



# ЖЁЛТЫМ ЦВЕТОВ ВЫДЕЛЕНО ВСЕ НЕПОНЯТНОЕ\ВОЗМОЖНО ЛИШНЕЕ)

Оглавление

Введение

Глава 1. Физико географическое описание водосбора Невской губы

1.1. Местоположение

1.2. Рельеф

1.3. Климат. Характеристика температуры, осадков, испарения

1.4. Гидрология. Характеристика речного стока, ледовых явлений, озер (Ладожское, Онежское, Ильмень), болот

1.5. Растительность

Глава 2. Математический аппарат

2.1. Выделение периодов водности (разностные интегральные кривые)

2.2. Статистические параметры (критерии однородности, коэффициенты вариации и асимметрии)

2.3. Модель формирования стока

2.4. Модель водоема

2.5. Оценка прогноза

Глава 3. Характеристика изменчивости гидрометеорологических характеристик в бассейне Невской губы

3.1. Осадки

3.2. Температура

3.3. Речной сток

3.4. Уровни озер (Ладожское, Онежское, Ильмень)

3.5. Уровни Невской губы

Глава 4. Моделирование процесса формирования стока в Невскую губу

4.1. Параметризация модели водоемов: оз. Ладожское, оз. Онежское,

оз. Ильмень

4.2. Параметризация модели формирования стока

4.3. Оценка прогнозов стока на независимом материале

Заключение

Список использованной литературы

Приложения

## Введение

Бассейн реки Невы – огромная территория, занимающая более 281000 км<sup>2</sup>. Параметры гидрометеорологических характеристик бассейна реки Невы являются *предметом исследования*.

Сток реки Невы – это главная формирующая гидрологическая характеристика Невской губы, а потому причина накопления воды в пределах её акватории во время работы Комплекса защитных сооружений (КЗС) Санкт-Петербурга от наводнений.

Невская губа (иное название Маркизовалужа) – восточная часть Финского залива. Невская губа принимает сток с 67 % площади водосбора всего Финского залива. Если линию КЗС принять за современную западную границу губы, то площадь водного зеркала губы при уровне, близком к ординару, составит 380 км<sup>2</sup>, а объем водной массы 1,2 км<sup>3</sup>. Длина губы в указанных границах 21 км, наибольшая ширина 15 км. Средняя естественная глубина губы около 3,0 м. Дно преимущественно песчаное и плоское.

Внутри КЗС может создаваться значительный наклон уровня за счет ветрового нагона. Этот вывод подтвержден данными наблюдений во время наводнений 2011 и 2013 гг. При этом у КЗС уровень может быть относительно низким, в то время как западный ветер создаст нагонный подъем уровня в дельте р.Невы у Санкт-Петербурга до 1.5 м. Имея в виду общий подъем уровня в Невской губе при закрытом КЗС, этот дополнительный нагонный подъем может быть опасен и должен быть учтен при оперативных мероприятиях.

**Целью работы является разработка и апробация методики прогноза речного стока в Невскую губу для оптимального регулирования комплексом защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений.**

Для достижения поставленной цели решается ряд *следующих задач*:

1. Сбор и анализ *исходных материалов* – гидрометеорологической базы данных (осадки, температура, речной сток, **уровни озер, уровни в Невской губе**).

2. Расчет статистических параметров гидрометеорологических характеристик водосбора Невской губы.
3. Разработка методики моделирования речного стока для водосбора Невской губы.
4. Параметризация модели формирования стока и модели водоема.
5. Оценка прогнозов стока на независимом материале.

#### 6. Оценка допустимого времени закрытых створов КЗС.

Таким образом, изучение тенденций изменений речного стока, выступающего *объектом исследования*, и формирующих его осадков бассейне р. Невы, оценка допустимого времени закрытых створов КЗС являются *актуальной задачей*.

## 1 Физико-географическое описание водосбора Невской губы.

### 1.1 Местоположение

Водосборная площадь Невской губы расположена на территории нескольких субъектов Северо-Западного федерального округа Российской Федерации (81,4 %): Санкт-Петербург, Ленинградская, Новгородская, Вологодская области, Республика Карелия; а также часть водосборной площади находится в Финляндии (18,5 %). Карта водосбора Невской губы представлена на рис.1.

Система гидрологических характеристик Невской губы формируется, главным образом, стоком реки Невы. Это протока между Ладожским озером и Финским заливом длиной 74 км. Она берет начало в Шлиссельбургской губе Ладожского озера и впадает в Невскую губу Финского залива, образуя из множества рукавов, проток, каналов обширную дельту, на которой расположен город Санкт-Петербург. Бассейн Невы – обширная территория, однако только 1,8 % площади всего водосбора р.Нева непосредственно участвует в формировании нагрузки на Финский залив. Это собственный (частный) водосбор р.Нева (от истока из Ладоги до устья) площадью ~5500 км<sup>2</sup>. Остальная часть территории бассейна р.Нева является водосбором Ладожского озера, включающего водосборы озер Онежского и Ильмень.

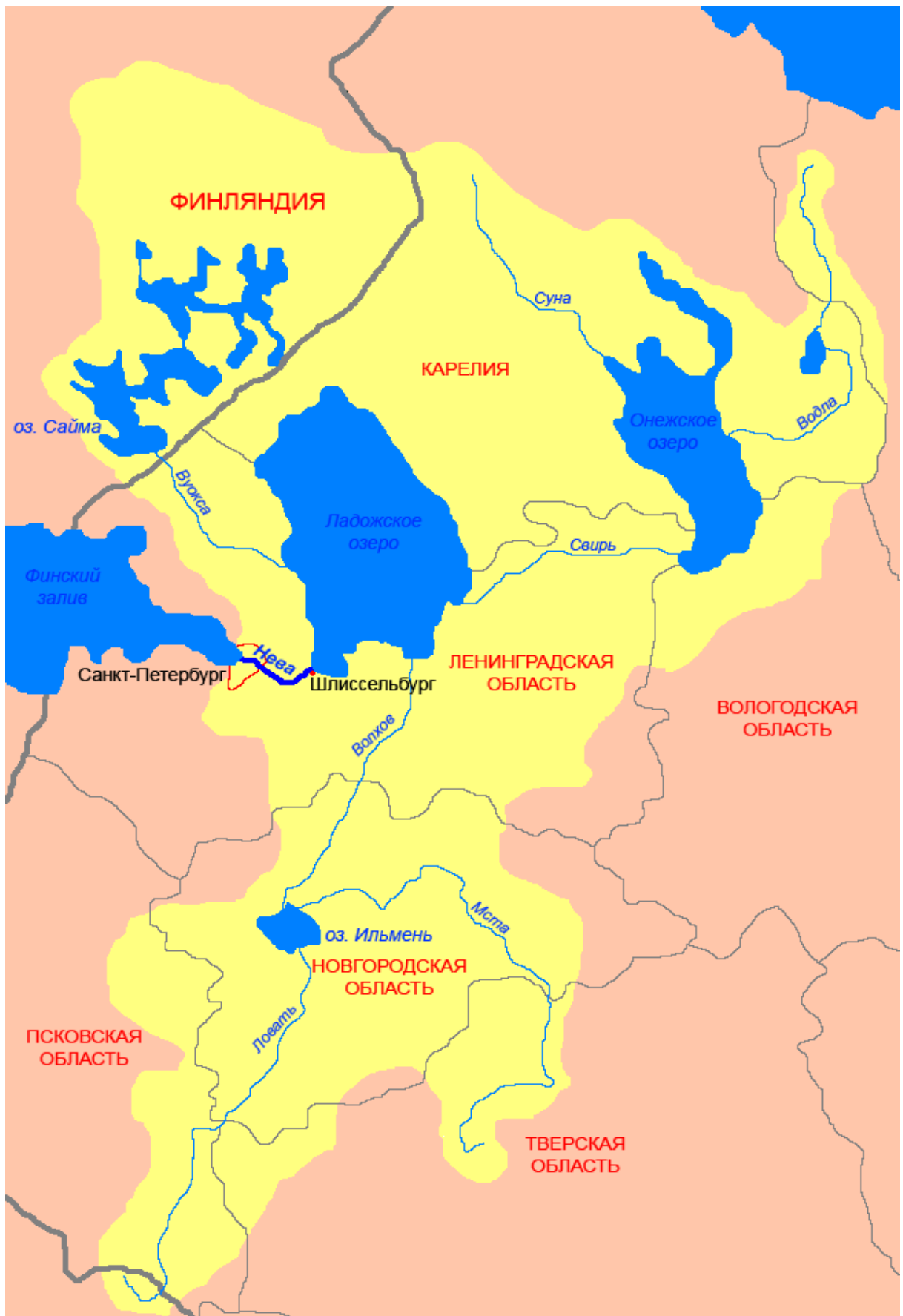


Рис. 1 Карта водосбора Невской губы.

