

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

Кафедра Гидрологии суши

# ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему	Закономерности многолетних
	колебаний водности
Исполнитель	Приступа Вячеслав Григорьевич
	(фамилия, имя, отчество)
Руководител	ь Доктор географических наук, профессор
	(ученая степень, ученое звание)
	Догановский Аркадий Михайлович
	(фамилия, имя, отчество)
«К защите до	опускаю»
Заведующий	кафедрой
	(подпись)
	к.г.н., доцент
	(ученая степень, ученое звание)

Санкт–Петербург 2016

«<u>LO</u>» <u>06</u> 20<u>/6</u>г.

Сикан Александр Владимирович (фамилия, имя, отчество)



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

Кафедра \_ Гидрологии суши

# ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему	Закономерности многолетних	
	колебаний водности	

исполнитель	1 приступа вячеслав г ригорьевич								
	(фамилия, имя, отчество)								
Руководитель Доктор географических наук, профессор									
	(ученая степень, ученое звание)								
	Догановский Аркадий Михайлович								
	(фамилия, имя, отчество)								
«К защите допу	скаю»								
Заведующий ка	Заведующий кафедрой								
	(подпись)								
	(ученая степень, ученое звание)								
	(фамилия, имя, отчество)								
« <u> </u> »	_20 Γ.								

Санкт–Петербург 2016

# Содержание

Введение	4
1. Физико-географическая характеристика Северо-Западного региона	
Российской Федерации	5
1.1 Территория и местоположение	.5
1.2 Рельеф на территории Северо-Запада Российской Федерации	.6
1.3 Почвенный покров на территории Северо-Запада Российской	
Федерации	7
1.4 Растительность	.8
1.5 Климат	9
1.6 Изменение климата на планете.	10
2. Закономерности колебания циклов водности рек и озер Северо-	
Запада Российской Федерации	2
2.1 причины закономерности колебаний циклов водности	12
2.2 Гидрографическая сеть Северо-Запада	14
2.3 Описание водных объектов	16
2.4 Расчет основных характеристик	21
2.4.1 Реки	21
2.4.2 Озера	27
3. Применение методов исследования	31
3.1 Описание методов спектрального анализа и метода сглаживания	31
3.2 Применение метода спектрального анализа	33
3.2.1Спектральный анализ рек	3
3.2.2 Спектральный анализ уровней озер	ŀO
3.2.3 Общий вывод по результатам спектрального анализа рек и озер 4	ļ4
3.3 Гармонический анализ водности рек и озер	45
3.3.1 Гармонический анализ водности рек4	ŀ5
3.3.2 Гармонический анализ водности озер.Ладожское озеро 5	51
4. Общий анализ полученных результатов исследуемых рек и озер 5	55

Заключение	59
Список литературы	61
Приложения	Ошибка! Закладка не определена.61

#### Введение

В данной квалификационной работе «Закономерности многолетних колебаний водности» будут выявлены закономерности колебаний водности рек и озер Северо-Западного региона Российской Федерации, а также изменения колебаний водности рек и озер на фоне глобального потепления и изменения климата в регионе.

Для выполнения поставленной задачи, было выбрано 11 водных объектов (7 рек и 4 озера) на территории Северо-Запада России с максимальным периодом наблюдений на данный момент.

Основная цель данной работы: выделить циклы многоводности и маловодности, а также выявить закономерности колебаний водности рек и озер, на основе полученных результатов произвести оценку и выявить тенденции к изменению колебаний.

В данной работе будут выполнены следующие задачи:

- 1. Анализ собранных материалов на однородность;
- 2. Спектральный анализ гидрологического ряда;
- 3. Построение сглаженных гидрографов;
- 4. Установить влияние индекса Де-Мартона на уровень водности.
- 5. Оценка полученных результатов.

# 1. Физико-географическая характеристика Северо-Западного региона Российской Федерации

#### 1.1 Территория и местоположение



Рисунок 1.1 Карта Северо-Западного региона Российской Федерации.

Северо-западный Российской регион федерации охватывает следующие территории: Мурманскую, Архангельскую, Вологодскую, Ленинградскую, Новгородскую, Псковскую и Калининградскую, а также две республики: Карелия и Коми. Северо-запад занимает северную часть Восточной Европы площадью 1677 тыс.км<sup>2</sup>.(9.8% от всей территории РФ), включая острова Баренцева моря –Новую Землю(82 тыс.км<sup>2</sup>), Землю Франца Иосифа $(16 \text{ тыс.км}^2)$ , Колгуев  $(5.2 \text{ тыс.км}^2)$ и Вайгач  $(3.4 \text{ тыс.км}^2)$ . Калининградская область образует анклав, (15.1 тыс.км<sup>2</sup>), территориально обособленный от основной площади региона.[5]

Доля в промышленности составляет около 12% от общей промышленности Российской Федерации, в производстве сельскохозяйственной продукции – 6,2%. [5]

#### 1.2 Рельеф на территории Северо-Запада Российской Федерации

По характеру геологического строения территория разделяется на две области: Карелию и Северо-Запад.

Карелия характеризуется холмистым рельефом с множеством озер и рек, абсолютные отметки не превышают 200 метров, в то время как на Северо-Западе абсолютные высоты достигают 350-600 метров.

По рельефу Северо-Запад делится на две части:

- 1. Северо-Западная часть низменная;
- 2. Восточная, Юго-Восточная и Южная-возвышенная;

Северо-Западная часть расположена в пределах Прибалтийской низменности, уходящей на территорию Эстонии и Латвии, а на Севере и Северо-Востоке – в Карелию.[1]

Прибалтийская низменность - представляет собой равнину, на которой возвышенностей и понижений, которые ряд прослеживаются в общем рельефе. Абсолютные отметки от уровня моря составляют 50-100 метров, однако попадаются возвышенности, достигающие метров. К 300 такой возвышенности относится Центральная часть Карельского перешейка, Силурийское плато центральной части Ленинградской области, Лужская возвышенность, а также Судомская.[1]

Карельская возвышенность является моренной равниной, которая сильно расчленена речной сетью. По краю располагаются камовые холмы.

Силурийское (Ордовикское ) плато, вытянуто от реки Нарвы на западе до реки Сясь на востоке. Оно представляет возвышенную плоскую равнину. Наиболее большая и возвышенная, Ижорское плато. Высоты на западе Силурийского плато располагаются на 30-50 метрах, которые постепенно выравниваются и восточной части уже достигают 15 метров. [1]

# 1.3 Почвенный покров на территории Северо-Запада Российской Федерации

Главными процессами образования почвы на территории Северо-Запада являются подзолообразование и заболачивание, что обусловлено положением территории в зоне с холодным, влажным климатом, а также преобладанием лесной, преимущественно хвойной растительности. По характеру почвообразования территория может быть разделена на две зоны: северную и южную. Граница между ними проходит на широте Ладожского и Онежского озер.[1]

Главной почвообразующей породой являются ледниковые наносы, преимущественно неоднородные, грубые по механическому составу. Такая порода находится преимущественно в северной части. В южной части почва сильно отличается, и имеет различный состав — от песка до глины, что и определяет различие в механической части почв.[1]

Влагонасыщение почв за теплый период сначала уменьшается и в июле- августе падает до минимума. Затем начинается повышение влажности почвы вследствие увеличения количества осадков и одновременно уменьшение потерь влаги на испарение и транспирацию.[1]

Влагозапасы в почве в зимнее время зависят от промерзания почвы. Влагонасыщенность увеличивается за счет капиллярного подсасывания при ледообразовании, а также за счет парообразной воды, поднимающейся из теплых нижних слоев почвы к верхним холодным, где она конденсируется и замерзает.

Промерзание почв. На Северо- Западе промерзание почвы начинается в октябре-ноябре, и достигает максимума в марте. Средняя глубины промерзания составляет 30-60 сантиметров.[1]

#### 1.4 Растительность

Распределение растительности по территории обусловлено климатом, рельефом, почвами и фитоценотическими взаимоотношениями растений. Главным типом растительности являются леса, состоящие преимущественно из хвойных пород - сосны и ели. Покрытие лесов отдельных водосборов рек достигает 95%, преобладающее покрытие лесов остальных - 75-85%.[1]

Территория Северо-Запада расположена в основном в южной подзоне тайги; лишь небольшая северо-восточная часть находится в подзоне средней тайги, а крайняя юго-западная - в зоне смешанных лесов.

Наиболее характерны темнохвойные леса, покрывающие в прошлом большую часть территории Северо-Запада. Широко распространены заболоченные еловые леса.

Состав лиственных лесов представлен главным образом мелколиственными породами (березой, осиной, ольхой). На юго-западе преобладает примесь широколиственных пород (липы, клена, ясеня, вяза). По побережью Финского залива и по рекам Волхову и Луге встречаются небольшие дубравы.[1]

Всего под лесом находится половина площади Северо-Запада. Под влиянием вырубок и пожаров широко распространились производные березовые и осиновые леса. Сильнее всего залесены северные и северовосточные районы Северо-Запада (70-80 %). Наименьшая лесистость отмечается в более освоенных западных и южных районах. Так, в верхнем и среднем точении р. Ловати в бассейне р. Шелони, в нижнем течении р. Великой залесенность уменьшается до 40-30%.[1]

Болота и заболоченные земли занимают около 30 % территории. Сильной заболоченностью выделяется Приильменская низина. Много болот в долине р.Невы, у Ладожского озера, в нижнем течении р. Свири. Болота преимущественно верховые, отчасти низинного и переходного характера. [1]

#### 1.5 Климат

Северо-Запада Климатические особенности определяются географическим положением основной материковой территории умеренных субарктических широтах. Очень большую роль В формировании климата играет открытость территории воздействию воздушных масс Атлантики и холодного Арктического воздуха, а северных островов - в арктических. [5]

Так же очень сильно выражены изменения температурных условий. На арктических островах температура воздуха самого теплого месяца - июля лишь на несколько десятых долей градуса выше нуля, в приморских районах Архангельской и Мурманской областей она повышается до 6-8 °C, а на юге ( Ленинградская, Новгородская, Псковская, Калининградская области) - почти до 18 °C.[1]

Самая мягкая Зима отмечается в Калинградской области (средняя температура -3°С, наиболее суровая-на востоке Республики Коми(-20°С). Смягчающее влияние морей выражается не только в повышении зимних температур, но и в понижении летних. С приближениям к морским побережьям как на юге, так и на севере годовой ход температур сглаживается и климат становится менее континентальным.[5]

На всей территории Северо-Запада создается определенный избыток влаги, который не может быть использован растениями на транспирацию и создание биомассы или испариться непосредственно с поверхности почв и водоемов. Этот избыток влаги обеспечивает интенсивный сток, величина которого наибольшая для всех равнинных областей России. Так же в условиях низменного рельефа с небольшими уклонами поверхности избыточное атмосферное увлажнение способствует заболачиванию. Процесс заболачивания, сопровождаемый образованием мощных торфяных залежей, весьма характерен для Северо-Запада. Местами на низменных равнинах заторфано до 50% и более всей площади.[1]

#### 1.6 Изменение климата на планете.

Проблема изменение климата на нашей планете очень актуальна. Основными причинами изменения климата на планете являются динамические процессы, внешние воздействия, а также огромную роль играет деятельность человека.

