрологических процессов. Часть I. Динамические модели» (на базе языка C++). Учебное пособие. - СПб.: изд. РГГМУ, 2010. - 147 с.
3. Коваленко В. В., Викторова Н. В., Гайдукова Е. В. Моделирование гидрологических процессов. Учебник. – Изд. 2-е, испр. и доп. – СПб.: изд. РГГМУ, 2006. – 559 с.
4. Гидрологические прогнозы. Конспект лекций / Гайдукова Е.В., Викторова Н.В. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2021. – 92 с.



Осреднённые значения осадков и температуры за 2008-2019 гг. для рек – (слева направо) Мста, Ловать, Пола, Полюсь.



Типовой гидрограф за 2008-2019 гг. для рек – (слева направо) Мста, Ловать, Пола, Полисть



Графики параметризации расхода воды на р. Шелонь – д. Заполье за июнь-октябрь соответственно 2008 г

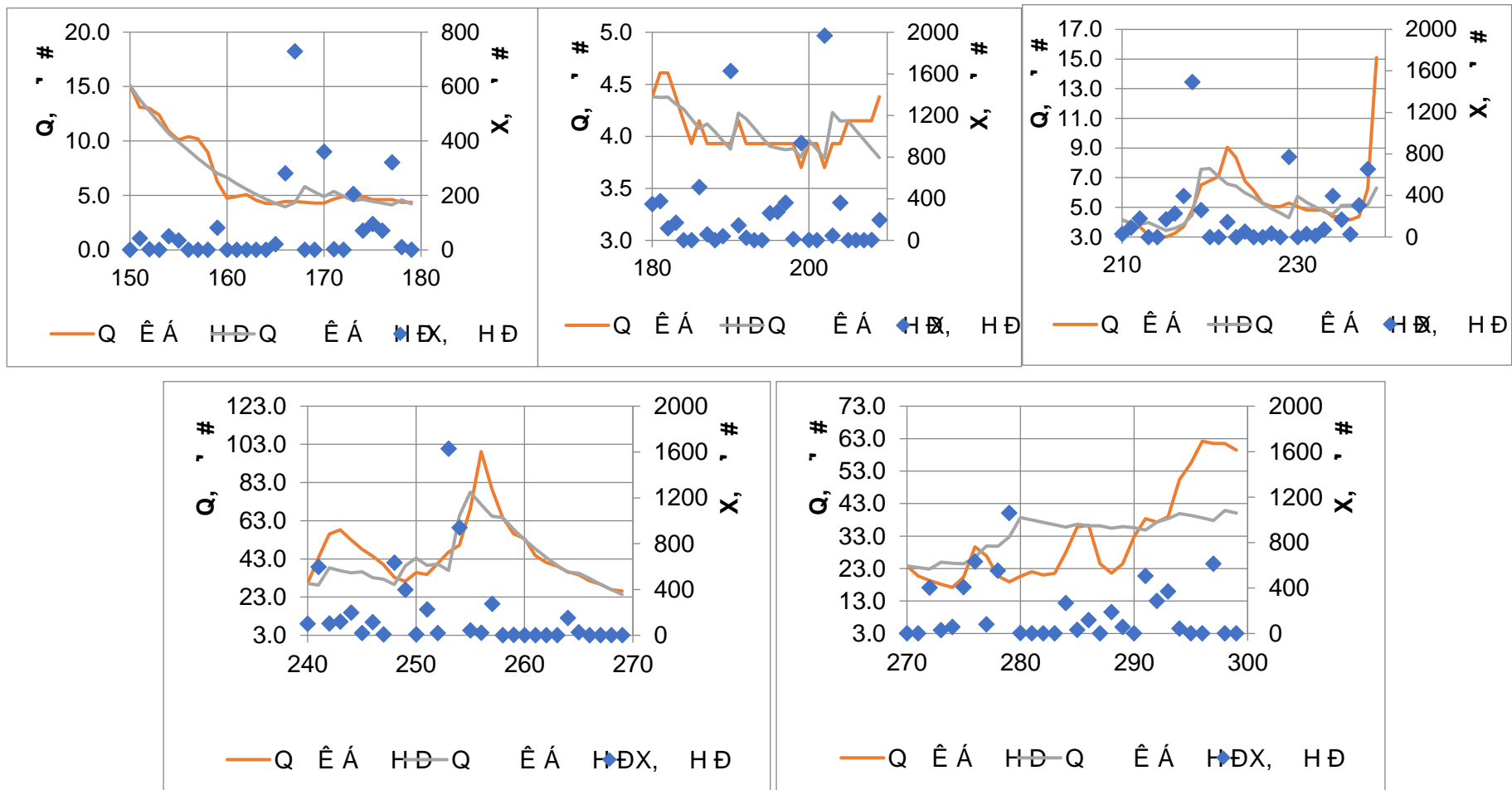
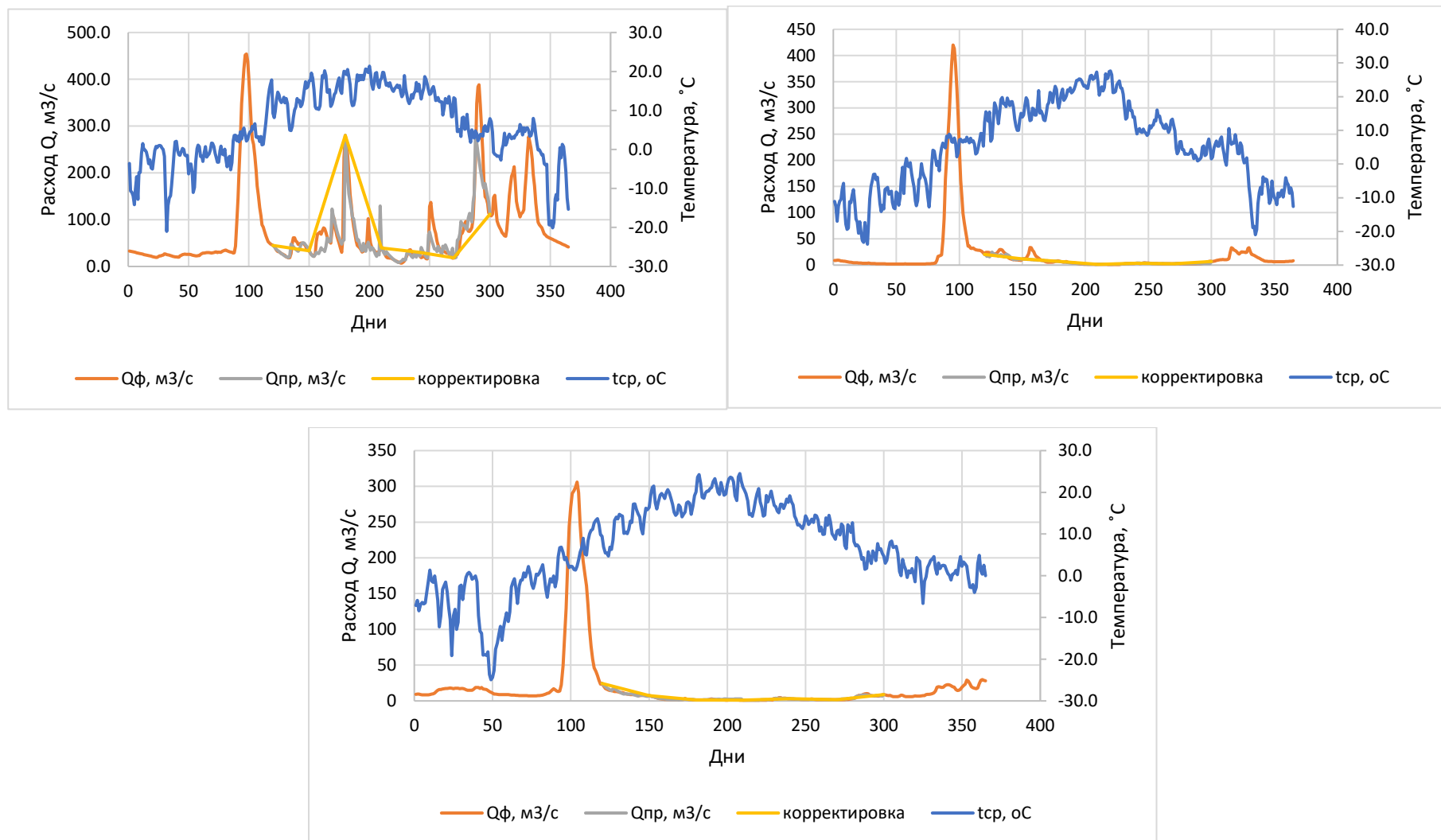
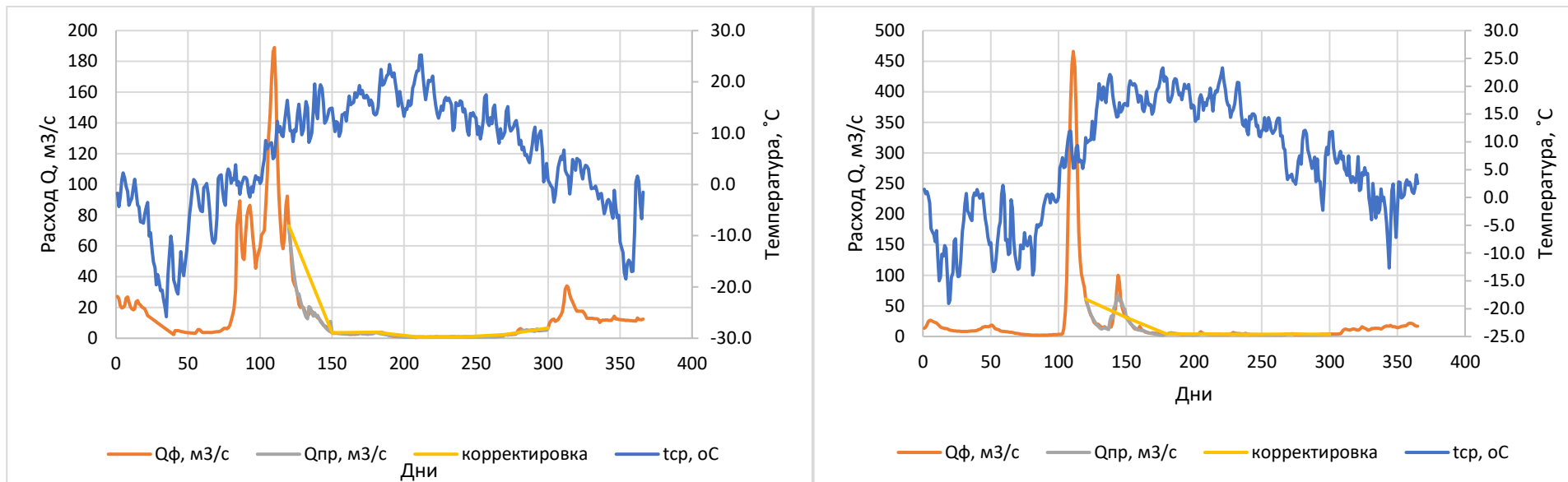
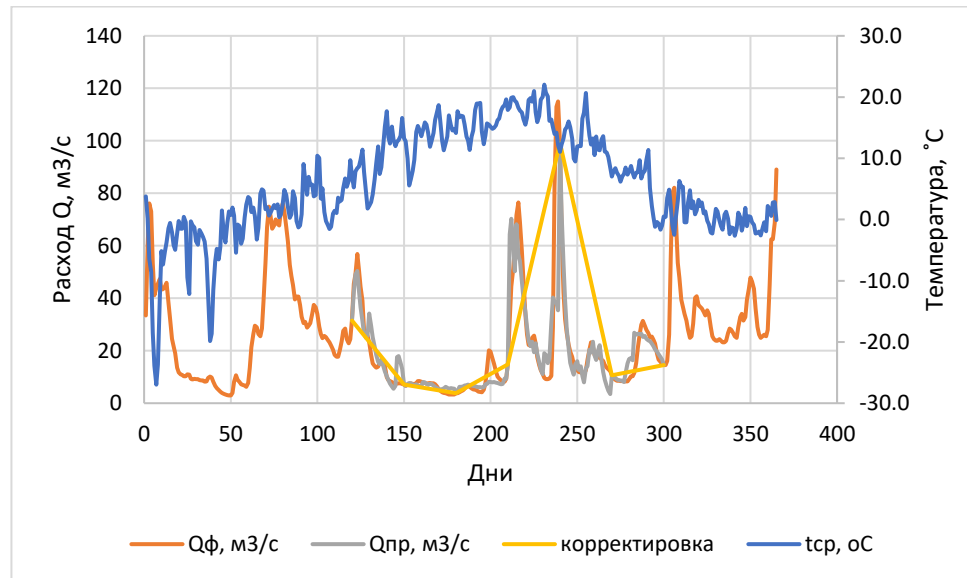
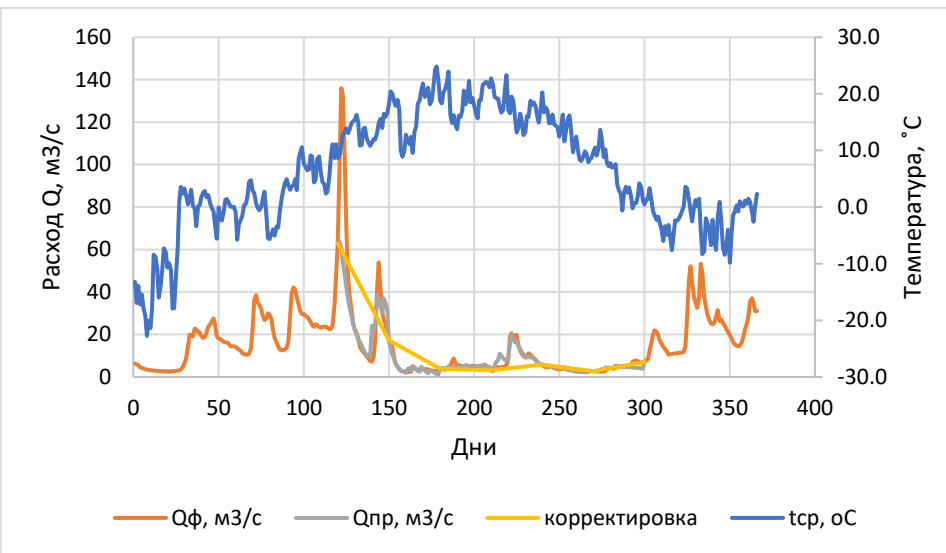
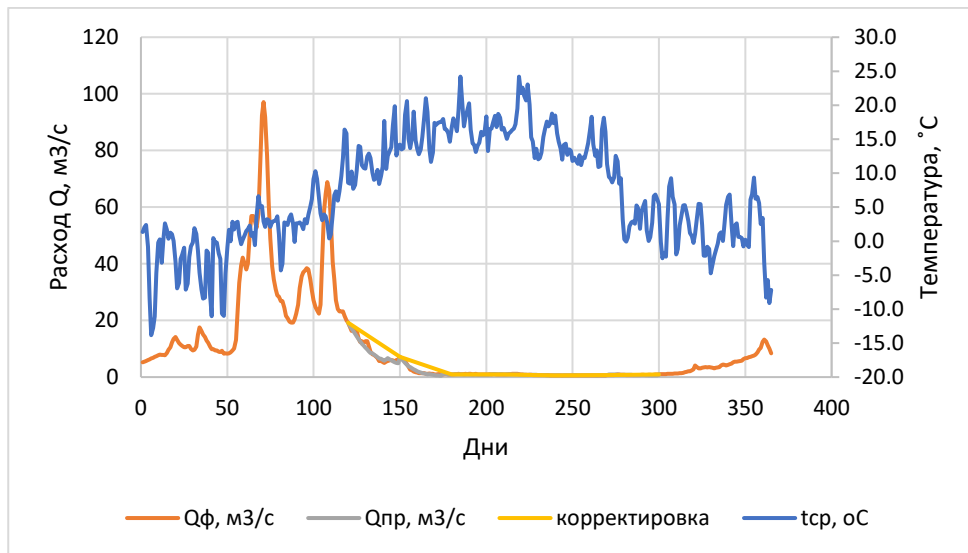
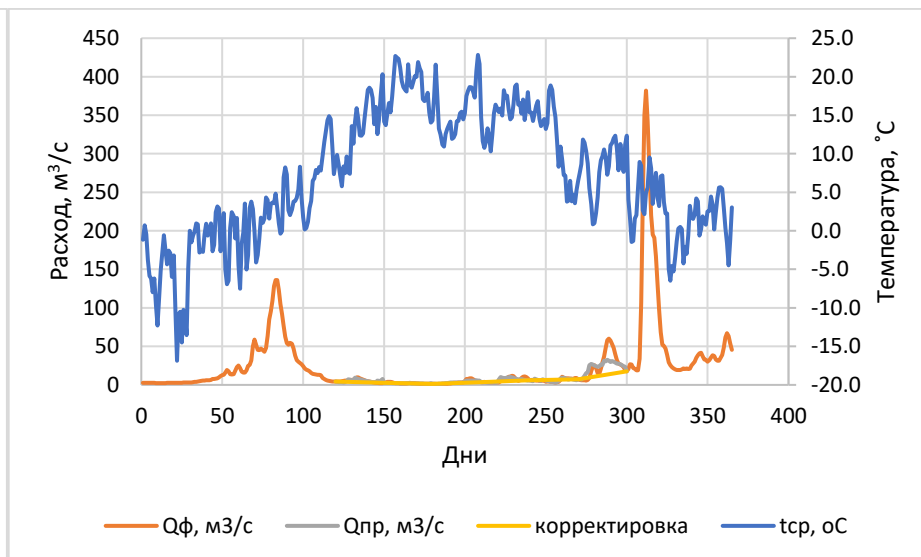