## 1.2 Рельеф

Территория бассейна р.Нева относится к двум физико-географическим странам: Балтийский щит и Русская равнина.

Современный рельеф бассейна сформировался во время Валдайского оледенения в период от 50 до 10 тысяч лет тому назад, что и определило разнообразие «последледникового» рельефа. На Балтийском кристаллическом щите преобладал вынос (с выходом на поверхность скальных пород), а на Русской равнине – аккумуляция ледниковых наносов.

Большую часть территории занимают низменные пространства: Невская и Приладожская низменности, Вуоксинская и Свирская низины и др. Среди обширных равнин выделяются участки холмистых образований и гряды, имеющие водно-ледниковое происхождение.

Среди возвышенностей района можно выделить: обширное Ижорское плато (до 160 м), Вепсовскую и Лемболовскую возвышенности (от 200 до 300 м), Тихвинскую гряду (до 280 м), отдельные небольшие возвышенности вблизи Санкт-Петербурга: Дудерговские, Пулковские и Парголовские высоты (от 100 до 300 м) и др.

Балтийско-Ладожская область ограничена на юге глинтом – уступом, протянувшимся вдоль южного берега Финского залива и Ладожского озера от г.Нарвы до р.Волхов. Максимальные абсолютные высоты бровки глинта – на Ижорское возвышенности.

Волховско-Ловатская область представляет собой равнину, наклонена от периферии к центру (к Ильменской низине и к Ладожскому озеру).

Озерно-ледниковые равнины окаймляются поясом моренных равнин с отметками высот от 50 до 110 м. Они имеют выровненную поверхность, на которой иногда встречаются скопления валунно-галечного материала. К этой полосе приурочены обширные водораздельные болотные массивы.



### 1.3 Климат

Водосборный бассейн Невы, принадлежащий Балтийской водной системе, расположен в умеренном климатическом поясе, атлантико-континентальной лесной области, западной подобласти. Под воздействием морских атлантических и континентальных воздушных масс умеренных широт, частых вторжений арктического воздуха и активной циклонической деятельности формируется климат, основными особенностями которого являются высокая влажность воздуха, умеренно теплое и влажное лето и довольно продолжительная умеренно холодная зима с частыми оттепелями.

Циркуляция атмосферы в основном определяет формирование климата в холодный период, когда с атлантическими циклонами поступает значительное количество тепла, за счет которого зима смягчается, а осень оказывается теплее весны.

Весной и летом циклоническая деятельность существенно ослабевает, в связи с чем повышается климатообразующая роль радиационных факторов. Разнообразие синоптических процессов и частая смена воздушных масс являются причиной больших межсуточных колебаний метеорологических параметров. Перепады температуры воздуха, обусловленные сменой воздушных масс, могут значительно превышать амплитуду суточных колебаний и нередко достигают  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  и более.

Летом изменчивость температуры воздуха по территории не велика.

В условиях развития глобального потепления отмечаются изменения температуры воздуха. В последние десятилетия в исследуемом регионе во все месяцы года они имеют однонаправленную положительную тенденцию. Отмечается тенденция к росту осадков в зимние месяцы, и их уменьшение в другие сезоны.

На территории бассейна наблюдаются практически все опасные метеорологические явления: сильные ветры, в т.ч. шквалы и смерчи, снегопады, метели, гололед, туман, сильные морозы, кратковременные интенсивные ливни и продолжительные дожди, грозы, град, лесные пожары, засуха и наводнения.

### Температура воздуха

Самым холодным месяцем на большей части территории является январь, температура которого колеблется от  $-8^{\circ}\text{C}$  в западной до  $-11^{\circ}\text{C}$  в восточной части области, довольно близка к нему температура февраля. Самым жарким месяцем является июль, с температурой  $16-17^{\circ}\text{C}$ .

Близость водоемов для экстремальных величин температуры воздуха также играет немаловажную роль. Самая низкая температура наблюдается в Тихвине и Волхове, а в Новой Ладогге и Свирице температура почти круглый год выше на  $1-5^{\circ}\text{C}$ .

Распределение абсолютных максимумов по территории более сглажено, что можно объяснить особенностями циркуляции в разные полугодия. Низкие температуры отмечаются при выносах холодных арктических масс при ослаблении турбулентности в ясные тихие ночи.

Период с устойчивыми морозами продолжается в среднем 102 дня. Средними датами их наступления и прекращения являются 4 декабря и 15 марта.

Характерной особенностью холодного периода являются оттепели. В начале и середине зимы они, как правило, имеют адвективное происхождение, в конце – радиационное. Среднее число дней с оттепелью составляет: в декабре – 12; в январе – 7,7; в феврале – 6,3; а в марте – 15,8.

## Атмосферные осадки

В среднем по региону выпадает 600-700 мм в год. В годовом ходе минимум наблюдается в феврале-марте, иногда в июле.

Вследствие развития циклонической деятельности наибольшее за год количество осадков выпадает в летний период – 66 % (IV–X), в холодное время года (XI–III) – 34 % от общего количества осадков. Изменчивость месячных сумм осадков из года в год, довольно велика, особенно в теплый период. Большая часть осадков выпадает в жидком виде (60 – 70 %), на твердые осадки приходится 25 – 30 %, остальная часть - смешанные осадки.

## Испарение с поверхности суши и водоемов

Годовой слой испарения составляет 380 мм в год для большей части территории, изменяясь от 10-30 мм в марте-апреле, сентябре-октябре, до 90 мм в июне-августе. Максимум отмечается в июле в соответствии с теплообеспеченностью и максимумом температуры воздуха и радиационного баланса.

Годовой ход характеризуется интенсивным возрастанием величин от весны к лету и таким же быстрым убыванием их от лета к осени. В зимние месяцы, когда радиационный баланс отрицателен, и вследствие этого испаряемость близка к нулю, испарение практически отсутствует. Длина этого периода составляет в разные годы до 4 месяцев.

Суммарное испарение с поверхности речных водосборов в верхней и средней части бассейна Невы изменяется от 400 до 500 мм/год. Для территории бассейна Невы значение среднегодового испарения с водной поверхности по испарителям ГГИ-3000 составляет 450 мм, а отношение суммарного испарения к осадкам - 0,69.

## 1.4 Гидрология

Реки бассейна Невы и Ладожского озера по своему водному режиму относятся к восточно-европейскому типу по классификации Б.Д. Зайкова для которого характерно чётко выраженное весеннее половодье - от 50 до 80 % годового стока во внутригодовом распределении, и повышенная водность осенью. Остальная часть года характеризуется низкими расходами (летняя и зимняя межень).