Главной проблемой в изменении климата является повышение температуры, в связи с чем идет таяние ледников, что ведет к изменению климата в целом.

Основными причинами изменения климата являются:

- 1. Выброс углекислого газа, который резко увеличился с 20 века;
- 2. Увеличение массы атмосферных аэрозолей;
- 3. Увеличение вырабатывания тепловой энергии, поступающей в атмосферу.

С начала 20 века, на земле происходит бурное развитие промышленности и увеличение добычи полезных ископаемых. Это не может не влиять на экологию и климат в целом. Основную роль в этом играет выброс парниковых газов. По результатам Пятого оценочного доклада МГЭИК, с 1951 года температура на планете изменилась на 0,6 °C, причем главную роль сыграли парниковые газы.[11]

На этом же докладе был сделан следующий обобщающий вывод:

Крайне вероятно (вероятность 95–100%), что антропогенное воздействие на климатическую систему было доминирующей причиной наблюдаемого потепления с середины XX века. Влияние деятельности человека проявляется посредством потепления атмосферы и океана, таяния снега и льда, подъема уровня Мирового океана, изменения частоты и интенсивности ряда экстремальных климатических явлений.[11]

Такие изменения климата на планете, крайне губительны как для человека, так и для животных. Уже сейчас ученые говорят, что из-за глобального потепления, под угрозой находятся многие виды животных и

птиц. В России и Европе участились наводнения, ураганы. Увеличилось количество лесных пожаров.

В дальнейшем прогнозируются следующие последствия глобального потепления:

- 1. Повышение уровня мирового океана вследствие таяния ледников и полярных льда, что, в свою очередь, приведет к затопления территорий;
  - 2. Изменение количества осадков;
- 3. Изменение гидрологического режима, количества и качества водных ресурсов;
  - 4. Воздействие на экологические системы, сельское и лесное хозяйство;

Люди пытаются бороться с этой проблемой. Для этого в 1997 году страны подписали международное соглашение, который получил название Киотский договор. Цель его создания - уменьшение выбросов парниковых газов. Данное соглашение подписали 160 стран мира. [11]

- 2. Закономерности колебания циклов водности рек и озер Северо-Запада Российской Федерации
  - 2.1 причины закономерности колебаний циклов водности

Для начала стоит отметить, что же такое закономерность колебания водности рек и озер проявляется в виде последовательного чередования многоводных и маловодных циклов.

Многоводным циклом называется период времени, при котором наблюдается повышение водности, а маловодным циклом — период времени, при котором наблюдается уменьшение водности. Такие группы образуют многоводные и маловодные циклы водности, которые обладают разной продолжительностью и разным размахом колебаний.[3]

Основной причиной циклического колебания водности являются климатические факторы, которые в свою очередь обусловлены астрофизическими факторами, такими как интенсивность солнечного излучения, колебания земной орбиты и земной оси, которые и создают колебания водности. Также влияют изменения климата, антропогенные факторы. Помимо этого на колебания оказывают влияние региональные географические особенности территории.[3]

Для выполнения работы необходимо выделить циклы водности и показать их изменение. Для работы были взяты как реки, так и озера, что позволит более точно выполнить поставленные задачи.

Основная проблема при точном выявлении циклов водности заключается в действии большого количества внешних факторов на водность рек, вследствие чего внутренняя связь значительно ниже чем на озерах. В результате этого на реке достаточно сложно выявить более точные циклы и отделить их от так называемых шумов.[4]

Шумом называются колебания, вызванные всплесками водности в конкретные годы, обусловленные гидрометеорологическими процессами и антропогенными факторами .[3]

На озерах внутренняя связь намного прочнее, так как на озере происходит накопление водности и резкие изменения уровня воды незначительны. Из-за этого на озерах, особенно больших, циклы водности достаточно точно выделены и имеют более четкие границы многоводности и маловодности, чем на реках.[3]

#### 2.2 Гидрографическая сеть Северо-Запада

Обширная территория Северо-Запада имеет хорошо развитую гидрографическую сеть, принадлежащую бассейнам Белого и Балтийского морей. Наличие большое количества рек, озер и болот обуславливается в первую очередь избыточно влажным климатом этого района.[5]

Большая часть рек Северо-Запада берет начало на главном водоразделе между Балтийским и Каспийскими морями, который проходит по Валдайской возвышенности и простирающейся на северо-восток от нее Вепсовской возвышенности.[5]

Главное артерией района является река Нева. Основными крупными реками в бассейне Невы являются реки Свирь и Волхов.

Центральное место на данной территории занимает Волхонско-Ильменский бассейн. Густота речной сети этого бассейна составляет 0,75 км/км<sup>2</sup>. Наиболее развитую сеть имеют реки Шелонь, Пола, Ловать. Большинство рек Волхонско-Ильменского бассейна берет своё начало из водораздельных болот. Многие реки на устьевых участках разветвляются на многочисленные рукава, образую обширные дельты (реки Мста, Пола, Ловать).[1]

Густота речной сети рек Чудско-Псковского бассейна составляет в среднем около 0,90км/км<sup>2</sup>. Только в бассейне р. Великой насчитывается 12658 рек общей длиной 23448 км, из них 99% общего числа имеет длину менее 10 км. В центральной части Силурийского плато, называемой Ижорским плато, гидрографическая сеть отсутствует. Густота речной сети не превышает 0,07 км/км<sup>2</sup>. Атмосферные осадки через карстовые воронки и трещины свободно проникают в толщу карстующихся известняков. На периферийных плато повсеместно встречаются многочисленные и обильные родники, дающие начало рекам Систе, Воронке, Ижоре, Оредежи, Вруде, Хревице.[1]

Характерной особенностью рек Северо-Запада является слабая естественная зарегулированность их озерами, кроме рек Невы, Свири и Волхова, режим которых всецело находится под влиянием озер Ладожского, Онежского, Ильменя.[6]

Так же Северо-Запад славится количеством озер. Особенно их много в западной части территории, которая подверглась воздействию последнего материкового оледенения. Здесь расположены крупнейшие озера Европы-Ладожское и Онежское – и ряд других крупных озер; число мелких озер измеряется многими тысячами. Гидрографическая сеть Северо-Запада подверглась существенным гидротехническим преобразованиям. Многие реки соединены каналами; Волго-Балтийская и Балтийско-Беломорская водные системы соединили судоходными путями моря Атлантического и Северного Ледовитого океанов с внутренним Каспийским морем. В связи с сооружением ГЭС И судоходных путей созданы искусственные водохранилища, а некоторые озера из-за подпора воды плотинами увеличили свою площадь и фактически превратились в водохранилища.[5]

Довольно большое распространение на территории Карели и Северо-Запада имеют озера болотного типа. Такие озера сильно зарастают водной растительностью, и часто растительный покров почти целиком затягивает поверхность озер, оставляя лишь небольшие открытые пространства — «окна».[1]

Почти все озера на рассматриваемой территории преимущественно сточные или проточные; бессточных озер мало, площадь зеркала их обычно небольшая. [1;5;6]

#### 2.3 Описание водных объектов

Для работы были выбраны реки и озера с максимально большими периодами наблюдений. Далее приводится карта гидрографической сети с нанесенными на неё объектами.

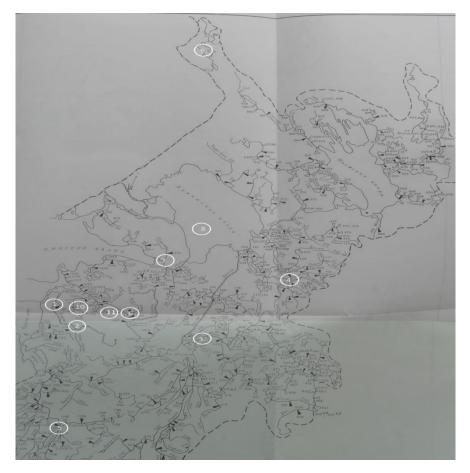


Рисунок 2.1 Местоположение водных объектов на территории Северо-Западного региона. На карте отмечены исследуемые реки:

- 1. Река Плюсса-город Плюсса; 2. Река Плюсса-деревня Брод; 3. Река Мста-деревня Девкино; 4. Река Тихвинка-деревня Горелуха; 5. Река Великая-деревня Пятоново; 6. Река Луга-станция Толмачево; 7. Река Нева-д. Новосаратовка; 8. Ладожское озеро-маяк Сухо; 9. Лексозеро-с. Реболы; 10. Озеро Сяберо-д. Сяберо; 11. Озеро Черемецкое-д. Наволок;
- 1-2. Река Плюсса- это река протекает на территории Псковской и Ленинградской областях России, Правый приток Нарвы. Длина реки

составляет - 281 км, площадь ее - 6550 км<sup>2</sup>. Вытекает из Заплюсских озер и сети осушительных каналов около поселка Заплюсье. Впадает в Нарвское водохранилище севернее города Сланцы. До образования водохранилища, впадала непосредственно в реку Нарву.

Русло Плюссы извилистое, песчаное, берега в верхнем и среднем течении высокие, сухие -местами болотистые. В половодье река сильно разливается. В черте города Сланцы на реке пороги.[7]

3. Река Мста - протекает на территории Тверской и Новгородской областях России. Длина ее составляет 445 км, площадь бассейна -23300 км. Мста берет начало из озера Мстино, вытекая из мстинской плотины, впадает в озеро Ильмень с северной стороны озера, недалеко от истока Волхова, образуя на Приильменской низменности обширную заболоченную дельту.

