



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанографии ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Магистерская диссертация)

«ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НА КОЛЕБАНИЯ
УРОВНЯ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ»

исполнитель: Козловский Евгений Васильевич, студент группы ПО-М20-1-8

научный руководитель: д-р геогр. наук, профессор, Аверкиев Александр Сергеевич

«К защите допускаю»

заведующий кафедрой _____

(подпись)

Кандидат геогр. наук

(ученая степень, ученое звание)

Александр Александрович

(фамилия, имя, отчество)

« 20 » июль 2022г.

Санкт-Петербург

2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Роль атмосферной циркуляции в формировании колебаний уровня Финского залива	7
1.1 Краткая характеристика выбранного района.....	7
1.2 Уровень Финского залива.....	8
1.3 Классификация атмосферных процессов по умеренным широтам северного полушария Г.Я. Вангенгейма- А.А. Гирса.	11
1.4 Взаимосвязь колебаний морского уровня с формами атмосферной циркуляции.....	15
1.5 Влияние осадков на изменение уровня ФЗ	17
1.6 Изменения уровня в Финском заливе	26
1.7 Исходные данные и методы исследования.....	28
2. Расчет корреляционных связей атмосферной циркуляции и уровня в ФЗ и возможность построения регрессионных зависимостей.....	29
2.1 Корреляционные связи атмосферной циркуляции и уровня ФЗ	29
2.2 Сравнение количества месяцев с определенной формой циркуляции...	33
2.3 Уравнение регрессии и оценка обеспеченности.....	40
3. Спектральный анализ.....	42
3.1 Level	44
3.2 E.....	47
3.3 W	50
3.4 C	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
Список использованной литературы.....	60

ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	90

ВВЕДЕНИЕ

Колебания уровня в Финском заливе, как и все гидрофизические характеристики, имеют различные масштабы временной изменчивости. Изучая влияние современных изменений климата на режим Балтийского моря и Финского залива, в первую очередь необходимо рассматривать межгодовую изменчивость гидрофизических параметров, включая уровень, что и является предметом данного исследования. Однако, надежные и длительные ряды наблюдений имеются лишь по немногим пунктам на побережье Балтики и Финского залива, одним из таких рядов является среднемесячные данные об уровне на водомерном посту Кронштадта.

Как известно наиболее отчетливые климатические изменения начались в последней четверти 20 века, поэтому будем рассматривать временные ряды уровня и типов атмосферных циркуляций начиная с начала 20 века и до последних лет. Колебаниям уровня в Балтийском море и связям их с климатическими изменениями посвящены многочисленные работы российских и европейских исследователей. Однако актуальность многих из них утратилась из-за постоянного обновления данных.

Несмотря на то, что комплекс защитных сооружений (КЗС) способен защитить Санкт-Петербург от наводнений, грамотный и своевременный анализ временных рядов наблюдений за уровнем воды остается крайне актуальной задачей для современных специалистов.

Самым длительным и надежным массивом наблюдений за уровнем в восточной части Финского залива по праву считается ряд наблюдений на Кронштадтском водомерном посту. Однако, сложность в работе с этими данными в настоящее время заключается в том, что при закрытии КЗС показания поста не максимально достоверно отражают естественный ход

уровня. Но, с 1989 г. достоверные данные по уровню можно получать на другом измерительном посту, который находится близь Шепелевского маяка, причем при осреднении данных за месяц и более изменения за счет закрытия КЗС малы и в принципе могут не учитываться.

Цель данной работы - дать оценку влияния атмосферной циркуляции над Атлантико-Европейским регионом на колебания уровня в Финском заливе.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

- Пополнить архив данных наблюдений за уровнем в Финском заливе (Кронштадтский водомерный пост, Шепелевский в/п) и архива типов атмосферной циркуляции с 1900 года до января 2020 года. (Приложение А)
- Произвести расчет корреляционных связей атмосферной циркуляции и уровня в Финском заливе и возможность построения регрессионных зависимостей.
- Произвести спектральный анализ временных рядов типов атмосферной циркуляции и значений уровня в Финском Заливе.
- Выявить цикличности в колебаниях типов атмосферной циркуляции и колебаниях уровня.
- Оценить возможные причины изменений уровня в последние десятилетия.

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулирована цель, а также поставлены задачи для достижения этой цели.

В первой главе кратко дана гидрометеорологическая характеристика района, подробнее освещена роль типов атмосферной циркуляции в

формировании колебаний уровня Финского залива. Представлены исходные данные и методы исследования.