Краткая характеристика водности основных рек и озер бассейна:

### Река Вуокса

В настоящее время сток реки зарегулирован множеством озер и работой 4-х ГЭС, две из которых находятся в Финляндии, которые в целом определяют её водный режим. Наиболее четко прослеживается недельное регулирование стока р. Вуокса.

В отличие от большинства рек Северо-Запада, на которых четко выделяется период весеннего половодья, летне-осенней и зимней межени, на Вуоксе наблюдается сглаженный сток в течение всего года. В многоводные годы наблюдается повышенный сток в течение всего теплого периода.

### Река Свирь

Водный режим р. Свирь определяется характером уровня режима в Онежском озере, а также работой Верхне-Свирской, Нижне-Свирской ГЭС, в нижнем течении - режимом уровней Ладожского озера. Плотины ГЭС разделили реку на три части.

Свирь имеет смешанное питание с преобладанием снегового. Годовой ход стока и уровней воды в естественных условиях характеризовался высоким

весенним половодьем, низкой зимней и летней меженью и летне-осенними паводками, вызываемыми дождями. Внутригодовое распределение стока определяется работой действующих ГЭС.

### Реки Оять и Паша

Реки имеют смешенное питание с преобладанием снегового. Годовой ход стока и уровней воды характеризуется высоким весенним половодьем, низкой зимней и летней меженью и летне-осенними паводками, вызываемыми дождями. В многоводные годы паводки наблюдаются и в течение летнего периода.

### Река Волхов

Волхов на всем протяжении от истока до плотины зарегулирован, находится в зоне переменного подпора и представляет собой русловую часть Волховского водохранилища.

Водный режим характеризуется отчетливо выделяющимися двумя фазами - весеннего половодья и осенне-зимнего паводка, весьма плавным очертанием графика хода расходов и уровня воды. Пик половодья значительно превышает пик осенне-зимнего паводка. В конце лета – начале осени отмечаются минимальные расходы воды. Осенне-зимние паводки наблюдаются чаще всего в ноябре – первой половине декабря. С декабря по март происходит понижение уровня реки.

### Река Сясь

Река имеет смешенное питание с преобладанием снегового. Годовой ход уровня на устьевом участке в значительной степени обусловлен влиянием

подпора от Ладожского озера, но весенний подъём уровня зависит от величины речного паводка. Весеннее половодье обычно начинается в марте - начале апреля и продолжается около месяца. Межень наступает обычно в середине или в конце мая. В маловодные годы межень достаточно устойчивая. В многоводные годы наблюдаются осенние паводки.

### Река Нева

Река Нева питается главным образом водами Ладожского озера. Дополнительное питание, получаемое рекой с бассейна собственно Невы, невелико – меньше 2% годового стока реки в устье. Водный режим реки сильно зарегулирован и полностью отражает особенности водного режима Ладожского озера.

Водность реки колеблется от года к году незначительно. В течение года максимальные расходы приходятся на июнь, а минимальные - на начало зимы, когда замерзает Шлиссельбургская губа. В результате появления ледяного покрова и скопления шуги перед истоком резко сокращается площадь живого сечения русла и снижается его пропускная способность, а расход стока уменьшается до 60%.

### Река Ижора

Особенностью Ижоры является обильное питание реки грунтовыми карстовыми водами. За период наблюдений самым многоводным годом был 1987 год, а самым маловодным - 1977 год. Осенние паводки повторяются практически ежегодно. В отдельные годы паводки наблюдаются в течение всего теплого периода, превышая расходы весеннего половодья.

В 8,7 км от устья в русле реки располагается плотина Ижорского водохранилища.

#### Река Охта

Питание реки регулируется озерами, расположенными в верховьях реки. Уровень воды в нижнем течении находится под влиянием изменения уровня воды в Неве, и, кроме того, от сбросов воды из Охтинского водохранилища. Весеннее половодье начинается в конце марта - начале апреля. Максимальные расходы воды наблюдаются либо в период весеннего половодья, либо в период осенне-зимних паводков.

#### Река Госна

Водосбор реки заболочен и покрыт лесом. Ледостав на реке устанавливается в конце ноября - начале декабря. Весенний подъем уровня воды начинается в конце марта – начала апреля. Осенние паводки повторяются почти ежегодно, в многоводные годы паводки наблюдаются в течение всего летне-осеннего периода.

#### Река Мга

Ледостав реки устанавливается в начале декабря, весеннее половодье начинается в начале апреля, паводки в отдельные годы наблюдаются в течение всего летне-осеннего периода.

## Ладожское озеро

Уровенный режим озера характеризуется медленным и плавным подъемом уровней весной вскоре после поступления талых вод в озеро. Подъем продолжается чаще всего до июня, когда и наблюдаются наивысшие уровни. Амплитуды годовых колебаний уровня составляют от 20 до 100 см. Низшие уровни наступают обычно в январе-феврале.

Температура воды в поверхностном слое в летнее время меняется в довольно широких пределах. В прибрежной части озера температура воды достигает 24-25 °С, а в глубоководной северной части только 15-17 °С. Ледообразование на Ладоге представляет собой сложный процесс, растягивающийся на несколько месяцев. Раньше всего, обычно в середине ноября, ледовые явления наблюдаются в юго-восточной части озера.

Центральная и северо-западная части, обладающие большими глубинами, покрываются льдом в январе. Наиболее открытая часть озера замерзает не каждый год. Вскрытие озера начинается с центральных частей. В конце февраля - начале марта плавающие льды под влиянием ветра постепенно разрушают кромку льда.

Средняя дата окончания ледостава 21 апреля. Наибольшая часть льда тает внутри озера. Раньше всего (в апреле) ото льда освобождается южная часть озера. Часть льда из Ладожского озера выносится в Неву.

Ладога довольно бурлива. Штили наблюдаются в течение короткого времени чаще всего летом, в июне. Наиболее сильное волнение имеет место осенью.



## Онежское озеро

Сток из Онежское озеро зарегулирован Верхне-Свирской ГЭС. Реки приносят до 74 % приходной части водного баланса Онежское озеро (15,6 км<sup>3</sup> в год), 25 % приходится на атмосферные осадки. 84 % расходной части водного баланса приходится на сток из озера по р. Свирь (в среднем 17,6 км<sup>3</sup> в год), 16 % - на испарение с водной поверхности.

Наивысшие уровни воды озера в июне - августе, низшие - в марте - апреле. Абсолютный размах колебаний уровня около 190 см (в течение года в среднем около 50 см). При сгонах и нагонах различие уровней северной и южной части Онежское озеро достигает до 60-65 см.

На озере наблюдаются сейши. Для Онежское озеро характерны различия в температурном режиме глубокой центральной части и мелководных прибрежий. Наибольшая температура воды у поверхности в открытой части в августе до 20-24 °С, в заливах до 24-27 °С, у придонных слоев воды от 2 до 2,5 °С зимой, до 4-6 °С летом. Замерзает в центральной части в середине января, в прибрежной части и в заливах - в конце ноября-декабре. В конце апреля вскрываются устья притоков, открытая часть озера - в мае. Озеро свободно от льда в среднем 180 - 195 дней. Прозрачность воды до 8-9 м, у берегов от 1-2 до 3-4 м. Вода пресная, с минерализацией 35 мг/л.

## Озеро Ильмень

Нормальный годовой ход уровня озера характеризуется весенним половодьем, растянутым от апреля до июля, с большим пиком высотой в среднем 3-4см, после которого заполненная озерная котловина начинает расходовать свои запасы путем стока через р.Волхов. В дальнейшем ход уровня характеризуется плавным спадом в июне-октябре (летняя межень), после чего вновь наблюдается незначительный осенний подъем в октябре-ноябре, плавно

снижающийся к зимней межени. Минимальный уровень озера наблюдается в конце лета - начале осени. Максимум уровня, наблюдается в первой половине мая.