В верховьях Мста довольно извилистая река, ширина ее сотставляет40-50 метров, после впадения притоков Березайки и Увери ширина увеличивается до 70-80 метров. В среднем течении имеются Боровичские пороги, которые представляют серьезные помехи для кораблей, но при этом они привлекают множество туристов. В нижнем течении река выходит на равнину и успокаивается. Ширина ее составляет около 100 метров, на протяжении последних 50 километров Мста расширяется и становится судоходной.[7]

4. Река Тихвинка- протекает по территории Бокситогорского и Тихвинского районов Ленинградской области. Длина реки составляет 144 км, площадь бассейна 2140 км.

Тихвинка берет начало из озера Еглино и входит в состав Тихвинской водной системы, имеет множество порогов, гряд и мелей, вследствие чего русло в некоторых местах было выправлено и снабжено 48 шлюзами, многие из которых ныне не действуют и разрушились. Питание у реки смешанное, с преобладанием снегового. Замерзает в середине января, вскрывается в апреле-начале мая. [7]

5. Река Луга- протекает в Ленинградской и Новгородской областях. Длина реки составляет 353 км, а ее водосбор 13200км<sup>2</sup>. Луга берет начало из тесонских болот в Новгородской области, впадает в Лужскую губу Финского залива двумя протоками, основной и северной, называемой Выбья.

Протяженность реки от истока до устья составляет 353 километра. Песчаное русло Луги отличается извилистостью. Там, где река перетекает пороги , дно галечное с крупными валунами. Пороги образовались на перепадах возвышенностей. Прерывистая пойма реки в некоторых местах разрезана старицами и холодными озерами.

Луга – река со смешанным типом питания .В основном пополнение вод происходит за счет таяния снега. В первой половине декабря река замерзает. Лед продолжает стоять примерно до середины апреля. [7]

6. Река Великая - река в Псковской области России, относится к бассейну реки Нарва и в целом к бассейну Балтийского моря. Длина ее составляет 430 км, площадь бассейна 25 200 км<sup>2</sup>. Исток реки на Бежаницкой возвышенности. Впадает в Псковско-Чудское озеро.

В верховьях река протекает через цепочку озер- Большой Вяз, Ходшо, Большое острие, Хвойно. На этом участке длина достигает 7-10 метров, течение достаточно быстрое, река сильно петляет.

На участке между устьями Аполи и Идрицы река преодолевает порожистый участок, который в половодье, полностью скрывается водой. Возле деревни Максютино, ширина реки увеличивается до 30-40 метров, лесов по берегам становится меньше, населенность берегов больше, перекаты попадаются реже.

Ниже Острова Велика на протяжении пяти километров принмает сразу три больших притока —Утрою, Кухву и Вяду. Ширина реки увеличивается до до 100 метров, скорость течения сильно ослабевают. Берега здесь безлесы, населенные. В конце Великая впадает в Псковское озеро 15 километрами ниже Пскова, формирую небольшую дельту(основные протоки дельты-Гладыня, Средняя, Ворона.[7]

7. Река Нева - протекает на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Имеет длину 74 километра, площадь водосбора 281 тыс. км<sup>2</sup>. Река Нева соединяет Ладожское озеро с Финским заливом. Основными городами расположенными на берегах Невы являются Санкт-Петербург, Шлиссельбург, Кировск, Отрадное. Образовалась в результате прорыва ладожской воды в Балтику, примерно 4000 лет назад. Вытекает из Ладожского озера в районе Шлиссельбурга, протекает по Приневское низине, впадает в Финский залив (Балтийское море).[7]

Нева - широкая и глубокая река. Средняя ширина - 400-600 метров. Самые широкие места (1000-1250 м) в дельте у Невских ворот Морского торгового порта в так называемой воронке рукава Большая Нева, у окончания Ивановских порогов при впадении реки Тосны и у острова Фабричный вблизи истока. Самое узкое место (210 м) — напротив мыса Святки у начала Ивановских порогов.

Средняя глубина 8-11 м; наибольшая глубина (24 м) (выше Литейного моста в Смольнинской излучине у правого берега, напротив Арсенальной улицы), наименьшая (4,0—4,5 м) в Ивановских порогах. [7]

8. Ладожское озеро - это самое крупное пресноводное озеро в Европе. Его северный и восточный берег расположены в республике Карелии, а западный, южный и юго-восточный берега - в Ленинградской области. Его площадь составляет без островов- 17,6 тыс. км², с островами 18,1 тыс. км². В озеро впадает более 40 рек, самые крупные из них из которых Свирь, Вуокса и Волхов, а вытекает только одна река-Нева. Длина водоема с юга на север 219 км. ширина достигает 138 км, высота над уровнем моря 4,84 метра.

Глубина водоема увеличивается с юга на север: от 20-70 метров в южной части до 70-230 метров в северной части. Наибольшая глубина наблюдается к северу от Валаама и составляет 233 метра.[8]

9. Лексзеро - расположено в республике Карелия. Площадь водной поверхности озера Лексозеро - 163,9 км2, общая площадь (с островами) 177,3 км2. Наибольшая длина 27,3 км, наибольшая ширина 13,2 км. Островов 97,

их площадь 13,4 км2. Береговая линия сильно извилиста; ее длина по материку 160 км, с островами 275 км. Высота над уровнем моря 174,2 м.

Наибольшая глубина озера 34 м, средняя глубина 8,6 м. Наиболее глубокими частями являются центральное плесо с глубинами до 34 м и северная часть с глубинами до 31 м. На глубины 0—10 м приходится около 69% площади озера, на глубины 10—20 м — около 25%. Озеро имеет единую нерасчлененную котловину. Рельеф дна очень сложный; многочисленные поднятия чередуются с резко выраженными впадинами и ямами. [9]

10. Озеро Сяберо - Озеро Сяберо расположено в Лужском районе, Ленинградской области, Россия, у деревни Сяберо. От Луги по прямой 36 км на северо-запад. Озеро лежит в слабохолмистой местности с обширными болотами в низинах между холмами. Южный берег высокий, холмы покрыты смешаным лесом с преобладанием ели и березы. Северный и северовосточный берега низкие, болотистые. Озеро слабопроточное, питают его ручьи из окружающих болот, вытекает из северной губы речка Сяберка. Размеры: Сяберо — одно из самых больших озер западной части Ленинградской области. Озеро вытянуто с юго-запада на северо-восток на 6,7 километра, по ширине же от 2,4 километров в южном плесе до 4 километров в северо-западной части.

Глубины, дно: Рельеф дна неровный, ямы перемежаются с банками, но в целом нарастание глубин плавное от 1 метра у берегов до 5 - 7 метров к центру.[10]

11. Озеро Череменецкое в Лужском районе Ленинградской области, в Дзержинском и Скребловском сельских поселениях.

Площадь — 15,0 км². Длина береговой линии — 37 км. Максимальная глубина — 27,0 м, средняя — 8,0 м.

Озеро находится северо-восточнее озера Врево. Протянулось в направлении близком к меридиональному на длину 14,7 км, при средней ширине в 1,0 км, а наибольшей — 1,8 км.[10]

#### 2.4 Расчет основных характеристик

#### 2.4.1 Реки

В данном пункте квалификационной работы представлены гидрографы за периоды наблюдения. На гидрографе указана линия тренда, которая показывает изменения водности в большую или меньшую сторону. Затем будет рассчитаны параметры распределения, после чего будет проведена проверка на однородность по критерию Фишера и Критерию Стьюдента. Для тех рядов, где критерий опровергается, построим эмпирическую и аналитическую кривые и проверим ряд на однородность с помощью доверительного интервала.

Выполним построение хронологических графиков согласно данным из приложений 1-7.

#### 1. Река Плюсса-город Плюсса.



Рисунок 2.2. Гидрограф р.Плюсса-г.Плюсса, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 1)

## 2. Река Плюсса-деревня Брод.



Рисунок 2.3. Гидрограф р.Плюсса-д.Брод, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 2)

#### 3. Река Мста-деревня Девкино.



Рисунок 2.4. Гидрограф р.Мста-д.Девкино согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 3)

### 4. Река Тихвинка-деревня Горелуха.

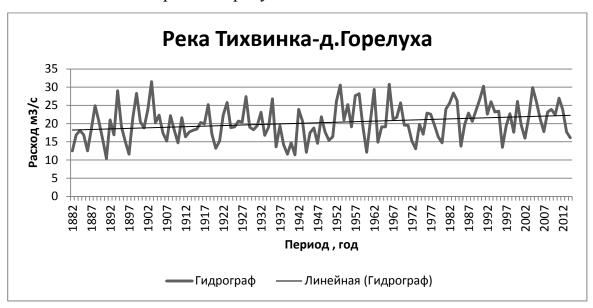


Рисунок 2.5. Гидрограф р.Тихвинка-д.Горелуха, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 4)

#### 6. Река Великая-деревня Пятоново.



Рисунок 2.6. Гидрограф р.Великая-д.Пятоново, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 5)

### 7. Река Луга-деревня Толмачево.



Рисунок 2.7. Гидрограф р.Луга-д.Толмачево, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 6)

# 8. Река Нева-деревня Новосаратовка.



Рисунок 2.8. Гидрограф р.Нева-д.Новосаратовка, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 7)

Требуется рассчитать основные параметры распределения . Расчет будет производится в компьютерной программе Excel. Результаты расчетов представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1. Сводная таблица параметров распределения, согласно данным

объединённых таблиц с расчетными характеристиками (Приложение 1-7)

Nº		n	` -		- ·	
п/п	Река-створ	лет	Qcp	Cv	Cs	Cs/Cv
1	Река Плюсса-Город Плюсса		9,95	0,27	0,56	2,07
2	Река Плюсса-Деревня Брод	83	39,3	0,25	0,32	1,25
3	Река Мста-Деревня Девкино	83	165,6	0,26	0,51	1,93
4	Река Тихвинка -Деревня Горелуха	132	20,25	0,24	0,25	1,04
5	Река Великая-Деревня Пятоново	85	135	0,3	0,72	2,38
6	Река Луга-Деревня Толмачево	98	44,7	0,26	0,17	0,63
7	Река Нева-Деревня Новосаратовка	156	2506	0,16	0,12	73

Результаты проверки ряда на однородность по критерию Стьюдента и критерию Фишера представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Проверка на однородность по Критериям Стьюдента и Фишера

Nº	Doug Canon	Критери	Критерий Фишера		Критерий Стьюдента		Н0:Оср
п/п	Река-Створ	F*	<b>Г</b> крит.	D2	t*	tкрит.	1=Qcp2
1	Река Плюсса-Город Плюсса	1,13	1,18	не опр.	-1,19	1,66	не опр.
2	Река Плюсса-Деревня Брод	1,01	1,68	не опр.	-3,91	1,66	опр.
3	Река Мста-Деревня Девкино	1,6	1,68	не опр.	-1,51	1,66	не опр.
4	Река Тихвинка - Деревня Горелуха	0,51	0,66	не опр	-1,29	1,65	не опр.
5	Река Великая- Деревня Пятоново	0,7	0,59	не опр.	-2,5	1,66	опр.
6	Река Луга-Деревня Толмачево	1,09	1,61	не опр.	1,47	1,66	не опр.
7	Река Нева-Деревня Новосаратовка	1,2	1,45	не опр.	1,5	1,65	не опр.