График параметризации р. Шелонь – д. Заполье за 2009-2019 гг.









Приложение 5

Ход изменения значений параметров  $k$  и  $\tau$  за тёплый период за 2008-2019 гг. на реках – (слева направо) Шелонь, Мста, Ловать, Пола, Полисть

k															
года	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
дни															
120	0,081	0,264	0,068	0,047	0,097	0,134	0,315	0,029	0,090	0,143	0,002	0,035	0,002	0,109	0,315
150	0,030	0,182	0,004	0,009	0,009	0,017	0,018	0,009	0,017	0,020	0,006	0,008	0,004	0,028	0,182
180	0,012	0,174	0,001	0,020	0,000	0,016	0,000	0,006	0,016	0,042	0,022	0,053	0,000	0,030	0,174
210	0,032	0,104	0,039	0,013	0,005	0,021	0,004	0,007	0,046	0,105	0,005	0,023	0,004	0,034	0,105
240	0,211	0,288	0,010	0,005	0,008	0,052	0,004	0,004	0,011	0,067	0,007	0,040	0,004	0,059	0,288
270	0,313	0,476	0,027	0,066	0,039	0,044	0,044	0,008	0,073	0,153	0,014	0,152	0,008	0,118	0,476

$\tau$															
года	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
дни															
120	18,174	14,656	7,055	10,432	6,639	7,387	5,025	15,605	8,426	6,784	8,530	12,024	5,025	10,061	18,174
150	11,819	7,833	48,941	10,163	31,638	8,547	14,034	8,079	4,461	13,841	14,840	24,705	4,461	16,575	48,941
180	45,249	5,317	16,208	50,000	14,592	15,120	28,716	50,000	40,638	40,000	50,000	99,424	5,317	37,939	99,424
210	14,101	7,577	99,713	29,878	40,000	42,500	18,118	33,987	8,820	5,817	21,646	12,619	5,817	27,898	99,713
240	10,730	6,442	26,691	20,940	28,694	44,543	13,723	49,661	23,876	3,737	50,000	9,430	3,737	24,039	50,000
270	50,000	11,637	79,713	31,410	25,379	24,694	5,903	50,000	50,000	17,888	50,000	22,718	5,903	34,945	79,713

k															
года	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
дни															
120	0,197	0,400	0,481	0,020	0,177	0,121	0,308	0,166	0,035	0,180	0,050	0,136	0,020	0,209	0,481
150	0,066	0,229	0,117	0,087	0,087	0,105	0,085	0,076	0,085	0,154	0,075	0,067	0,066	0,109	0,229
180	0,153	0,128	0,090	0,084	0,087	0,077	0,029	0,077	0,326	0,393	0,074	0,099	0,029	0,144	0,393



210	0,116	0,146	0,068	0,079	0,094	0,063	0,081	0,136	0,173	0,180	0,068	0,282	0,063	0,114	0,180
240	0,287	0,000	0,097	0,074	0,211	0,165	0,090	0,104	0,096	0,256	0,133	0,177	0,000	0,138	0,287
270	0,700	0,311	0,150	0,284	0,606	0,197	0,128	0,208	0,493	0,524	0,303	0,570	0,128	0,360	0,700
года															
дни	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
120	11,273	12,556	20,130	26,025	14,993	16,143	10,858	16,406	15,643	19,375	16,595	22,385	10,858	16,340	26,025
150	25,772	9,123	21,774	16,545	25,395	12,246	15,622	17,064	26,332	53,897	24,580	15,355	9,123	22,377	53,897
180	20,150	19,252	18,386	8,025	16,052	26,955	30,460	36,609	40,000	4,023	65,863	10,266	4,023	21,991	40,000
210	19,843	11,332	28,052	31,055	31,899	26,958	35,291	14,041	12,828	44,320	35,543	40,000	11,332	25,562	44,320
240	11,616	46,650	47,875	20,593	40,000	40,000	30,581	40,000	22,874	14,997	29,718	12,711	11,616	31,519	47,875
270	78,239	22,335	27,496	15,551	43,511	38,887	21,231	81,723	28,520	23,882	29,907	23,085	15,551	38,137	81,723

к															
года															
дни	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
120	0,066	0,119	0,306	0,363	0,345	0,221	0,122	0,112	0,197	0,331	0,053	0,185	0,066	0,218	0,363
150	0,044	0,162	0,160	0,041	0,127	0,050	0,057	0,023	0,053	0,184	0,042	0,034	0,023	0,090	0,184
180	0,069	0,061	0,002	0,027	0,154	0,089	0,020	0,027	0,138	0,142	0,074	0,168	0,002	0,073	0,154
210	0,043	0,064	0,030	0,055	0,051	0,044	0,018	0,019	0,060	0,284	0,038	0,245	0,018	0,067	0,284
240	0,137	0,079	0,066	0,078	0,085	0,062	0,039	0,037	0,049	0,204	0,044	0,110	0,037	0,084	0,204
270	0,362	0,446	0,130	0,210	0,323	0,081	0,089	0,035	0,116	0,430	0,046	0,300	0,035	0,222	0,446
года															
дни	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
120	17,209	16,398	12,595	13,338	11,068	11,939	12,381	13,396	13,961	20,000	14,607	19,123	11,068	14,229	20,000
150	17,213	16,841	9,196	12,853	13,638	12,603	40,000	16,586	9,072	9,905	14,823	18,283	9,072	15,791	40,000
180	9,350	5,861	26,802	25,037	11,250	20,437	18,345	24,564	26,253	6,780	42,437	40,000	5,861	17,468	26,802
210	14,154	6,741	50,487	9,002	8,332	9,782	29,649	12,884	23,044	6,229	13,933	9,311	6,229	17,031	50,487