Во второй главе проведен корреляционный анализ и представлена возможность построения корреляционных зависимостей.

В третьей главе проведен спектральный анализ для выявления цикличностей в колебаниях типов атмосферной циркуляции и колебаниях уровня, а также изложены возможные причины изменений уровня Финского залива в последние десятилетия.

В заключении сформулированы результаты исследования.

1. Роль атмосферной циркуляции в формировании колебаний уровня Финского Залива

1.1 Краткая характеристика выбранного района.

Финский залив является самым большим заливом Балтийского моря. Им омываются берега трех государств: России, Финляндии и Эстонии. Общая площадь зеркала 29,6 тыс. км², длина 420 км, ширина у входа в залив (Пысаспеа – Ханко) 75 км. Самая широкая его часть (на меридиане о. Мощный) достигает до 135 км, восточнее сужается до 20 км (Шепелевский разрез). Средняя глубина залива составляет 38 м, а самое глубокое место находится на юго-востоке от острова Кери, где глубина достигает отметки в 121 метр. Глубина Невской губы варьируется от 6 м и менее, а в береговой зоне – до 1 м. Площадь водосборного бассейна – 421 тыс. км², это 26% всего Балтийского водосборного бассейна. Объем водной массы Финского залива 1120 км³, это 5% от объема водной массы Балтийского моря. Приток воды примерно – 109 км³ в год [1]. Время полного обновления вод Финского залива примерно 5 лет.

Над акваторией преобладают ветры западного, юго-западного и южного направлений. Ветер оказывает сильное влияние на Финский залив. В зависимости от скорости, направления и продолжительности ветра и смещения барических образований в заливе формируются такие гидрометеорологические явления, как длинная волна, нагон, стон или сейша, или все вместе.

Акваторию восточной части залива принято разделять на следующие районы: (I) Невская губа, (II) мелководный район (от Кронштадта до м. Шепелевский), (III) глубоководный район (от м. Шепелевский до о. Гогланд). Район (III) в свою очередь делится на (III а) внутренний (от м. Шепелевский

до о. Сескар), и (III б) внешний (от о. Сескар до о. Гогланд). С юга примыкает (IV) прибрежный район, включающий два прибрежных подрайона: (IV К) Копорская губа и (IV Л) Лужская губа. Районы показаны на рис. 1. Воды всех этих районов находятся в непрерывном взаимодействии, а их состав и характеристики определяются действием целого ряда факторов, как естественных, так и антропогенных.



Рис. 1. Районирование восточной части Финского залива

1.2 Уровень Финского залива.

В данной работе основой для выполнения расчетов послужили среднемесячные значения уровня на Кронштадтском водомерном посту с 1900 года по январь 2020 года [4]. При анализе значительных отклонений от нормы среднемесячных величин уровня оказалось принципиально важным учитывать многолетнее изменение уровня (нормы) в Финском заливе и в Балтийском море в целом. Так в [2] показано, что при анализе среднегодовых величин уровня на Кронштадтском посту до 1980 г. среднее многолетнее значение (норма) составляло около -1.6 см, а за

период 1980-2007 гг. норма стала равна 5 см. Соответственно и значительные отклонения или аномалии надо отсчитывать от этой другой нормы. Поэтому в работе [3] из-за того, что не учитывались изменения нормы, расчеты привели к не совсем верному выводу об увеличении положительных аномальных отклонений уровня от нормы, хотя на самом деле выросла сама норма.

В данном случае при анализе ряда среднемесячных значений уровня оказалось, что если рассматривать весь период 1900-2020 гг., то норма равна 2,89 см, среднеквадратическое отклонение (СКО) $\sigma=20,98$ см, тогда как для периода 1900-1979 гг. норма равна -0,17 см, $\sigma=19,97$, а для периода 1980-2020 гг. норма равна 8,18 см, $\sigma=21,62$ см. Тогда, округляя до 0,1 см, рассчитаем количество аномальных месяцев выше и ниже нормы (ВН и НН) по десятилетиям за весь период наблюдений с 1900 г., но с учетом изменившихся в последние десятилетия нормы и среднеквадратического отклонения.