Также была произведена проверка на однородность по критериям Стюдента и Фишера. Результаты следующие:

Река Плюсса - г. Плюсса однородность не опровергается.

Река Плюсса — Брод - опровергается по критерию Стьюдента. На клетчатке вероятности были построены эмпирическая и аналитическая кривые Крицкого- Менкеля (Приложение12). Одна точка выходит за пределы ряда. Для данной точки построен доверительный интервал, в который эта точка попадает, что подтверждает однородность ряда.

Река Мста - д. Девкино – однородность не опровергается.

Река Тихвинка - Горелуха однородность не опровергается.

Река Великая- Пятоново опровергается по Стьюдента. На клетчатке вероятности были построены эмпирическая и аналитическая кривые Крицкого-Менкеля (приложение 13). Одна точка выходит за пределы ряда . Для данной точки построен доверительный интервал, в который эта точка попадает, что подтверждает однородность ряда.

Луга – Толмачево однородность не опровергается

Река Нева – Новосаратовка однородность не опровергается.

На гидрографах были построены линии трендов, которые показали следующие результаты :

На реке Плюсса-город Плюсса динамика практически не меняется .

На реках Плюсса- д.Брод, Мста-д. Девкино, Тихвинка-д. Горелуха, Река Великая –д. Пятоново наблюдается увеличение водности.

На реках Луга –Толмачево и Нева-д. Новосаратовка наблюдается снижение водности.

Критерии Стьюдента и Фишера при проверке на однородность не опровергаются.

#### 2.4.2 Озера

В данном пункте квалификационной работы представлены гидрографы за периоды наблюдения. На гидрографе указана линия тренда, отражающая изменения водности в большую или меньшую степень. Далее рассчитаны параметры распределения и проведена проверка на однородность по критерию Фишера и Критерию Стьюдента. Для тех рядов, где критерий опровергается, необходимо построить эмпирическую и аналитическую кривые обеспеченности и провести проверку ряда на однородность с помощью доверительного интервала.

Выполним построение хронологических графиков согласно данным из приложений 8-11.

#### 8. Ладожское озеро

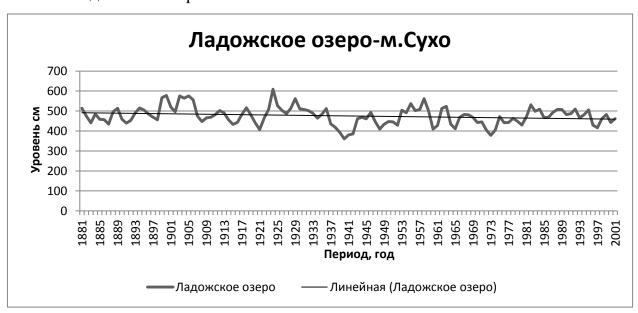


Рисунок 2.9. Гидрограф Ладожское озеро, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 8)

# 9. Лексозеро

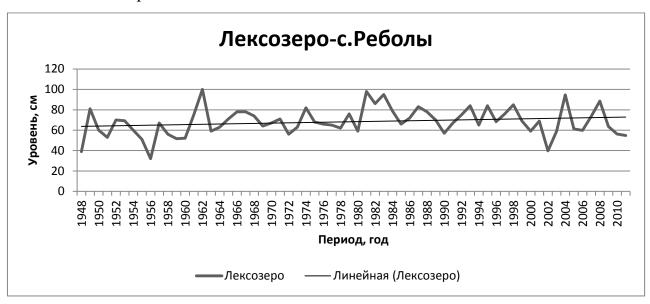


Рисунок 2.10. Гидрограф Лексозеро согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 9)

# 10. Озеро Сяберо

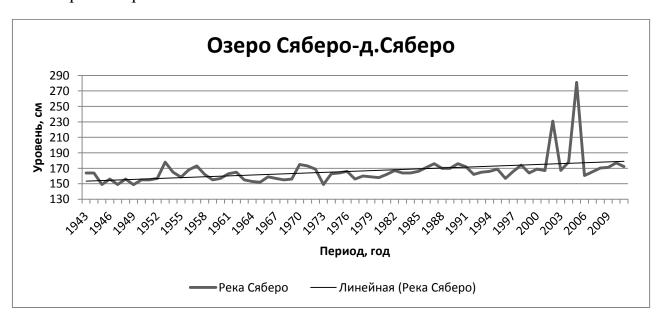


Рисунок 2.11. Гидрограф оз. Сяберо согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 10)

## 11. Озеро Череменецкое.

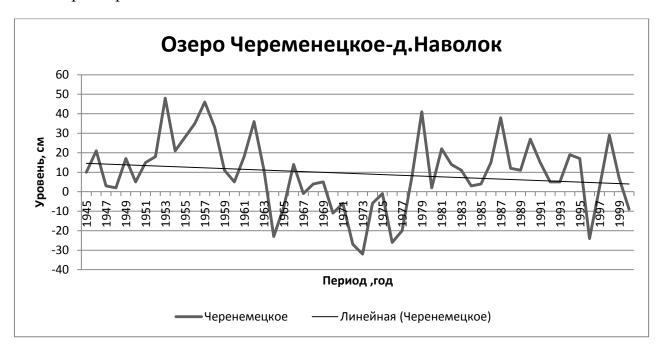


Рисунок 2.12. Гидрограф согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 11)

Результаты расчета параметров распределения представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Сводная таблица параметров распределения, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 8-11)

№ п/п	Река-створ	n лет	Нср	σ	Cs	Cs/Cv
1	Ладожское озеро	121	283	283 101,69		1,86
2	Лексозеро	64	68	13,6	0,22	0,11
3	Сяберо	69	165	0,1	2,93	0,26
4	Черенемецкое	56	9,26	18	-0,14	-0,1

Выполним проверку ряда на однородность. Проверка будет выполняться по Критерию Стьюдента и критерию Фишера. Результаты представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Проверка на однородность по Критериям Стьюдента и Фишера

№ п/п	Река-Створ	Критерий Фишера		Ho:D1=D2	Критерий Стьюдента		H0:Qcp1=Qcp2
,	,	F*	<b>Екрит.</b>		t*	tкрит.	., .,
1	Ладожское озеро- маяк Сухо	0,23	0,65	не опр.	-3,43	1,66	опр
2	Лексозеро-с.Реболы	0,5	0,55	опр	-2,2	1,66	опр
3	Сяберо-д.Сяберо	0,39	0,56	не опр.	-1,4	1,68	не опр
4	Череменецкое- д.Наволок	1,24	1,92	не опр.	0,76	1,67	не опр.

Проверка на однородность показала следующие результаты:

Ладожское озеро-маяк Сухо опровергается по критерию Стьюдента. На клетчатке вероятности были построены эмпирическая и аналитическая кривые Крицкого-Менкеля (Приложение 14). Проверка с помощью доверительного интервала подтвердила однородность ряда.

Лексозеро-с. Реболы опровергается по критерию Стьюдента и Фишера, Аналогично для точкек, выпадающих за пределы, построен доверительный интервал, в который точки попадают, что подтверждает однородность ряда (Приложение 15).

Озеро Сяберо-деревня Сяберо - однородность не опровергается ни по одному критерию.

Озеро Череменецкое - деревня Наволок, не опровергается ни по одному критерию.

Для исследуемых озер были построены гидрографы, которые не зафиксировали сильных отклонений. Анализируя линии трендов, можно сказать:На Ладожском озере заметно постепенное снижение водности. На Лексозере и озере Сяберо заметно увеличение водности .

При проверке на однородность по критериям Стьюдента и Фишера, выявлены опровержения однородности рядов на Ладожском озере и Лексозере. Проверка с помощью доверительного интервала подтвердила однородность рядов данных.

- 3. Применение методов исследования
- 3.1 Описание методов спектрального анализа и метода сглаживания

Для точного выделения цикла водности рек и озер используются спектральный анализ и метод сглаживания с помощью скользящего среднего и биноминального фильтра. Спектральный анализ позволяет точно выделить водный цикл, вычислить его спектральную мощность и продолжительность.

Спектральная плотность обладает следующими свойствами.

Рассмотрим, как работает процесс на практике. По оси X отложены номера гармоник, которые выражают число полных циклов за интервал, по которому осуществлены расчеты. При исследовании временных рядов обычно осуществляют преход от номеров гармоник к их периоду.[2]

Спектральные функции, рассчитанные по выборочным данным, будут отклоняться от спектра генеральной совокупности. Распределение выборочных спектральных оценок подчиняется приблизительно распределению величин  $X^2$ , деленной на число степеней свободы.

Циклы полученные по спектральным функциям, несколько лучше совпадают при продолжительности с циклами сглаженных колебаний годового стока с использованием биноминального фильтра. Циклы продолжительностью 11, 8 и 5 лет также совпадают как при спектральном анализе, так и при использовании метода последовательного парного осреднения исходных колебаний годового стока. [4]

Циклы продолжительностью менее 5 лет, выделенные по спектральным функциям, не наблюдаются в сглаженных колебаниях годового стока, что объясняется исключением высоких частиц(циклов короткой продолжительности) в последнем случае.[4]

Рассмотрим процесс сглаживания с помощью биноминальных фильтров и скользящего среднего.

Процесс сглаживания очень важен при выявлении циклов колебания водности рек и озер. Он позволяет сгладить ряд, тем самым убрав лишние шумы и позволяет более точно оценить гидрограф. Также сглаживание позволяет оценить синхронность циклов колебаний водности.[3]

Наличие достаточно существенных случайных колебаний годового стока затрудняет выявление закономерностей их временного хода, выражающихся в форме длиннопереодичных циклов изменения годового стока. Для этих целей применяются методы фильтрации с использованием скользящей среднеарифметической. [3]

Главным недостатком фильтрации скользящим среднем является то, что происходит сдвиг фаз осредненных колебаний по сравнению с исходным рядом вплоть до противоположного.[3]

Вторым способом является способ последовательного парного осреднения членов ряда, при котором весовые коэффициенты симметрично убывают от центрального члена осреднения и представляют собой биноминальные коэффициенты. Сглаживание с использованием данного фильтра равносильно применению способа последовательного парного осреднения членов исходного ряда. [3]

Благодаря методам сглаживания и последующему объединению сглаженных кривых, можно наблюдать колебания различных рек и выяснить насколько они синхронны в природе. В науке есть такие понятия как синхронность и асинхронность колебаний стока.