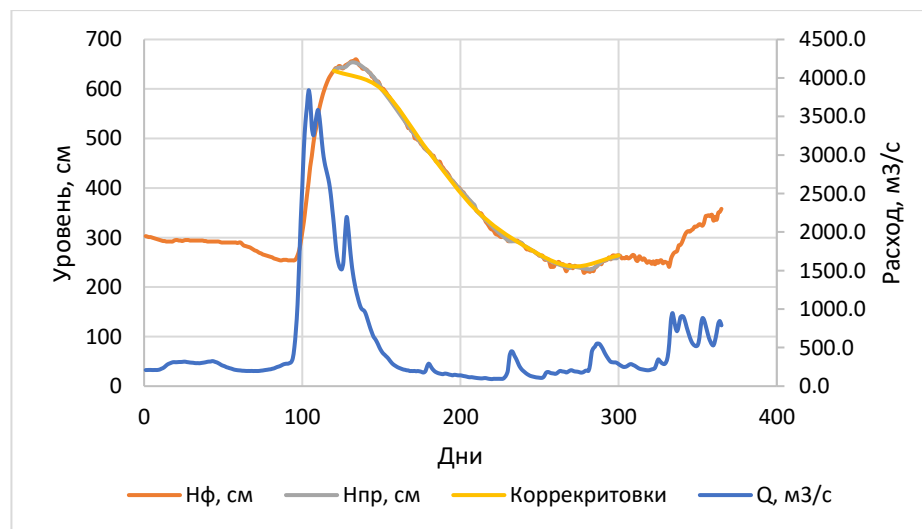
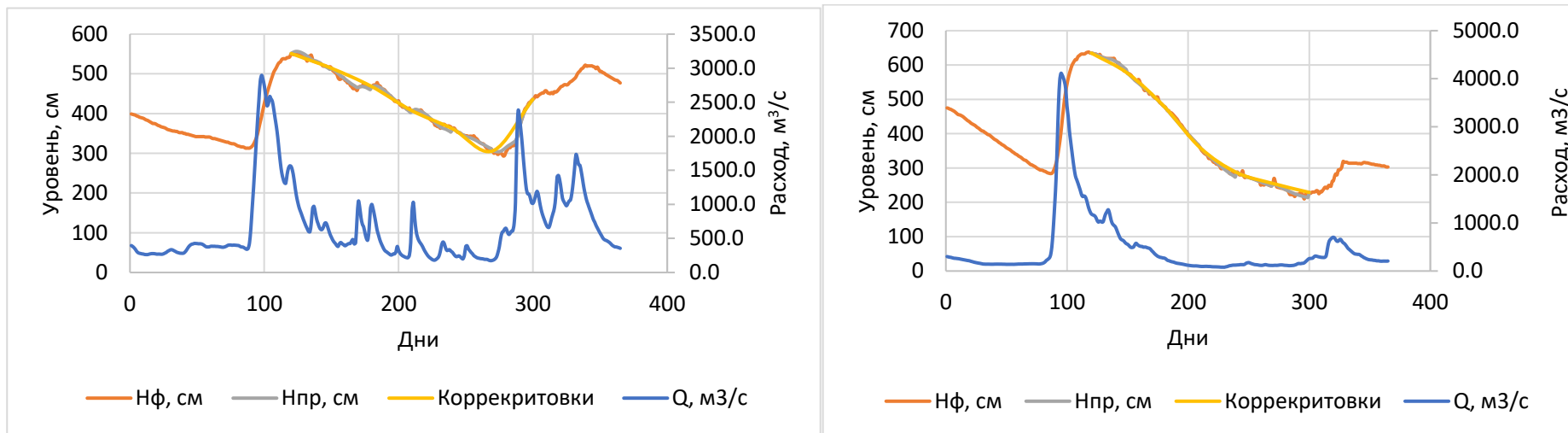
240	10,620	21,248	35,474	10,332	17,977	19,881	47,038	30,303	31,328	13,683	66,217	10,604	10,332	23,788	47,038
270	30,118	12,168	40,000	12,502	30,000	58,299	26,081	20,662	38,310	15,000	48,809	14,035	12,168	28,314	58,299