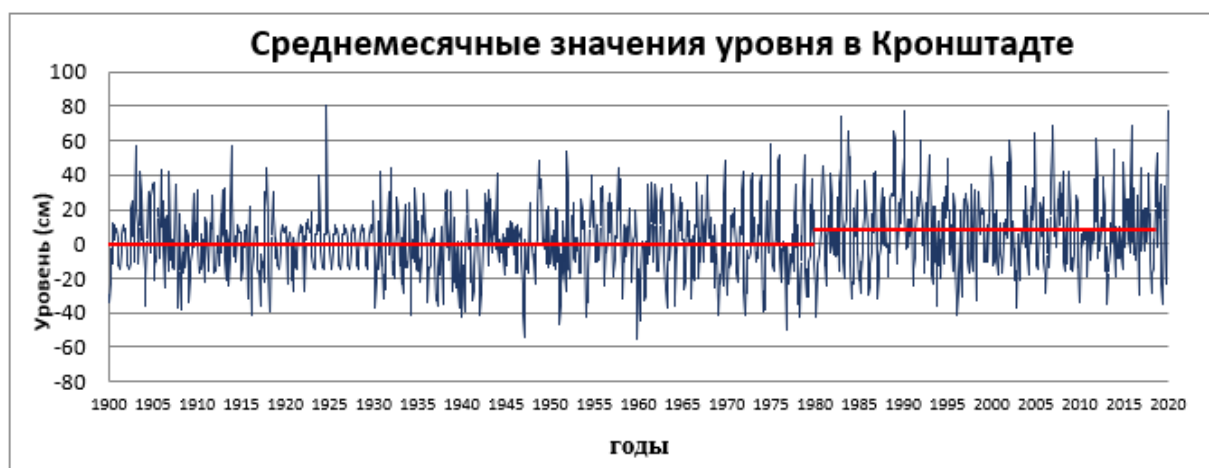


Рис. 2. Среднемесячные значения уровня за 1900-2018 гг с учетом восстановления. Красной линией показаны средние значения за периоды 1900-1979 гг. и 1980-2020 гг.

Поскольку в хронологическом ходе среднемесячных значений уровня моря имелись пробелы, особенно значительные в годы Великой Отечественной войны, это потребовало их заполнения [14].

Отдельно остановимся на периодах пропусков в данных по уровню в 20-е годы, в период Великой Отечественной войны, а также в последние годы, когда Комплекс защиты С-Петербурга от наводнений закрывался, и измерения в Кронштадте не отражали естественного положения уровня воды.

Пропуски в прошлые годы приходилось заполнять средними многолетними значениями уровня данного месяца, которые обычно близки к норме, т.е. не увеличивают количества аномальных значений. Кроме этого, в последние 30 лет надежные наблюдения за уровнем производятся на водомерном посту у Шепелевского маяка, который находится за пределами Невской губы, вне КЗС, т.е. уровень там не зависит от закрытия КЗС. Сравнение среднемесячных значений за период работы в/п у Шепелевского маяка (1989-2020 гг.) показало, что несмотря на систематически более низкие (на 4-5см) значения уровня на Шепелевском посту (что объяснимо, т.к. Шепелевский пост находится восточнее Кронштадта, в более открытой части залива), коэффициент корреляции между временными рядами значений уровня близок к единице и значительные отклонения в среднемесячном масштабе практически совпадают в обоих рядах. Следовательно, во-первых, при среднемесячном осреднении закрытие КЗС практически не сказывается на значениях уровня в открытой части, по крайней мере, при оценке количества значительных отклонений от нормы. Во-вторых, для восстановления ряда значений уровня на Кронштадском в/п в периоды закрытия КЗС можно использовать значения уровня на Шепелевском в/п с соответствующей незначительной коррекцией. В частности, при подсчете значительных отклонений от среднего за период 1989-2020 гг. было

зафиксировано, что отклонений НН на Шепелевском посту было 57, на Кронштадском и 56, отклонений ВН – 55 и 56 соответственно. На рис. 2 приведен график среднемесячных изменений уровня моря в Кронштадте за рассматриваемый период с восстановленными значениями уровня.

Нетрудно видеть, что во временном ходе среднемесячных колебаний морского уровня в Кронштадте (1900-2020 гг.) можно выделить два однородных периода. Это период постоянства (1900-1979 гг.), в течение которого уровень колебался относительно среднего значения равного -0,12 см и период роста (1980-2020 гг.), в котором он почти постоянно повышался, при этом среднее значение составляло 8,3 см.

Обратим внимание, что параметры восстановленного ряда (среднее арифметическое и стандартное отклонение) незначительно отличаются от параметров исходного ряда с пропусками [14].

1.3 Классификация атмосферных процессов по умеренным широтам северного полушария Г.Я. Вангенгейма- А.А. Гирса.