Синхронность-одинаковый ход водности(стока) отдельных лет на сравниваемых реках и озерах , асинхронность —противоположный ход водности отдельных лет в течении всего периода наблюдений или за отдельные периоды меньшей продолжительности. Синфазность —одинаковый ход колебаний водности , т.е. маловодных , средних и многоводных групп лет той или иной продолжительности, асинфазность противоположный ход фаз водности [4]

#### 3.2 Применение метода спектрального анализа

#### 3.2.1Спектральный анализ рек

Выполним спектральный анализ на исследуемых реках:

Спектральный анализ выполняется при помощи компьютерной программы Stastica.

#### 1. Река Плюсса-город Плюсса

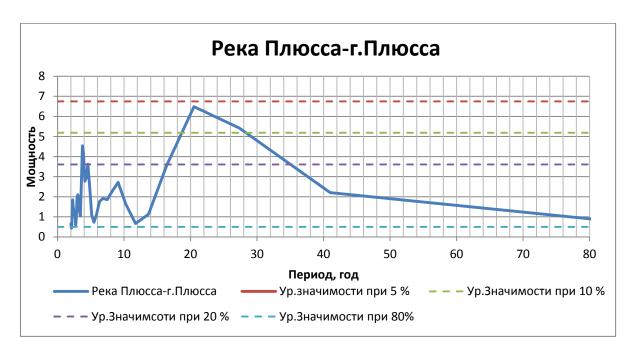


Рисунок 3.1. Спектральный анализ р. Плюсса-г. Плюсса, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 1)

Благодаря спектральному анализу было выделено три цикла, которые отличаются по силе, периоду и уровню значимости:

Первый цикл равен по мощности 6,75, а период цикла равен 21 год. Второй цикл равен по мощности 4,53, а период цикла равен 5 годам. Третий цикла равен по мощности 2,71, а его период цикла равен 10 годам.

При уровне значимости в 5 % не выделяется ни один цикл. В 10% значимым является первый цикл. В 20 % значимым является второй цикл. Третий цикл является значимым только в 80 %.

#### 2. Река Плюсса-деревня Брод

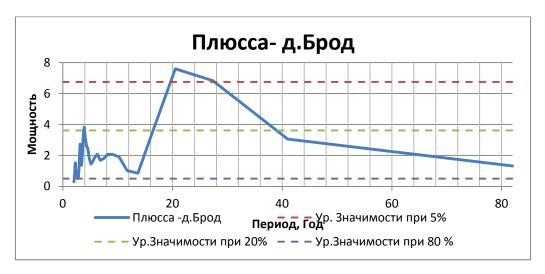


Рисунок 3.2. Спектральный анализ р. Плюсса-д. Брод, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 2)

На реке Плюсса – д. Брод так же выделяются три цикла. Первый цикл равен по мощности 7,58, а его период цикла равен 20 годам. Второй цикл равен по мощности 3,90, а его период цикла равен 4 годам. Третий цикл по мощности равен 2, а период цикла равен 8 годам.

При уровне значимости в 5 %, значимым является первый цикл . В 20 % значимым является второй цикл. Третий цикл значимым является в 80 % .

#### 3. Река Мста-деревня Девкино

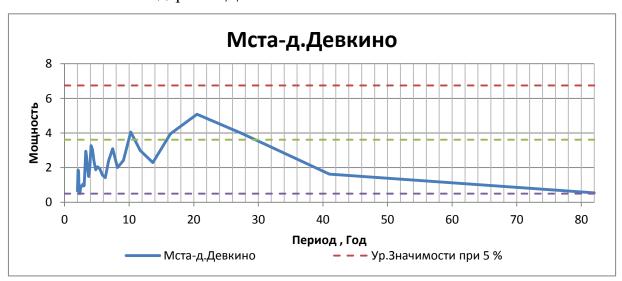


Рисунок 3.3. Спектральный анализ Мста-д. Девкино, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (приложение 3)

На реке Мста-д. Девкино, также выделяются три цикла. Первый цикл равен по мощности 5, а его цикла равен 20 годам. Мощность второго цикла равна 4, его период цикла равен - 10 годам. Мощность третьего цикла равна 3.26, а период цикла равен - 5 годам.

При значимости в 5 % значимым не является ни один цикл. В 20 % значимости попадает первый и второй циклы. В 80 % попадает третий цикл.

#### 4. Тихвинка-деревня Горелуха

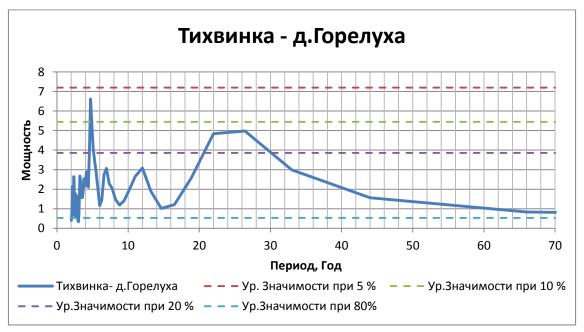


Рисунок 3.4. Спектральный анализ р.Тихвинка-д.Горелуха, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками(приложение 4)

На реке Тихвинка – д . Горелуха выделяется три цикла. Первый цикл равен по мощности 6,61, а его период цикла равен 5 годам. Мощность второго цикла равна 5, а период цикла равен 26 годам. Мощность третьего цикла равно 3, а период цикла равен 11 годам.

В уровень значимости в 5 % не попадает не один цикл. При 10 % значимым является первый цикл. В 20 % попадает второй цикл. В 80% уровень значимости попадает третий цикл.

#### 5. Река Великая-деревня Пятоново

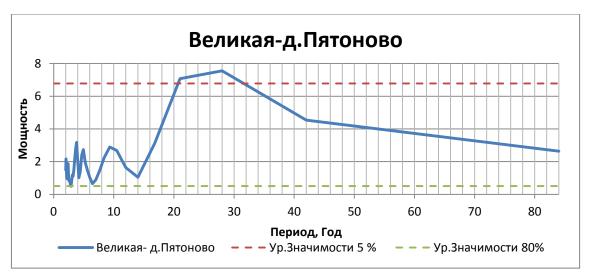


Рисунок 3.5. Спектральный анализ р. Плюсса-г. Плюсса, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 5)

На реке Великая-д. Пятоново, выделяются три цикла. Первый цикл равен по мощности 7,5, периодицикла равен 28 годам. Мощность второго цикла равна 3,18, период цикла равен 4 годам. Мощность третьего цикла равна 2,89, а период цикла равен 9 годам.

При уровне значимости в 5 % значимым является первый цикл. Остальные два цикла являются значимыми только при 80 % уровне значимости.

# 6.Река Луга-Толмачево

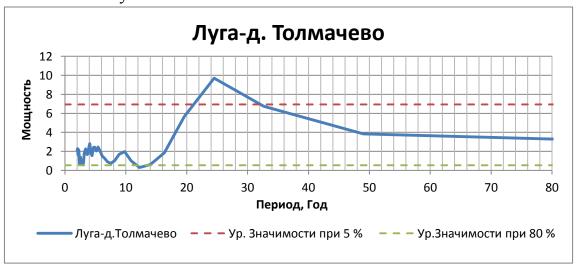


Рисунок 3.6. Спектральный анализ р.Луга-д.Толмачево, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 6)

На реке Луга-д.Томачево выделяется три цикла. Первый цикл по мощности равен 9,69, а период цикла равен - 25 годам. Мощность второго цикла равна 2,5, а период цикла равна 5 годам. Мощность третьего цикла равна 1,96, а период равен 10 лет.

При уровне значимости в 5 %, значимым является первый цикл. Второй и третий цикл является значимым только при 80% уровне значимости.

## 7. Река Нева-деревня Новосаратовка

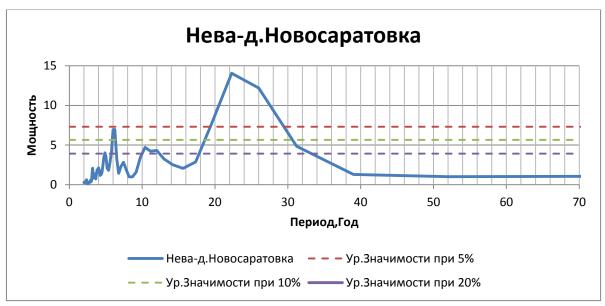


Рисунок 3.7. Спектральный анализ р.Нева-д.Новосаратовка согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 7)

На реке Нева-д. Новосаратовка выделяются три цикла. Первый цикл равен по мощности 14, а период цикла составляет 22 года. Мощность второго цикла равна 6,9, а период составляет 6 лет. Мощность третьего цикла составляет 4,7, а период равен 11 годам.

При уровне значимости 5 %, значимым является первый цикл. При 10% уровне значимости - второй, при 20% - значим третий цикл.

Для оценки результатов составлена обобщающая таблица (таблица 5) Согласно таблице, можно выделить следующие результаты: На изучаемых реках точно выделяются три цикла. Эти три циклы имеют схожие периоды на всех реках и их можно выделить.

Первый цикл равен примерно 25 годам и имеет самую большую мощность. Продолжительность периода второго цикла примерно составляет 5 лет, цикл имеет относительно среднюю мощность. Длительность третьего составляет 11 лет, цикл имеет самую маленькую мощность.

Так же можно сделать вывод, что наибольшую мощность имеют реки с большей площадью водосбора.

Пре проведении спектрального анализа был уставлен уровень значимости с различными процентами обеспеченности.

Так при 5 %, значимые циклы были зафиксированы только у 4 реки из 7. Это Река-Плюсса-д. Брод, Река Великая –д.Пятоново, Луга- Толмачево, Нева-Новосаратовка.

При 10 % значимые циклы были зафиксированы у 4 из 7 рек. Это Плюсса-г. Плюсса, Плюсса-Брод, Тихвинка-Горелуха, Нева-д. Новосаратовка.

При 20% значимые циклы были отмечены также у 4 из 7 рек. Это Плюсса-г. Плюсса, Река Мста-д. Девкино, Река Тихвинка-д. Горелуха, Нева-Новосаратовка.