Ледостав на озере наблюдается с конца ноября до середины апреля.

Распределение температуры поверхности воды у берега и на акватории зависит от метеорологических условий и от сезона. В мае, как правило, температура воды у берега превышает температуру воды на акватории на 0,2-1,5 °С, в июне-августе температура воды на акватории несколько выше (на 0,2-0,4°С) температуры воды у берега. Из-за мелководности озеро быстро прогревается.

Болота занимают значительную часть площади (около 15 %). Многие из них образуются в результате зарастания озер. Часть болот появляется вследствие заболачивания на водонепроницаемых почвах, в низких местах. Больше распространены верховые и переходные болота. Некоторые болота объявлены охраняемыми территориями, поскольку являются важнейшим звеном экологической системы.

### 1.5 Растительность

Территория бассейна расположена в таежной зоне. Бóльшая часть территории расположена в подзоне южной тайги, где в хвойных лесах есть незначительная примесь широколиственных пород. В их подлеске много растений из южных широколиственных лесов.

К югу отмечается переход от хвойных лесов к смешанным.

На северо-востоке (бассейны рек Свирь и Оять) преобладает подзона средней тайги, где характерно слабое развитие подлеска и отсутствие

широколиственных лесов на водоразделах. Они встречаются частично на южных защищенных склонах и в долинах рек.

На Ижорской возвышенности и в некоторых местах юго-запада - растительность, типичная для смешенной широколиственно-хвойной тайги.

Лесные массивы на территории бассейна занимают примерно 55% общей площади.

Лесные ресурсы сильно истощены. Коренные сосновые и, особенно, еловые леса сохранились преимущественно на северо-западе и востоке района. В основном, на территории бассейнов рек коренные леса замещены малоценными и малопродуктивными производными мелколиственными лесами и мелколесьями, занятыми берёзами, осинами, ольхой серой и др. породами. Большинство территорий, прилегающих к Санкт-Петербургу, заняты под сельскохозяйственное производство.

## Глава 2. Математический аппарат

В качестве исходных данных изучаемого региона использовались среднемесячные и максимальные за год расходы воды по 19 гидрологическим постам. Основные сведения по расчетным створам представлены в Таблице 1.

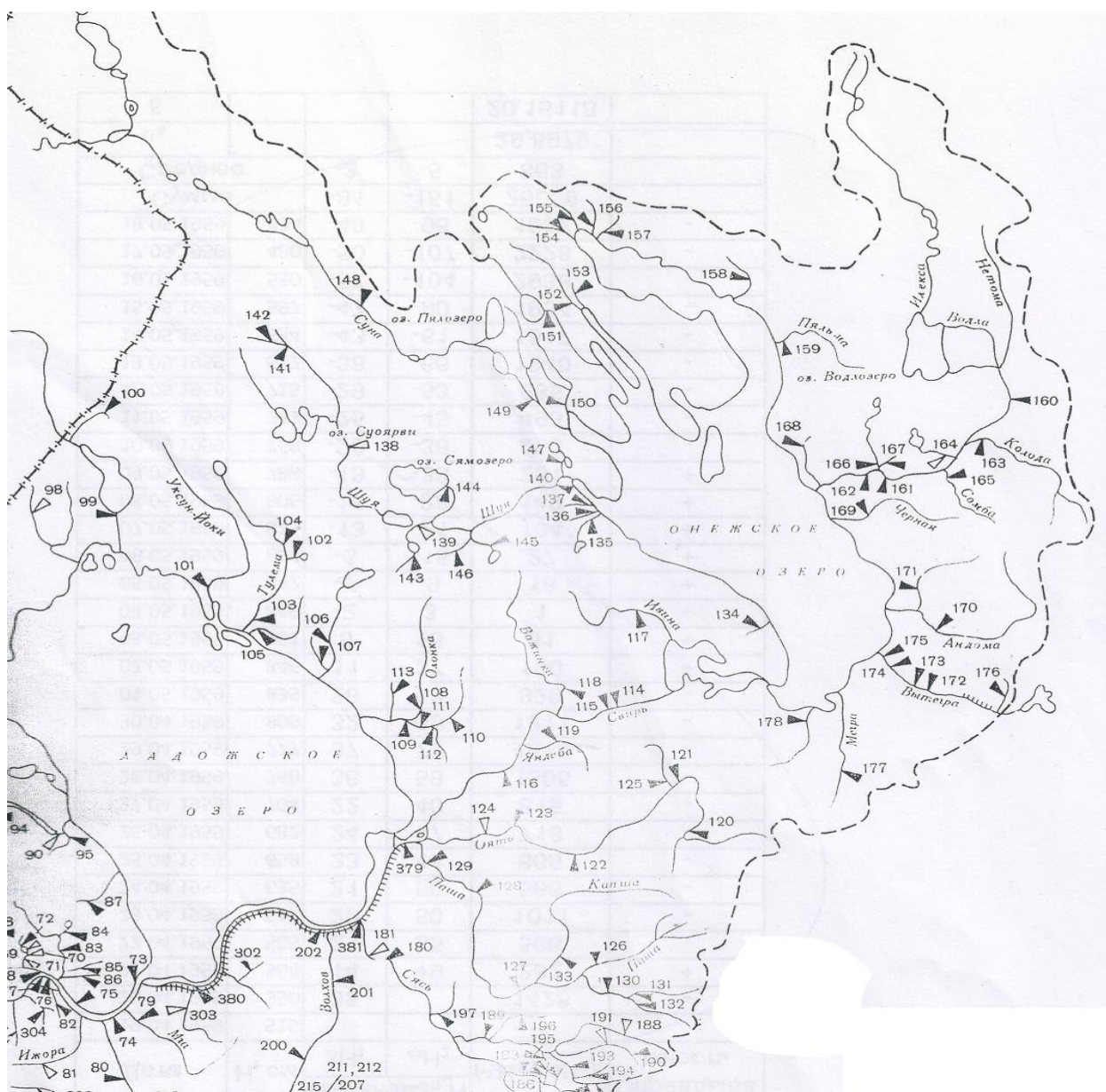


Рис. 1 Гидрологические посты северо-западной части бассейна Невской губы.

Таблица 1 Основная информация по исследуемым рекам.

№	Река - Пост	Период наблюдений, гг	Площадь водосбора, F км <sup>2</sup>
1	Нева - д. Новосаратовка	1859-2014	281000
2	Волхов - VI ГЭС	1944-2014	80200
3	Сясь - д. Яхново	1963-1966	7330
4	Паша – Часовенское	1935-2014	6650
5	Оять - д. Акулова Гора (Шангиничи)	1963-2014	5220
6	Свирь - XII ГЭС	1963-2014	84400
7	Олонка - с. Верховье	1957-2014	2620
8	Тулема - пгт Салми	1957-2014	1720
9	Уксуи-Йоки - д. Ууксу	1961-2014	1080
10	Вуокса - X ГЭС	1945-2014	68501
11	Водла - д. Харловская (Пудож)	1942-2014	137000
12	Черная - с. Каршево	1960-2014	616
13	Андома - д. Рубцово	1967-2014	2570
14	Вытегра - Вытегорский гидроузел	1964-1992	1670
15	кан. Кондопожский - Кондопожская ГЭС	1963-2014	6840
16	кан. Пионерский (Суна-Пальозерский) - Пальозерская ГЭС	1963-2014	7670
17	Шуя - д. Бесовец	1926-2014	10100

№	Река - Пост	Период наблюдений, гг	Площадь водосбора, F км <sup>2</sup>
---	-------------	-----------------------	--------------------------------------

18	Свирь – Мятусово	--	84400
19	Вуокса (Бурная)	1953-1958	--

## 2.1. Выделение периодов водности

Для иллюстрации колебаний внутригодового стока рек бассейна Невской губы, сформированных по данным Приложения А, представлены хронологические графики среднегодовых и максимальных за год расходов воды трёх рек на рис. 2, 3 и 4.