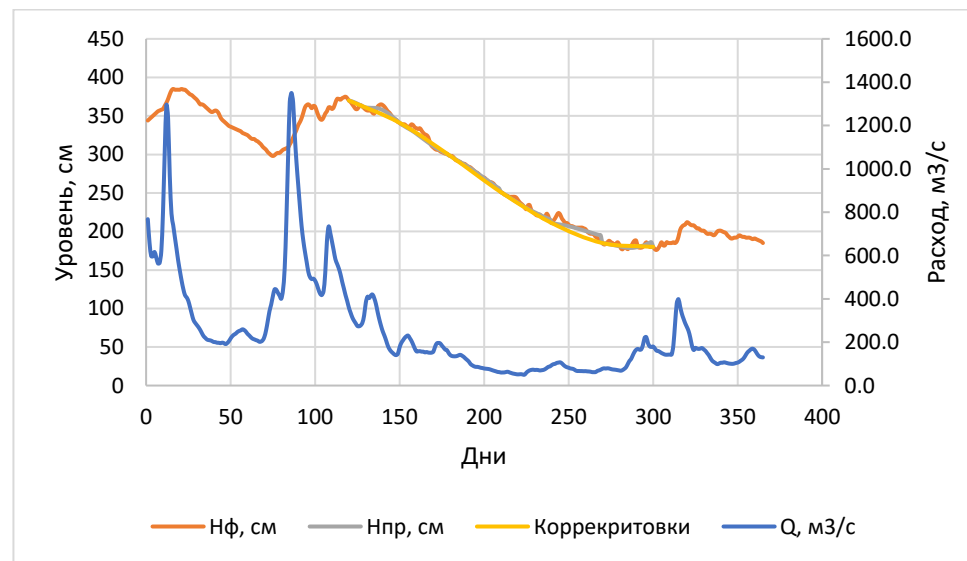
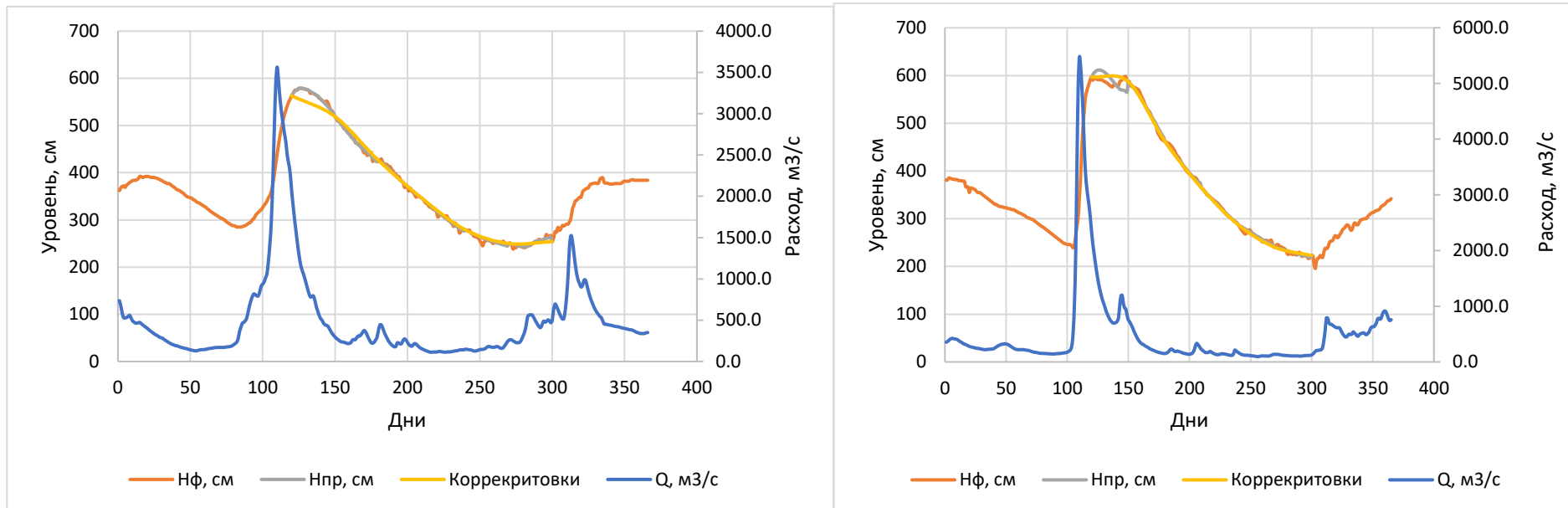
к															
года	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
дни	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
120	0,046	0,454	0,492	0,289	0,199	0,399	0,260	0,139	0,191	0,265	0,071	0,210	0,046	0,273	0,492
150	0,000	0,184	0,240	0,044	0,133	0,035	0,128	0,058	0,056	0,303	0,058	0,009	0,000	0,118	0,303
180	0,284	0,074	0,017	0,044	0,053	0,243	0,031	0,044	0,182	0,564	0,131	0,197	0,017	0,154	0,564
210	0,164	0,243	0,048	0,204	0,059	0,057	0,031	0,128	0,172	0,191	0,109	0,787	0,031	0,130	0,243
240	0,522	0,098	0,046	0,130	0,092	0,098	0,070	0,108	0,071	0,243	0,165	0,434	0,046	0,148	0,522
270	0,700	0,473	0,158	0,499	0,496	0,114	0,197	0,196	0,490	0,859	0,269	0,931	0,114	0,418	0,859
года	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
дни	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
120	9,088	12,072	8,205	14,721	8,815	7,584	9,615	12,063	8,918	10,568	9,426	10,091	7,584	10,165	14,721
150	46,195	8,094	8,734	25,568	42,965	9,142	40,000	18,139	5,535	16,430	15,355	49,935	5,535	22,080	46,195
180	28,759	9,720	11,666	8,173	11,528	30,531	18,435	16,009	6,477	5,638	11,546	20,476	5,638	14,694	30,531
210	9,481	7,585	13,349	10,059	12,965	9,240	19,439	11,436	40,000	16,161	8,151	6,861	7,585	14,972	40,000
240	8,729	8,551	42,136	6,799	14,383	10,994	33,944	47,463	17,659	13,840	14,370	6,445	6,799	20,450	47,463
270	27,528	9,250	40,000	10,300	24,067	34,436	19,783	26,652	15,254	36,234	17,527	12,058	9,250	24,351	40,000