При 80% значимые циклы были зафиксированы у 6 рек из 7, кроме Невы-д.Новосаратовки.

Таблица 3.1 Сводная таблица результатов спектрального анализа , согласно данных объединенных таблиц (приложение 1-7)

	Река-Пост	Цикл 1		Цикл 2		Цикл 3		Уровень значимости:			
	Река-Пост	Мощность	Период	Мощность	Период	Мощность	Период	5%	10%	20%	80%
1	Река Плюсса-Город Плюсса	6,75	21	4,53	5	2,71	10	нет	Цикл 1	Цикл 2	Цикл 3
2	Река Плюсса-Деревня Брод	7,58	20	3,9	4	2	8	Цикл1	Цикл 2	нет	Цикл 3
3	Река Мста-Деревня Девкино	5	20	4,05	10	3,26	5	Нет	Нет	Цикл1,2	Цикл3
4	Река Тихвинка - Деревня Горелуха	6,61	5	5	26	3	11	Нет	Цикл 1	Цикл 2	Цикл3
5	Река Великая-Деревня Пятоново	7,5	28	3,18	4	2,89	9	Цикл1	Нет	Нет	Цикл2,3
6	Река Луга-Деревня Толмачево	9,69	25	2,5	5	1,96	10	Цикл1	Нет	Нет	Цикл2,3
7	Река Нева-Деревня Новосаратовка	14	22	6,9	6	4,7	11	Цикл1	Цикл2	Цикл3	Нет

### 3.2.2 Спектральный анализ уровней озер

### 1. Ладожское озеро

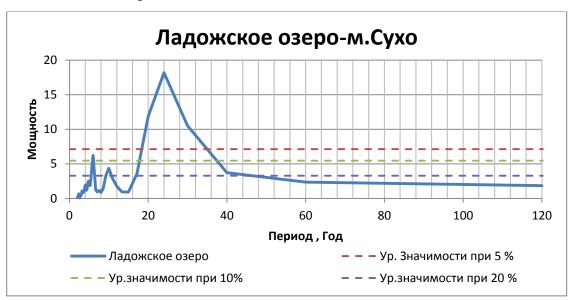


Рисунок 3.8. Спектральный анализ Ладожского озера согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 8)

На Ладожском озере-м.Сухо выделяются три цикла: Первый цикл равен по мощности 18, а период цикла составляет 24 года. Мощность второго цикла равна 6, а период его составляет 6 лет. Третий цикл равен по мощности 4,36, а период цикла равен 10 годам.

При значимости в 5% - значимым является первый цикл. При 10% значимым является второй цикл. При 20 % значимым является третий цикл. 2.Лексозеро

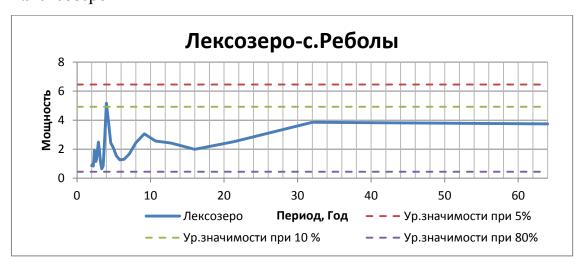


Рисунок 3.9. Спектральный анализ Лексозера согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 9)

На Лексозере-с.Реболы выделяются три цикла: Первый цикл равен по мощности 5,1, а период цикла составляет 4 года. Мощность второго цикла 3, а период цикла составляет 9 лет. Мощность третьего цикла равна 2,4, а период цикла равен 3 годам.

В уровень значимости в 5 % не попадает не один цикл. В уровень значимости в 10% попадает первый цикл. Второй и третий попадают только в 80% значимости.

### 3.Озеро Сяберо

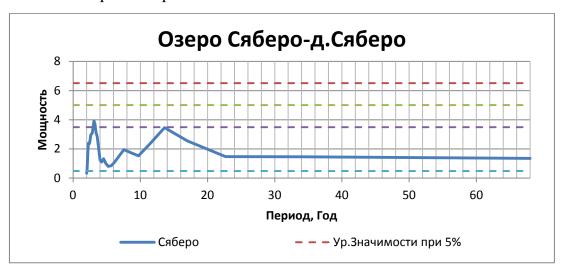


Рисунок 3.10. Спектральный анализ оз. Сяберо согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 10)

На озере Сяберо-д.Сяберо выделяются три цикла: Первый цикл равен по мощности 4, а период цикла равен 4 года. Второй цикл равен по мощности 3,49 , а период цикла равен 15 годам. Третий цикл по мощности равен 1,94 , а его цикл равен 8 годам.

В уровень значимости в 5 и 10 %, не попадает не один цикл. В 20% попадает первый и второй циклы. В уровень значимости в 80% попадает третий цикл.

### 4.Озеро Череменецкое

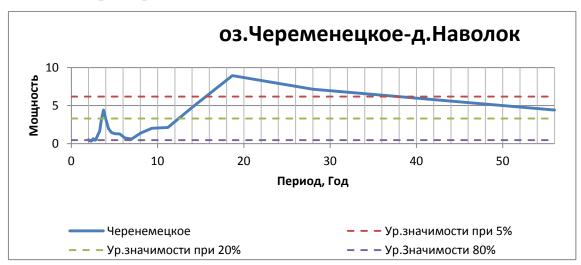


Рисунок 3,11. Спектральный анализ Лексозера согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 11)

На озере Череменецкое- д.Наволок выделяется выделяются два цикла: Первый по мощности равен 8,93, а период цикла равен 18 годам. Второй цикл равен по мощности 3,7, а период цикла равен 4 года. Мощность третьего цикла 2, а период цикла равен 10 годам. При уровне в 5 % значимым является первый цикл. При уровне в 10 % значимым является второй и третий циклы .

Для оценки результатов составлена обобщающая таблица (таблица 6).

По данным таблицы можно сделать следующие выводы:

На озерах выделяется три цикла: Первый цикл самый мощный и продолжительный (около 25 лет). Второй цикл является средним по мощности, его продолжительность составляет примерно 10 лет. Третий цикл самый слабый и имеет продолжительность в среднем 5 лет.

На Лексозере и озере Сяберо, циклы имеют другую продолжительность. Самый мощный цикл длится 5 лет. Средний по мощности цикл на оз. Сяберо равен 15 годам, а на Лекозере равен 30 годам

Уровень значимости, отмеченный на графиках, показал, что при 5% значимыми являются циклы на Ладожском и Череменецком озерах. При 10% значимые циклы выделены везде кроме озера Сяберо. 20% значимый цикл выделен на Ладожском озере и озере Сяберо. Значимые при 80% уровне значимости - циклы на озерах Лексозеро и Сяберо.

Таблица 3.2 Сводная таблица результатов спектрального анализа, согласно данных объединенных таблиц (приложение 8-11)

Номер	Озеро	Цикл1		Цикл 2		Цикл 3		Уровень значимости			
		Мощность	Период	Мощность	Период	Мощность	Период	5%	10%	20%	80%
1	Ладожское озеро	18	24	6	6	4,3	10	Цикл1	Цикл2	Цикл3	Нет
2	Лексозеро	5,1	4	3	9	2,4	3	Нет	Цикл1	Нет	Цикл2,3
3	Сяберо	3,9	4	3,4	13	2	7	Нет	Нет	Цикл1	Цикл 2,3
4	Череменецкое	8,93	18	3,7	4	2	10	Цикл1	Цикл 2	Нет	Нет

При рассмотрении результатов спектрального анализа водности рек и озер на территории Северо-Запада можно сделать некоторые выводы. Циклы водности выражены сильнее на реках и озерах с большими водосборами, поскольку на крупных водных объектах внутренняя связь намного сильнее, чем на небольших. На озерах можно заметить более точные циклы, это связано с тем, что на них происходит аккумуляция воды, тем самым на озера менее ощутимо действуют природные факторы. Благодаря этому на всех графиках, отражающих колебания водности озер, можно наблюдать меньшее количество графики более четкие, на них ОНЖОМ наблюдать приблизительные колебания. Спектральный анализ позволил наиболее точно выделить циклы, определить их спектральную мощность и период.

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующий вывод. Циклы колебаний водности рек и озер между собой схожи и имеют примерно одинаковые периоды. Это связано в первую очередь с природными процессами, которые не зависят от антропогенных факторов. На всех исследуемых реках и озерах можно выделить три цикла, которые приблизительно равны 5, 11 и 25 годам. Исключения составляют Лексозеро и оз. Сяберо. Самый мощный цикл на них длится 5 лет. Средний по мощности цикл на оз. Сяберо равен 15 годам, а на Лекозере равен 30 годам

Цикл в 25 лет приблизительно равен циклу Брикнера. Цикл Брикнера - это многолетнее чередование климата, выражающихся в смене теплых и сухих периодов на холодные и влажные со средним интервалом около 35 лет. В отдельных случаях продолжительность цикла может колебаться от 25 до 50 лет.

Дальнейшее исследование циклов Брикнера показало наличие 11 летних циклов, причем те и другие являются результатом циклических колебаний солнечной активности с продолжительностью циклов 5 и 11 лет и более, интерференция которых и создает различные циклы колебаний типов циркуляции воздушных масс, а, следовательно, и элементов климата.