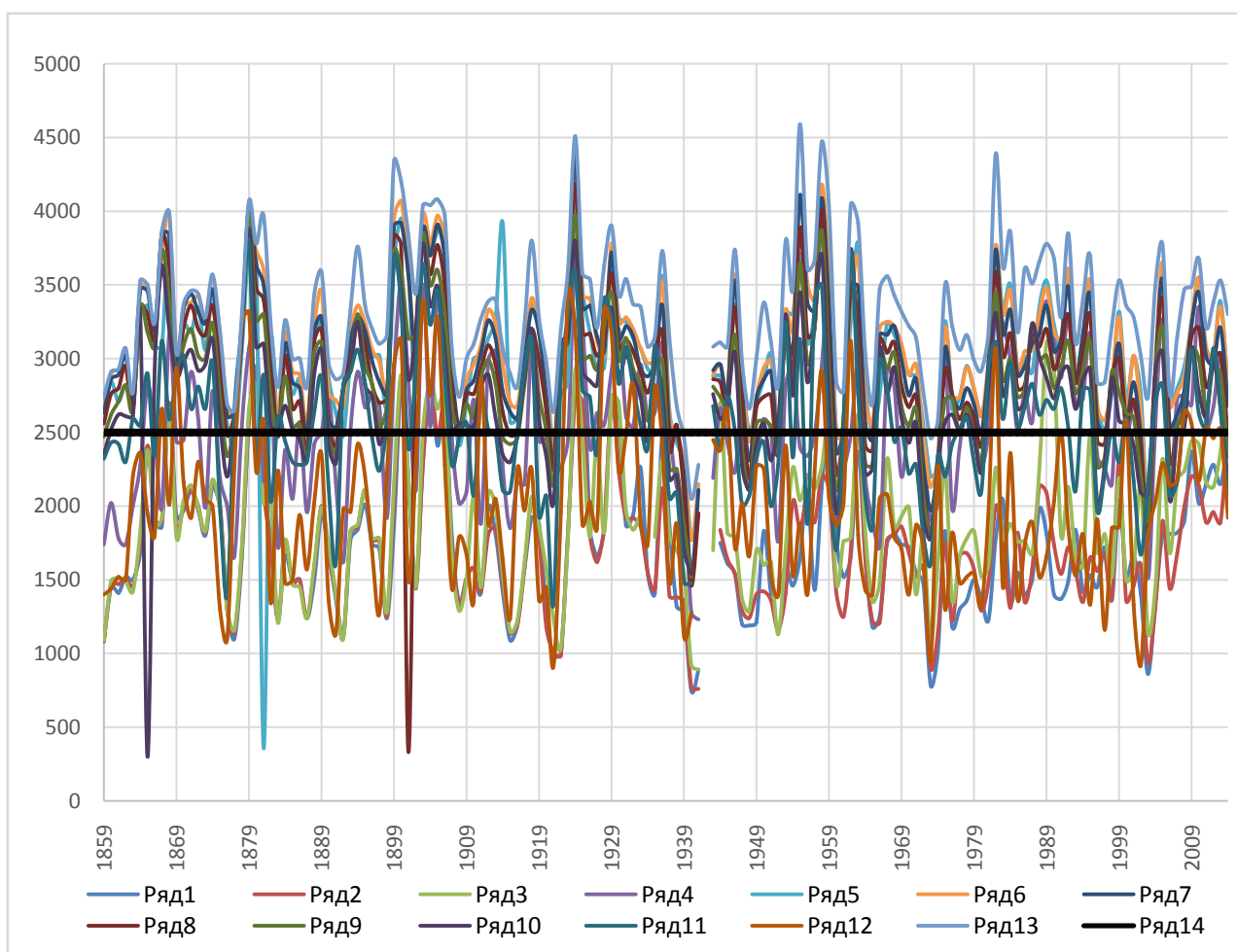


Рис.2 Хронологический график среднегодовых и максимальных за год расходов воды реки Нева за период 1859-2014 гг.

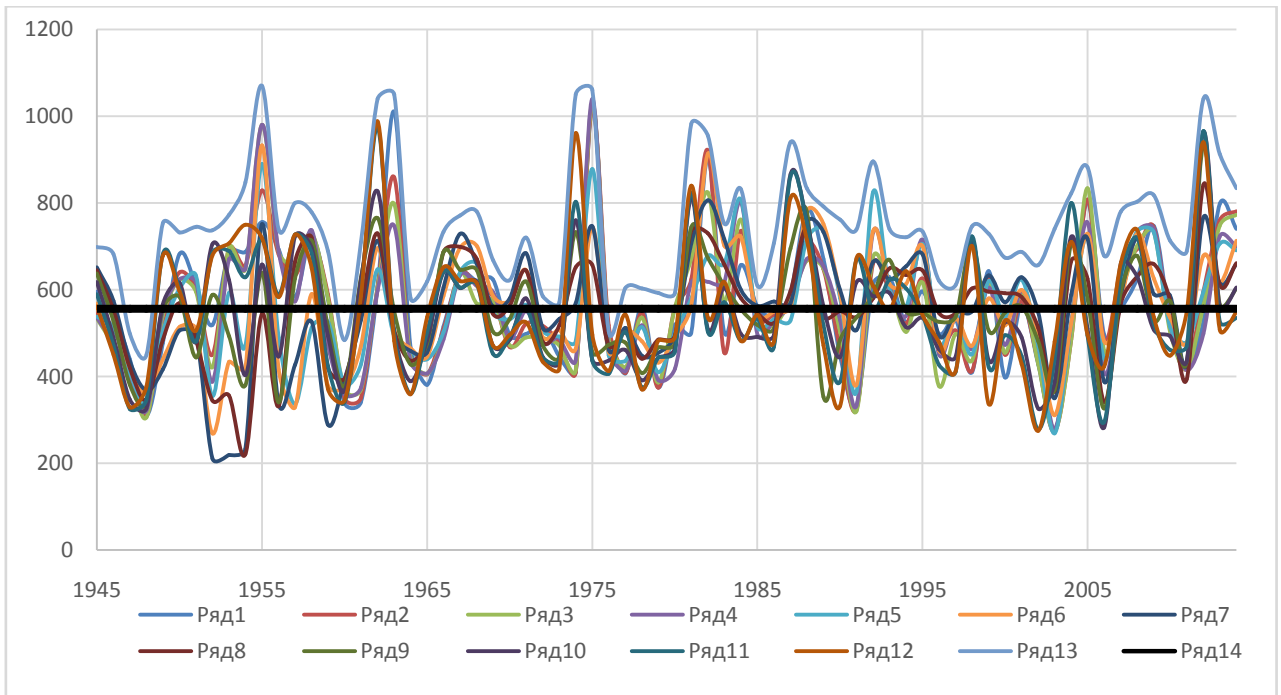


Рис.3 Хронологический график среднегодовых и максимальных за год расходов воды реки Вуоксы за период 1945-2014