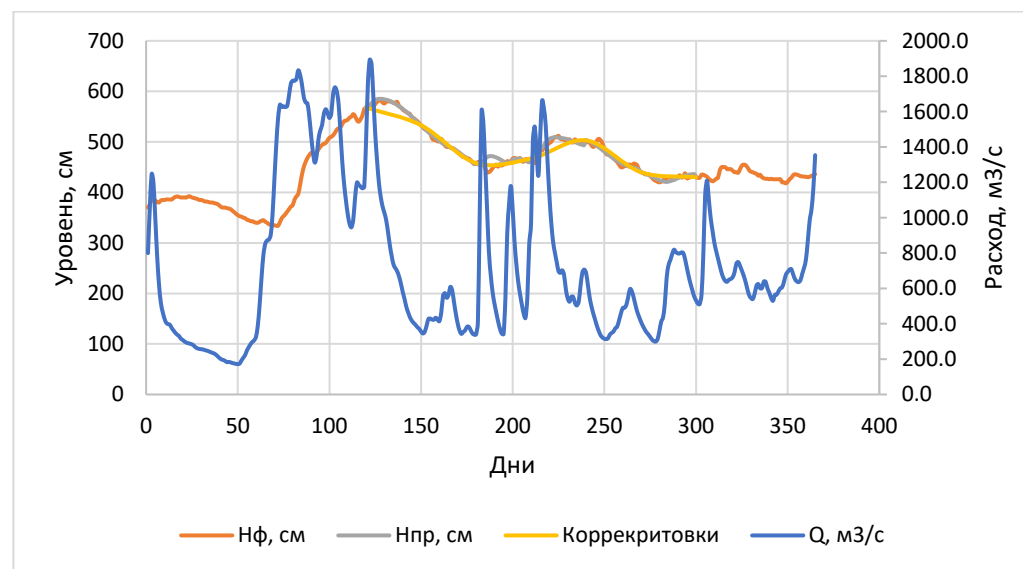
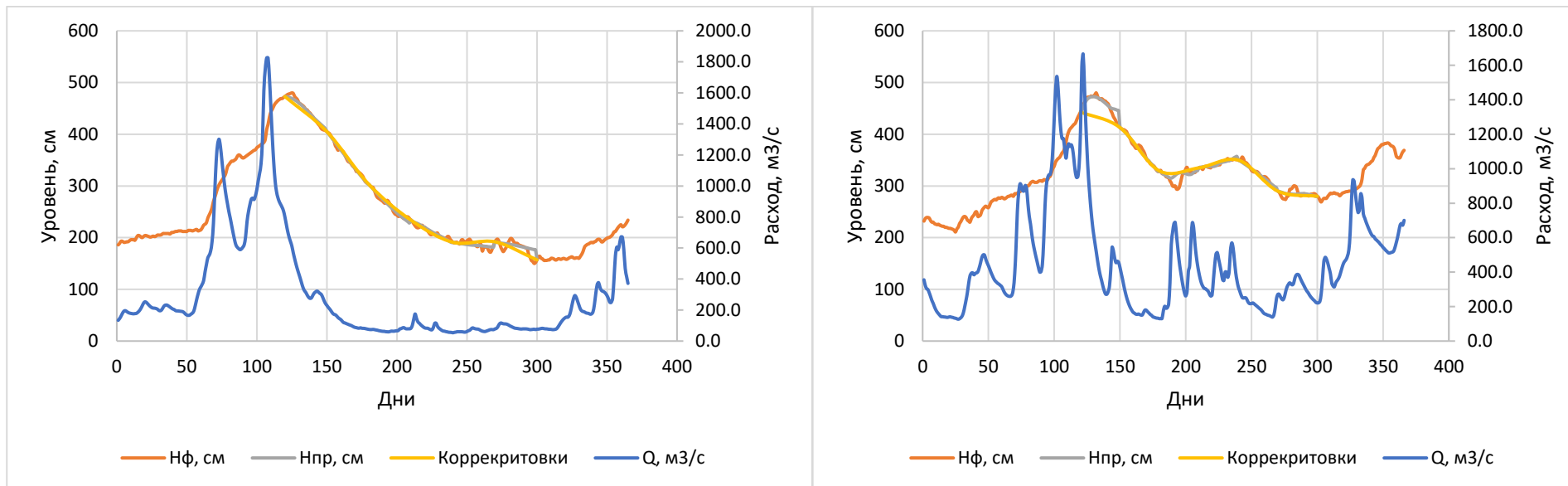
к															
года	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
дни	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
120	0,101	0,193	0,191	0,242	0,317	0,316	0,232	0,015	0,152	0,445	0,109	0,124	0,015	0,220	0,445
150	0,066	0,143	0,177	0,000	0,058	0,000	0,000	0,033	0,069	0,180	0,060	0,032	0,000	0,073	0,180
180	0,053	0,149	0,170	0,088	0,066	0,095	0,029	0,028	0,023	0,147	0,004	0,067	0,023	0,085	0,170