## 3.3 Гармонический анализ водности рек и озер

### 3.3.1 Гармонический анализ водности рек

## 1. Река Плюсса-деревня Плюсса

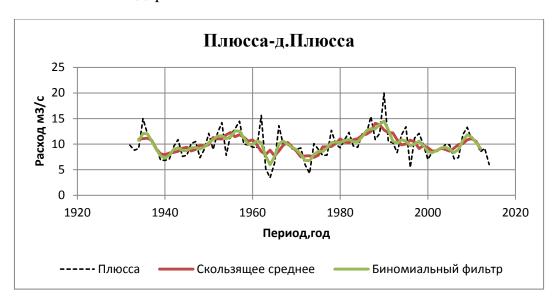


Рисунок 3.12. Гармонический анализ водности реки Плюсса-г.Плюсса, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 1)

## 2.Река Плюсса-д.Брод



Рисунок 3.13. Гармонический анализ водности реки Плюсса-д.Брод, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 2)

## 3.река Мста-д. Девкино



Рисунок 3.14. Гармонический анализ водности реки Плюсса-д.Брод, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 3)

### 4. Река Тихвинка-д. Горелуха

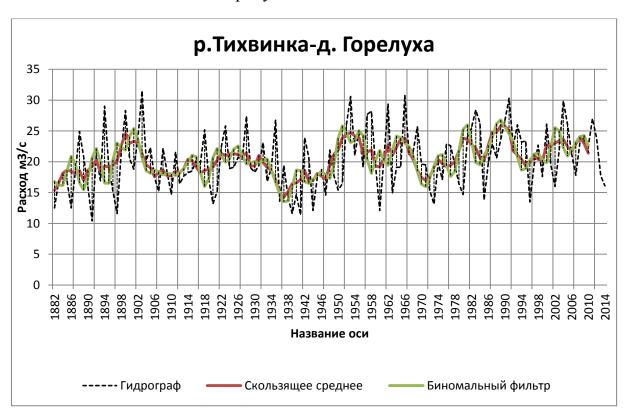


Рисунок 3.15. Гармонический анализ водности реки Плюсса-д.Брод, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 4)

## 5. Река Великая-д. Пятоново

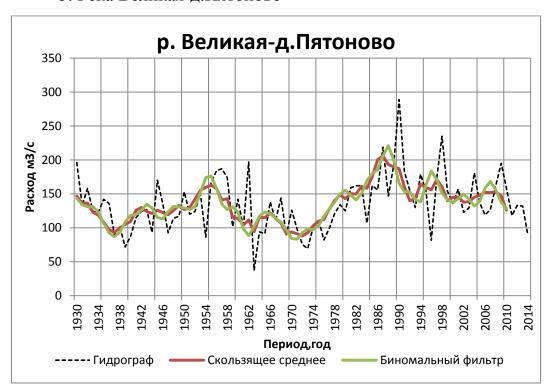


Рисунок 3.16. Гармонический анализ водности реки Плюсса-д.Брод, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 5)

## 6. Река Теолиачево -д. Толмачево

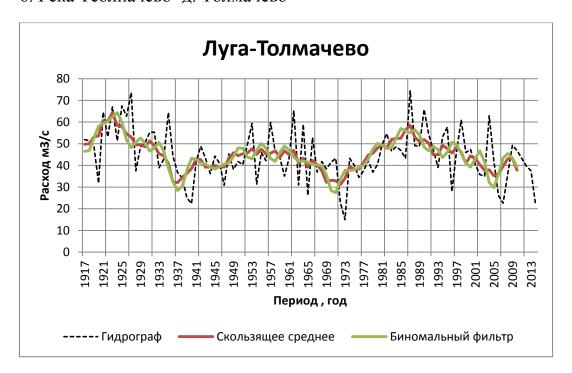


Рисунок 3.17. Гармонический анализ водности реки Плюсса-д.Брод, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 6)

#### 7. Река Нева-д. Новосаратовка

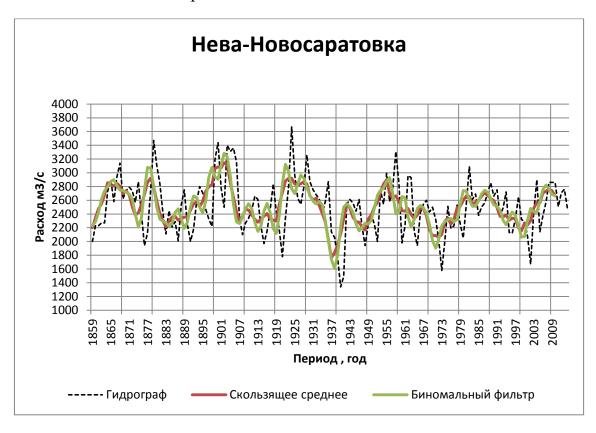


Рисунок 3.18. Гармонический анализ водности реки Плюсса-д.Брод, согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 7)

Для оценки синхронности и синфазности колебаний требуется построить совмещенный график сглаженных кривых по методу скользящей средней арифметической. Так как ряды отличаются по водности, для удобства они были разделены на два графика с совместными периодами наблюдения:

В первом графике были помещены: р.Плюсса-г.Плюсса, р.Плюсса-д.Брод, р.Тихвинка- д.Горелуха, р Луга д.Толмачево (Рисунок 3.19). Во втором графике: р.Мста- д.Девкино,р.Великая-д.Пятоново.

На рисунке 3.19 и 3.20 хорошо наблюдается синфазность рядов, особенно заметно это на реках с похожими по расходам гидрологическими режимами.

Еще одной особенностью является то, что на всех реках наблюдается увеличение водности с 1970, что подтверждает теорию о повышении уровня воды.

При анализе графиков, можно рассмотреть 30 летние циклы, которые наблюдаются примерно 1940 по 1975 годы и 1975 по 2010 годы

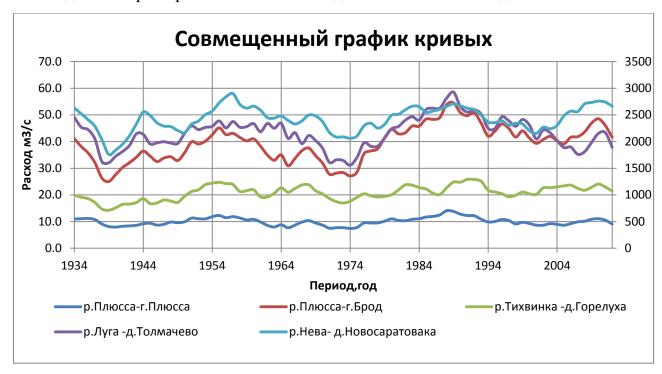


Рисунок 3.19. Совмещенный график сглаженных кривых по методу скользящей средней для р.Плюсса-г.Плюсса, р.Плюсса-д.Брод, р.Тихвинка-д.Горелуха, р Луга д.Толмачево.

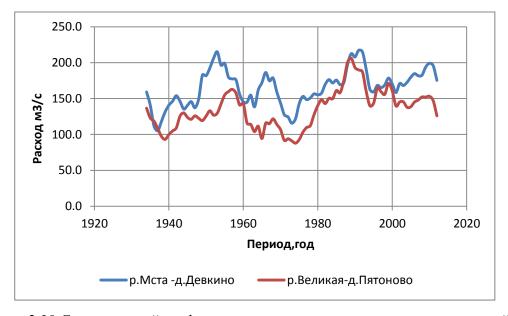


Рисунок 3.20 Совмещенный график сглаженных кривых по методу скользящей средней для р.Мста-д.Великая, р.Великая-д.Пятоново

Не меньший интерес представляет индекс увлажненности. С помощью индекса влажности, можно предположить как могут влиять осадки на изменение водности рек. Таким индексом служит индекс Де Мартона. Он

представляет собой отношение годовой суммы осадков к средней годовой температуре воздуха.

Нанесем индекс Де Мартона на Совмещенный график сглаженных кривых по методу скользящей средней для р.Плюсса-г.Плюсса, р.Плюсса-д.Брод, р.Тихвинка-д.Горелуха, р Луга д.Толмачево.

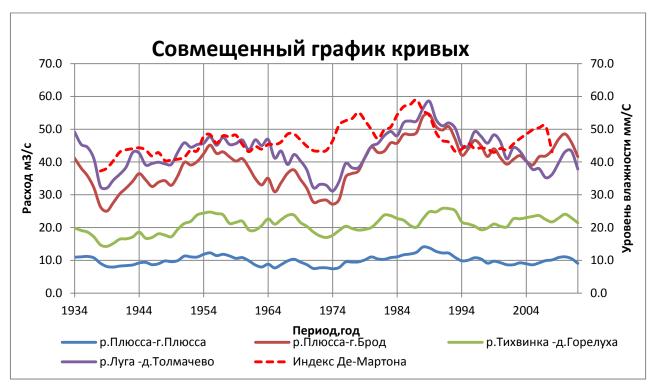


Рисунок 3.21 . Совмещенный график сглаженных кривых по методу скользящей средней с индексом Де Мартона

На рисунке 3.21 заметна относительная синхронность индекса Де Мартона и уровней расхода воды исследуемых рек, что подтверждает взаимосвязь увлажненности и водности рек.

## 3.3.2 Гармонический анализ водности озер. Ладожское озеро

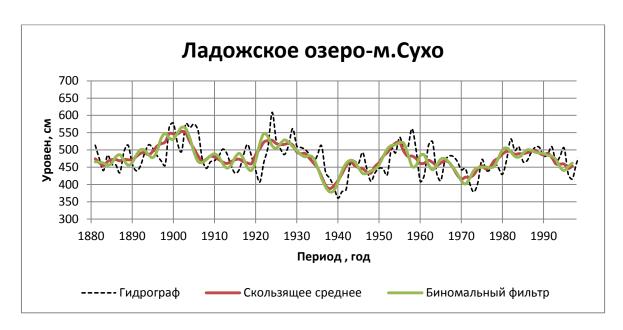


Рисунок 3.22. Гармонический анализ водности Ладожского озера согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 8)

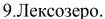




Рисунок 3.23. Гармонический анализ водности Лексозера согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 9)

10.Озеро Сяберо

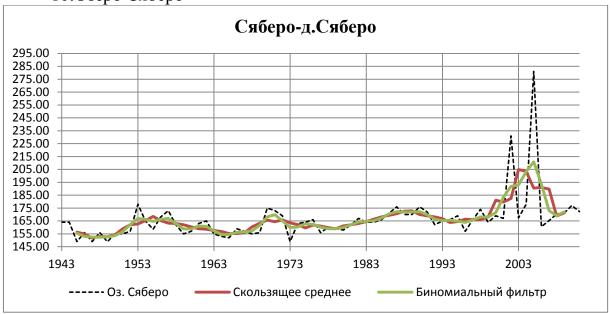


Рисунок 3.24. Гармонический анализ водности озера Сяберо согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 10)

## 11. Череменецкое озеро.



Рисунок 3.25. Гармонический анализ водности озеро Череменецкого согласно данным объединённой таблицы с расчетными характеристиками (Приложение 11)

Для оценки синхронности и синфазности требуется построить совмещенный график сглаженных кривых по методу скользящей средней арифметической для озер за совместный период наблюдения.



Рисунок 3.26. Совмещенный график гармонических кривых озео.

Анализируя график, исследуемые озера разделим на две пары. Ладожское озеро и Череменецкое, а также Озеро Сяберо и Лексозеро имеют синфазность сглаженных рядов. В то же время очевидно, что пары между собой имеют асинфазность рядов. Первая пара имеет тенденцию к уменьшению уровней воды, в вторая пара, напротив, к увеличению.