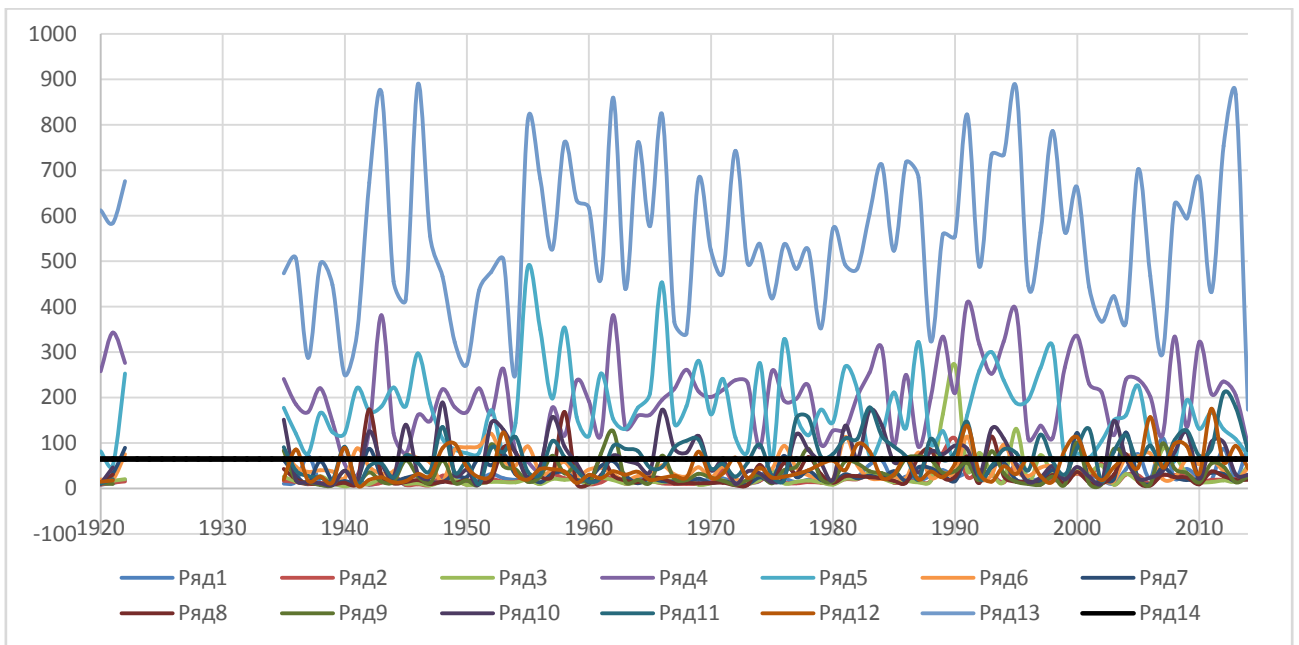


Рис.4 Хронологический график среднегодовых и максимальных за год расходов воды реки Паша за период 1920-2014.

В рядах годового стока рек, как правило, наблюдается чередование групп маловодных и многоводных лет, что приводит к образованию «циклов водности». Один цикл водности включает в себя маловодную и многоводную фазы. Наиболее наглядное представление о циклах колебаний годового стока дает разностная интегральная кривая, которая представляет собой график зависимости:

$$f(t) = \frac{\sum_{i=1}^n k_i - 1}{C_v}$$

$C_v$ -коэффициент вариации;

$k_i = \frac{X_i}{\bar{X}}$ -модульный коэффициент.

Для построения разностных интегральных кривых используются результаты расчетов из Приложения Б и координаты из Приложения В. Графики оформлены в Приложении Г, а также они представлены на рис.5 и рис.6.



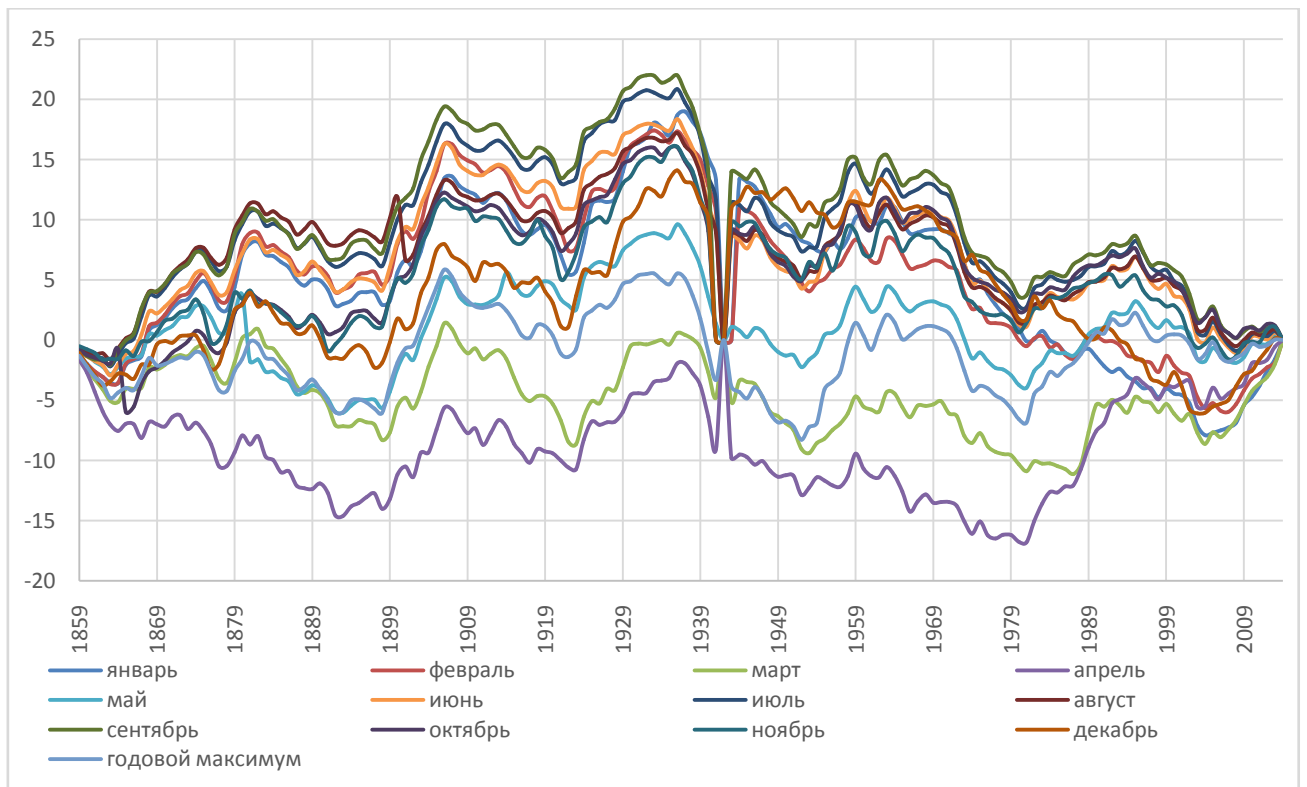


Рис.5 Разностные интегральные кривые среднемесячных и максимальных за год расходов воды реки Нева за весь рассмотренный период 1859-2014 гг.

На примере графиков (рис.6) по трем рекам оценим периоды водности.