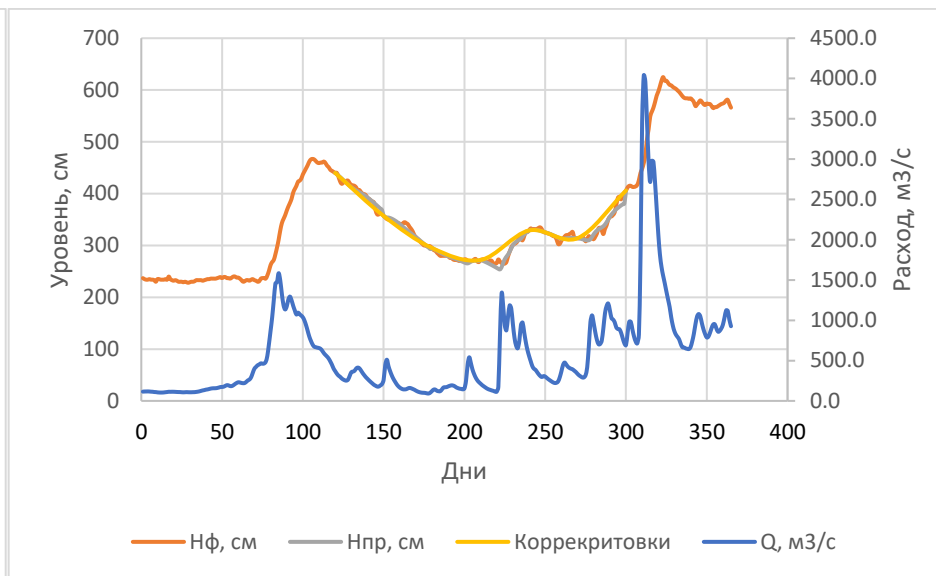
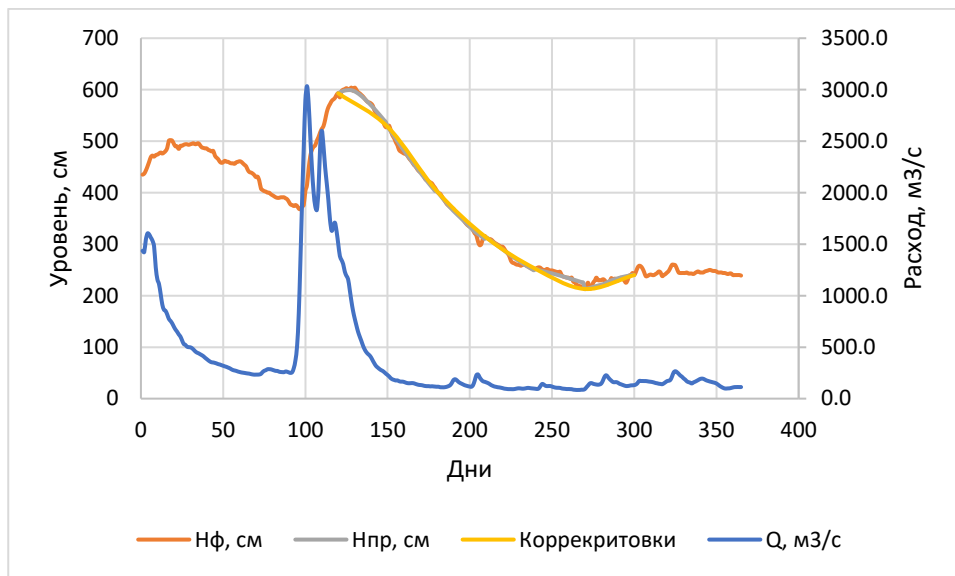
210	0,063	0,145	0,029	0,046	0,001	0,039	0,016	0,008	0,146	0,230	0,123	0,125	0,001	0,072	0,230
240	0,137	0,273	0,026	0,029	0,054	0,083	0,019	0,035	0,038	0,202	0,016	0,163	0,019	0,090	0,273
270	0,390	0,307	0,082	0,152	0,188	0,000	0,057	0,000	0,362	0,359	0,044	0,581	0,000	0,190	0,390
года															
дни	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Наим		Наиб
120	58,267	29,451	20,989	36,571	21,522	24,114	20,514	41,360	23,798	11,265	26,877	21,332	11,265	28,785	58,267
150	44,697	21,658	27,341	49,669	47,538	49,278	66,767	50,339	27,169	14,680	39,503	60,653	14,680	39,914	66,767
180	39,735	7,328	53,671	40,000	41,698	35,078	49,543	50,464	45,669	15,391	47,225	39,241	7,328	37,858	53,671
210	30,472	11,495	66,912	41,764	44,428	52,235	26,653	44,535	17,839	12,553	40,000	40,000	11,495	34,889	66,912
240	15,580	16,760	82,581	37,477	51,909	39,842	24,222	54,769	28,077	13,919	42,687	16,666	13,919	36,514	82,581
270	67,933	9,473	94,757	17,226	13,102	77,720	19,613	73,189	76,400	26,161	41,602	40,000	9,473	47,557	94,757

Графики параметризации оз. Ильмень – пост. Коростынь за 2009-2019 гг.









Ход изменения значения параметра  $k_{\text{морф}}$  за тёплый период за 2008-2019 гг.

120	2008	0,011049	120	2012	0,010578	120	2016	0,008555
150		0,011788	150		0,010475	150		0,011492
180		0,011103	180		0,011274	180		0,009198
210		0,012541	210		0,010802	210		0,005953
240		0,007059	240		0,009657	240		0,010303
270		0,011723	270		0,011705	270		0,009819
120	2009	0,011131	120	2013	0,011597	120	2017	0,010404
150		0,010212	150		0,010996	150		0,010323
180		0,010522	180		0,010246	180		0,009253
210		0,011433	210		0,011166	210		0,00884
240		0,010457	240		0,009222	240		0,00982
270		0,006723	270		0,007716	270		0,008497
120	2010	0,010624	120	2014	0,008176	120	2018	0,009538
150		0,010676	150		0,008718	150		0,011232
180		0,011667	180		0,008204	180		0,012002
210		0,011592	210		0,007718	210		0,010917
240		0,009327	240		0,00647	240		0,007689
270		0,011256	270		0,006569	270		0,00191
120	2011	0,011245	120	2015	0,010484	120	2019	0,010772
150		0,010555	150		0,012253	150		0,011018
180		0,011279	180		0,011957	180		0,009489
210		0,011636	210		0,011061	210		0,010653
240		0,011253	240		0,005398	240		0,009765
270		0,009335	270		0,007838	270		0,009736



Отношение S/σ параметризации модели водоёма (оз. Ильмень) за 2008-2019 гг.

120	2008	0,19	120	2012	0,18	120	2016	0,59
150		0,11	150		0,13	150		0,17
180		0,14	180		0,15	180		1,01
210		0,45	210		0,21	210		0,42
240		0,34	240		0,55	240		0,22
270		0,66	270		0,36	270		1,12
120	2009	0,53	120	2013	2,87	120	2017	0,31
150		0,42	150		0,16	150		0,14
180		0,14	180		0,17	180		1,66
210		0,36	210		0,08	210		0,43
240		0,22	240		0,45	240		0,35
270		0,14	270		0,46	270		0,84
120	2010	0,23	120	2014	0,66	120	2018	0,19
150		0,15	150		0,35	150		0,16
180		0,11	180		0,08	180		0,20
210		0,23	210		0,25	210		0,25
240		0,29	240		0,59	240		0,45
270		0,50	270		1,12	270		1,10
120	2011	0,20	120	2015	0,20	120	2019	0,29
150		0,09	150		0,10	150		0,28
180		0,08	180		0,24	180		0,52
210		0,21	210		0,43	210		0,31
240		0,33	240		0,82	240		0,62
270		0,33	270		0,85	270		0,31