Для анализа влияния увлажнения на уровень водности озер, поместим на график индекс Де Мартона,:

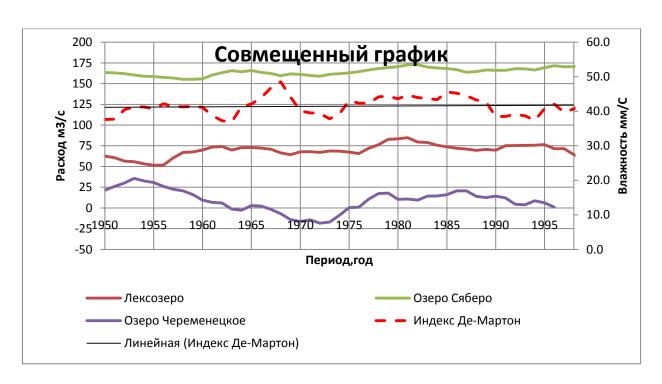


Рисунок 3.27. Совмещенный график сглаженных кривых и индекса Де-Мартона

Индекс Де-Мартона имеет положительный тренд, влияющий на Черенеменецкое озеро. Черенемецкое и Ладожское озера имеют схожие сглаженные гидрографы, из чего можно сделать вывод, что индекс влажности практически не влияет на уровень воды в озере.

### 4. Общий анализ полученных результатов исследуемых рек и озер

В результате произведенных расчетов и графического анализа уровней водности рек и озер можно сделать некоторые выводы.

Циклы водности лучше всего проявляются на реках и озерах с большим водосбором. Это хорошо видно на сглаженных гидрографах (Рисунок 3.19 Рисунок 3.20 и Рисунок3.26). Для подтверждения результатов составлены две таблицы. В первой указаны реки, а во второй - озера, ранжированные по размеру водосбора, а также их основные гидрологические характеристики.

Таблица 3.3. Совмещенная таблица расчетных параметров рек.

Номер	Река-створ	Площадь водосбора	Коэффициент автокорреляции	σ	Cv
1	р.Плюсса-г.Плюсса	1440	0,23	0,19	0,27
2	р.Тихвинка- д.Горелуха	2000	0,24	2,61	0,24
3	р.Плюсса-д.Брод	5090	0,38	10	0,25
4	р.Луга-д.Толмачево	11900	0,22	11,7	0,26
5	р.Великая- д.Пятоново	20200	0,34	40,3	0,3
6	р.Мста-д.Девкино	22500	0,32	43	0,26
7	р.Нева- д.Новосаратовка	28000	0,55	396	0,16

Таблица 7 наиболее точно показывает влияние площади водосбора на цикличность ряда. Чем больше площадь водосбора, тем больше становится внутренняя связь и среднеквадратическое отклонение.

Для сопоставления результатов, рассмотрим таблицу озер.

Таблица 3.4. Совмещенная таблица расчетных параметров озер

Номер	Озеро	Площадь водосбора	Коэффициент	٥	Cv
			автокорреляци и		
1	Озеро Сяберо	47,9	0,16	17	0,1
2	Озеро Череменецкое	496	0,46	18	2
3	Лексозеро	3450	0,2	13,6	0,2
4	Ладожское озеро	258600	0,87	101,6	0,35

На озерах имеется такая же связь размера водосбора с отчетливостью циклов колебания водности.

Спектральный анализ показал, что на всех объектах зафиксированы три вида циклов: 30 лет, 11 лет, 5 лет, которые соответствуют Брикмановским циклам. Исключения составляют Лекозеро и оз.Сяберо Самый мощный цикл на них длится 5 лет. Средний по мощности цикл на оз. Сяберо равен 15 годам, а на Лексозере равен 30 годам.

Также следует рассмотреть тенденции к увеличению или уменьшению водности, что отчетливо проявляется при помощи линии тренда. Согласно рисунку 46 можно сделать следующий вывод: на большинстве исследуемых объектах наблюдается повышение водности. Реки и озера, на которых зафиксировано понижение уровня, представляют собой малочисленную группу. Можно предположить, что на Северо-Западе в целом наблюдается повышение водности на реках и озерах.

Для наглядного изображения изменения водности рассмотрим карту с отмеченными объектами с уменьшающейся и увеличивающейся водностью.

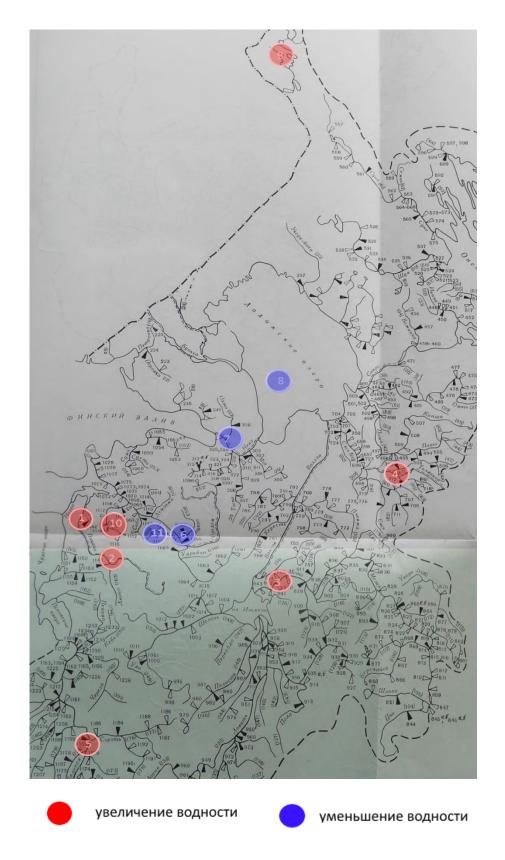


Рис 3.27. Карта изменения водности рек и озер

Анализ гармонических колебаний показал, что водность исследуемыех рек колеблется синфазно, а на озерах наблюдается совсем другая картина.

Озера разделились на две пары: Ладожское озеро и Череменецкое озеро имеет синфазность и на данных озерах фиксируется снижение уровня воды. Вторая пара, составляющая из Лексозера и Ладожского озера, так же имеет Синфазность между собой, но уровень водности в них со временем повышается. При этом первая и вторая пары между собой имеют асинфазность.

Для того что бы проверить, как влияет погода на исследуемые озера, на график был внесен Индекс Де-Мартона с территории Санкт-Петербура, Старой Руссы, и Великих Лук. Данные были сглажены при помощи скользящей средней арифметической, и на них были показаны линии трендов. Резльтаты представлены на Рис.47.



Рис 3.28. Индекс Де-Мартона для территории Санкт –Петербурга , Великих Лук и старой Руссы.

Рисунок 47 показывает, что Индексы Де-Мартона имеют общую синфазность и дастаточно близкие значение. Это дает возможность сделать предположение, что на всей исследуемой территории увлажнение отличается незначительно. Также видно, что на всех трех сглаженных кривых уровень тренда стремится к увеличению. По результатам анализа рисунков 47, 39, 45

можно сделать следующий вывод: уровень влажности влияет на уровень водности рек и практически не оказывает никакого влияния на уровень озер.

#### Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе были решены поставленные задачи, в результате можно сделать следующие выводы:

1.На большинстве исследуемых реках и озерах выделяются три вида циклов, имеющие название Брикнеровских циклов. Первый и самый мощный цикл имеет продолжительность 25-30лет, второй цикл является средним по мощности и продолжительность его составляет 5 лет, третий цикл имеет самую маленькую мощность, но продолжительность его составляет 11 лет. Но имеются исключения. На некоторый озерах мощный цикл равен 5 годам, а средний равен 15 годам.

- 2. Наиболее четко выделяются циклы на реках и озерах с большой площадью водосбора. Чем больше площадь водосбора, тем больше становятся параметры распределения, становится более мощный пик на спектральном анализе и более точно выражены циклы на графиках гармонических колебаний.
- 3.Все исследуемые реки имеют общую синфазность, но на озерах, результаты абсолютно другие. Они разделились на пары, которые синфазны внутри пар и асинфазны между парами. Также отличается изменение водности.
- 4. Чтобы определить, как влияют осадки на водность, был введен индекс Де-Мартона. На исследуемых реках Индекс Де-Мартона имеет синфазность с гармоническими кривыми, что подтверждает зависимость водности рек и от выпадающих осадков. Однако, результаты показали, что влажность практически не влияет на уровень озер.
- 5. Можно с уверенностью сказать, что после 1970 года было замечено незначительное увеличение водности на большинстве исследуемых рек. На этот вывод наталкивают результаты анализа гармонических графиков. Было отмечено территориальное изменение водности на исследуемых объектах.

Увеличение водности зафиксировано на западе и на востоке региона, а уменьшение - в северной части региона.

### Список литературы

- 1. Под редакцией Водогрецкого В.Е. Ресурсы поверхностных вод , том 2, часть1[Текст], Л.: Гидрометеоиздат, .: 1972-526с.
- 2. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации [Текст]. Учебник. Специальность «Гидрология» направления подготовки «Гидрометеорология». СПб.: изд. РГГМУ.: 2007. 279 с.
- 3. Владимиров А.М.Гидрологические расчеты [Текст] Учебник. Л.: Гидрометеоиздат.: 1990-364 с.
- 4. Рождественский А.В. Статистические методы в гидрологии [Текст]/ Рождественский А.В, Чеботарев А.И. Л.:Гидрометеоиздат.1974.-416с.
- 5. Под редакцией Алимова А.Ф. Состояние окружающей среды Северо-Западного и Северного регионов России. [Текст] Спб.: Наука.:1995-370с.
- 6. Википедия. Северо-Западный Федеральный округ [Электронный ресурс]. https://ru.wikipedia.org/wiki/Северо-Западный\_федеральный\_округ/. (Дата обращения 15.05.2016г)
- 7. Реки Северо-Запада Российской Федерации [электронный ресурс]. http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1248095/. (Дата обращения 15.05.2015)
- 8. Ладожское озеро. Описание водного объекта. [электронный ресурс]. http://www.locman.net/ladoga.htm/. (Дата обращения 15.05.2015)
- 9. Лексозеро. Описание водного объекта. [электронный ресурс]. . http://vedlozero.ru/knowledge/biodiversity-karelia/ozera-reki/413-leksozero.html/. (Дата обращения 15.05.2015)
- 10. Озеро Сяберо и озеро Череменецкое. [электронный ресурс]. . http://fishtouring.com/47/lakes/96/. (Дата обращения 15.05.2015)
- 11. Кокорин А.О. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК[Текст]. М.:Всемирный фонд дикой природы(WWF)/:2014-80c