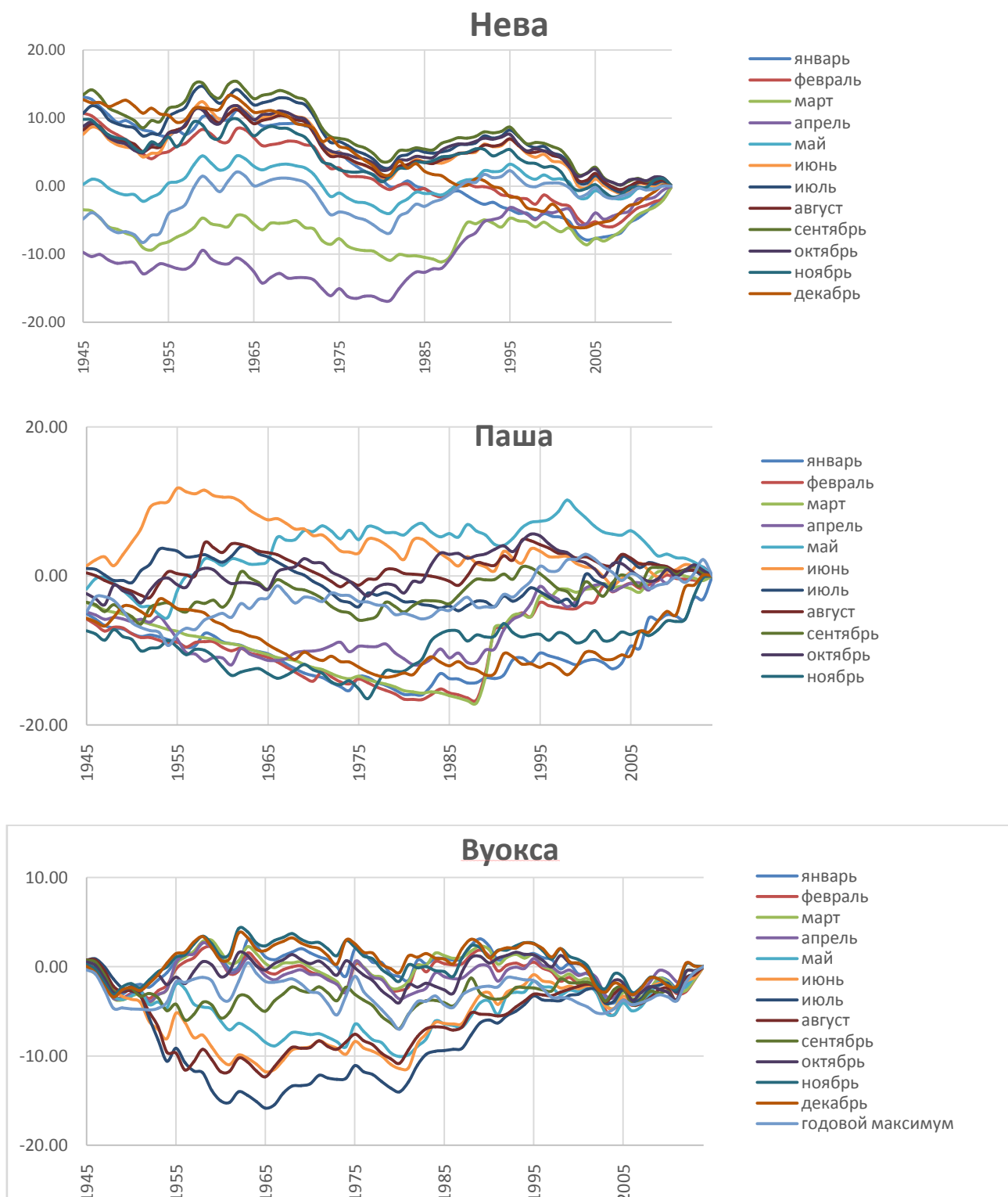


Рис.6 Разностные интегральные кривые среднемесячных и максимальных за год расходов воды за период 1945-2014 гг по трем рекам: Нева, Паша и Вуокса.

**Выводы: ?**

## 2.2. Статистические параметры (критерии однородности, коэффициенты вариации и асимметрии, корреляция)

Для корректного расчета числовых характеристик проверим исследуемые ряды на однородность, используя два критерия: критерий Стьюдента и критерий Фишера. Критерий Стьюдента позволит провести проверку ряда на однородность по среднему значению, критерий Фишера – по дисперсии.

1) Проверка ряда на однородность по дисперсии (критерий Фишера).

Эмпирическое значение критерия Фишера:

$$F^* = \frac{D_1}{D_2}$$

Эмпирическое значение статистики Фишера сравнивается с теоретическим  $F_T$  при уровне значимости  $2\alpha = 5\%$ .

Теоретическое значение статистики Фишера определяется в зависимости от принятого уровня значимости и числа степеней свободы  $\nu_1$  и  $\nu_2$ :  $F_T = 2.01$

$$F^* < (F_T = 2.01)$$

2) Проверка ряда на однородность по среднему значению (критерий Стьюдента)

$$t^* = \frac{\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} t^*$$

Эмпирическое значение статистики Стьюдента сравнивается с теоретическим  $t_T$  при уровне значимости  $2\alpha = 5\%$

Теоретическое значение статистики Стьюдента определяется в зависимости от принятого уровня значимости и числа степеней свободы  $\nu$ :

$$t_T = 1.995$$

$$t^* < (t_T = 1.995)$$

Результаты расчетов представлены в Приложении Д.

Выводы: проверка рядов, оформленная в Таблице 2 и в Приложении И, показала, что гипотеза об однородности внутригодового стока рек исследуемого региона опровергается.

Таблица 2 Оценка однородности рядов среднемесячного и максимального за год стока по критериям Фишера и Стьюдента при уровне значимости  $2\alpha = 5\%$  по реке Нева за период с 1945 по 2014 гг. (70 лет)

№	месяц	Нева - д. Новосаратовка	
		кр.Фишера	кр.Стьюдента
1	январь	однороден	<b>не однороден</b>
2	февраль	однороден	однороден
3	март	однороден	однороден
4	апрель	однороден	<b>не однороден</b>
5	май	однороден	<b>не однороден</b>
6	июнь	однороден	однороден
7	июль	однороден	однороден
8	август	однороден	однороден
9	сентябрь	однороден	однороден
10	октябрь	однороден	однороден
11	ноябрь	<b>не однороден</b>	<b>не однороден</b>
12	декабрь	однороден	<b>не однороден</b>
13	Qmax	<b>не однороден</b>	<b>не однороден</b>

Для оценки связи исследуемых рядов построим графики корреляций среднемесячных и максимальных за год расходов воды по рекам бассейна Невы, используя данные из расчетного Приложения Е. Результаты построения представлены на рис.4 и в Приложении Ж.

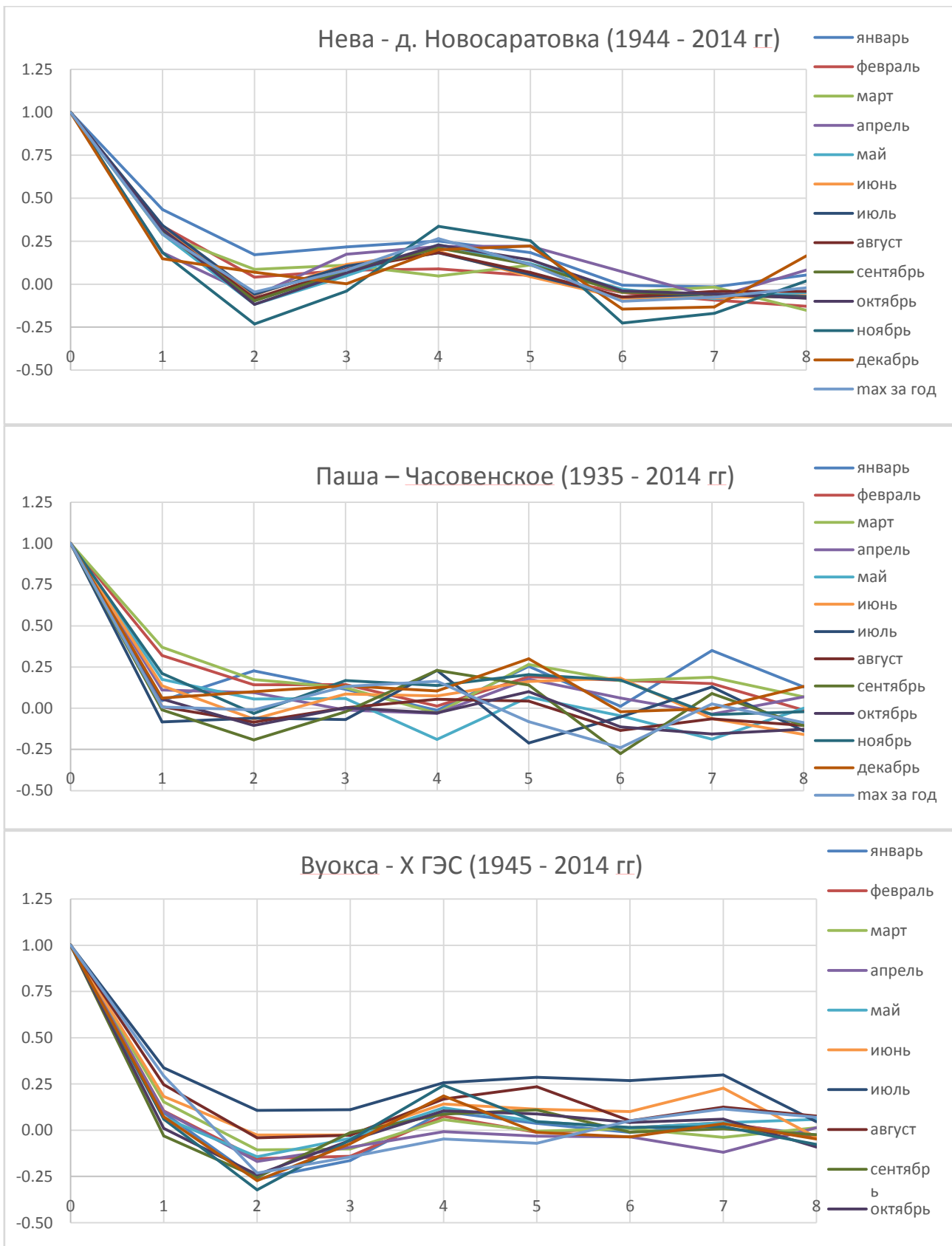


Рис.4 Корреляция среднемесячных и максимальных за год расходов воды по трем рекам: Нева, Паша и Вуокса.

Наводнения случаются в любое время года, но самыми частыми и опасными являются осенние - именно во время них происходят самые значительные и катастрофические подъемы воды.

Чаще всего нагонные наводнения сопровождаются штормовым ветром, скорость которого достигает 30 - 40 метров в секунду. При этом образуются волны огромной разрушительной силы, такие, что в зимний период происходят подвижки льда, при этом на отмелях и берегу образуются торосы высотой до 6 - 8 метров.

Внезапность подъема и спада уровня воды (предсказать наводнение можно, в среднем, за 24 часа до его начала)

Кратковременность - длительность наводнения, как правило, составляет от нескольких часов и не превышает суток

Большая интенсивность подъема и спада уровня воды. Этот показатель колеблется от нескольких сантиметров до 1 метра в час

Даты наводнений за период 1863 – 2013 (в 2014 году не было угрозы наводнения).

День и месяц	Год	Уровень, см
20 октября	1863	227
31 мая	1865	224
31 января	1866	229
1 ноября	1873	242
26 января	1874	219
10 ноября	1874	252
8 декабря	1874	237
5 сентября	1879	221
29 августа	1890	255
14 ноября	1895	237
16 ноября	1897	242

8 декабря	1898	240
25 ноября	1903	269
11 сентября	1905	211
27 января	1914	213
30 ноября	1917	244
24 августа	1918	224
24 ноября	1922	228
23 сентября	1924	380
3 января	1925	225
15 октября	1929	258
8 января	1932	239
8 октября	1935	239
9 сентября	1937	236
14 сентября	1938	233
3 октября	1948	212
22 октября	1948	216
14 октября	1954	222
15 октября	1955	293
14 декабря	1964	214
18 октября	1967	244
20 октября	1973	240
17 ноября	1974	242
6 января	1975	216
29 сентября	1975	281
7 сентября	1977	231
25 ноября	1982	216
17 декабря	1982	215
1 января	1984	231
26 октября	1985	216
6 декабря	1986	260
2 октября	1994	219
12 октября	1994	228
19 октября	1998	220
30 ноября	1999	262
15 ноября	2001	216
9 января	2005	239
28 октября	2006	224
15 декабря	2006	191
10 января	2007	220
16 января	2007	179
18 января	2007	171
3 февраля	2008	198
16 ноября	2008	186

16 ноября	2010	180
28 ноября	2011	195
26 декабря	2011	261
27 декабря	2011	223
29 октября	2013	216
17 ноября	2013	151
13 декабря	2013	191



## Заключение

Условия формирования речного стока на территории России в последние 20-25 лет существенно отличались от предшествующего многолетнего периода. В эти годы отчетливо обозначился процесс глобального потепления климата, произошли коренные изменения в масштабах использования речных вод. При этом воздействие климатических факторов на водные ресурсы и водный режим рек проявлялось как непосредственно в результате изменений процессов гидрологического цикла, так и косвенно за счет влияния на формирование потерь стока при его хозяйственном использовании. Все это в комплексе и взаимодействии предопределило неординарные изменения в гидрологическом режиме водных объектов.

На основе выполненных расчетов получены следующие основные результаты и выводы.

2. Основной особенностью современных изменений водного режима рек на преобладающей части территории страны является существенное увеличение в последние 20-25 лет водности в меженные периоды, особенно в зимние месяцы.

3. На преобладающей части территории страны годовой сток рек в последние два десятилетия XX века превысил норму. Вместе с тем выявленные для отдельных крупных регионов существенные положительные аномалии годового стока рек, пока не дают основания делать вывод о направленных систематических изменениях в многолетних колебаниях их водных ресурсов. Результаты статистических расчетов свидетельствуют о том, что происходящие изменения находятся в пределах естественной изменчивости.

4. Наиболее вероятным в ближайшие десятилетия является увеличение

С учетом полученных в настоящей работе результатов, представляется возможным наметить некоторые приоритетные направления исследований в целях расширения и углубления знаний о воздействии естественных и антропогенных факторов на гидрологический режим водных объектов. Прежде всего, особое значение приобретают работы по диагностике современных изменений режима вод суши. Здесь имеется в виду комплексный мониторинг не только тенденций и особенностей динамики различных характеристик стока рек, включая экстремальные расходы воды, но и испарения с поверхности суши и воды, запасов воды в деятельном слое почвы, в подземных горизонтах, в снежном покрове, в озерах и т.д. Для этого, должны быть привлечены не только данные стандартной сети наблюдений, но и сведения по воднобалансовым станциям и экспериментальным водосборам, расположенным в различных природных зонах страны, по которым имеются многолетние ряды наблюдений за всеми основными элементами гидрологического цикла. Такие исследования должны являться важнейшей составляющей государственного мониторинга водных объектов.

Другим важным направлением, является продолжение исследований по оценке возможных изменений характеристик гидрологического режима водных объектов, включая экстремальные расходы воды, с учетом новейших достижений в области моделирования климатических сценариев будущего.

На основе данных о фактически наблюдающихся современных изменениях водного режима и результатов сценарных оценок, должна разрабатываться стратегия по адаптации водохозяйственного комплекса страны к предстоящим гидроклиматическим условиям.

## Список использованной литературы

<http://dambaspb.ru/ostanovlennie-navodneniya>

Источник: [https://www.spb-guide.ru/page\\_18961.htm](https://www.spb-guide.ru/page_18961.htm)

Георгиевский, Владимир Юрьевич – 2005 г Изменения стока рек России и водного баланса Каспийского моря под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления

1 Сикан, А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. Специальность «Гидрология» направления подготовки «Гидрометеорология» [Текст]/ А. В. Сикан – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 279 с.

2 Дружинин, В. С., Сикан, А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебное пособие. Направление «Гидрометеорология». Специальность «Гидрология» [Текст]/ В. С. Дружинин, А. В. Сикан– СПб.: изд. РГГМУ, 2001.

3 Чеботарев, А. И. Гидрологический словарь [Текст]/ А. И. Чеботарев – Л: Гидрометеоиздат, 1978. – 308 с.