Во многих статьях отмечалось [2, 4, 5, 6, 8, 9], что ход уровня в Кронштадте во времени не относится к чисто локальным явлениям, а отражает крупномасштабную изменчивость уровня во всем Финском заливе, и, кроме этого, в значительной степени в Балтийском море. Следовательно, причины этой изменчивости надо искать в крупномасштабных явлениях в океане и атмосфере [4, 8, 9].

Зарекомендованным за свою долгую историю показателем атмосферных процессов стали формы циркуляции атмосферы или типы классификации Г.Я. Вангенгейма – А.А.Гирса (E, W и C) для Северного полушария [11].

Неравномерное распределение лучистой энергии Солнца, при достижении земной поверхности, приводит к возникновению различных по масштабу и характеристикам движений воздушных масс.

На воздушную оболочку земли влияют:

- Внешние силы;
- Сила градиента давления;
- Сила Кориолиса;
- Сила трения
- Центробежная сила (в вихревой системе)

И другие

«Посредством системы воздушных течений земного шара осуществляется горизонтальный и вертикальный обмен гигантских масс воздуха. Данная система включает в себя ряд крупномасштабных движений, и, прежде всего, западный перенос воздушных масс (возникающий благодаря вращению Земли вокруг своей оси), температурный контраст между полюсами и экватором, а также между океанами и материками, циркуляцию воздуха в системе внетропических циклонов и антициклонов, вихревые и волновые движения» [5].

Эти движения и формируют глобальные атмосферные циркуляции, а вместе с этим и климат в целом на планете.

Изучении общей циркуляции атмосферы носит глобальный характер для понимания множества климатических процессов на земле. Без знания закономерностей или проще говоря законов циркуляции атмосферы, невозможна разработка, ни методов прогноза погоды, ни их отдельных

элементов как в долгосрочном, так и в краткосрочном плане, а это и есть задача гидрометеорологии.

«Важнейшей задачей познания крупномасштабных движений в атмосфере планеты является изучение структуры и структурных связей между элементами этих движений, т.е. режима общей циркуляции атмосферы» [11].

Изучением общей циркуляции атмосферы занимаются давно и подходы к решению подобных задач были разнообразными, но основными являются:

- Климатологический;
- Синоптический;
- Гидродинамический.

Однако, учитывая факт активной работы многих ученых, включая зарубежных, по этому вопросу, даже сейчас существует множество проблем в области исследования общей циркуляции атмосферы. Такая же ситуация и с построением качественных прогнозов погоды с большой заблаговременностью.

Главная трудность состоит в том, что общая циркуляция атмосферы в своем развитии определяется большим числом взаимодействующих факторов. Роль этих факторов ко всему прочему изменяется во времени. Среди них:

- Неравномерное распределение солнечной энергии с широтой, а также нагревание суши и моря;
- Вращение Земли;
- Орографические особенности подстилающей поверхности;
- Циклоническая и антициклоническая деятельность;

- Солнечная активность;
- Собственные гравитационные и магнитные поля;
- Свойства подстилающей поверхности планеты и другое.

Одни факторы обуславливают междуширотный воздухообмен, другие - ответственны за зональный перенос воздуха в тропосфере земного шара. В связи с этим истинная картина циркуляции атмосферы, которая наблюдается на ежедневных синоптических картах, представляется в виде различных сочетаний зональных и меридиональных форм, соотношение которых постоянно меняется.

За последний век, как в нашей стране, так и по всему миру учеными разрабатывалось огромное количество различных классификаций атмосферных процессов, а уже на базе этих исследований строились те или иные методы и методики, а после способы прогнозирования погоды и климатической картины на Земле.

Созданная еще в середине прошлого века классификации Г.Я. Вангенгейма [6-7] по умеренным широтам атлантико-европейского региона Северного полушария до сих пор существует и используется.

Исторически, Г.Я. Вангенгейм начал свои разработки в области построения долгосрочных прогнозов еще в 1930-1940-е годы, исследуя характер преобладающих воздушных переносов в атлантико-европейском регионе Северного полушария. (Рис. 3) Не беря в расчет скудных на то время синоптических карт ему удалось выдвинуть гипотезу [6], что в среднем через 3-5 дней в структуре атмосферных процессов региона происходят изменения, приводящие к смене знака барического поля и направлению воздушных потоков. Впоследствии, эти периоды стали иметь название «элементарные

синоптические процессы» и по ним постепенно был составлен календарный каталог с 1891 г.

Помимо закрепления дат ЭСП, каждый из них был отнесен к одной из трех выделенных форм (W, C, E) атмосферной циркуляции [11].

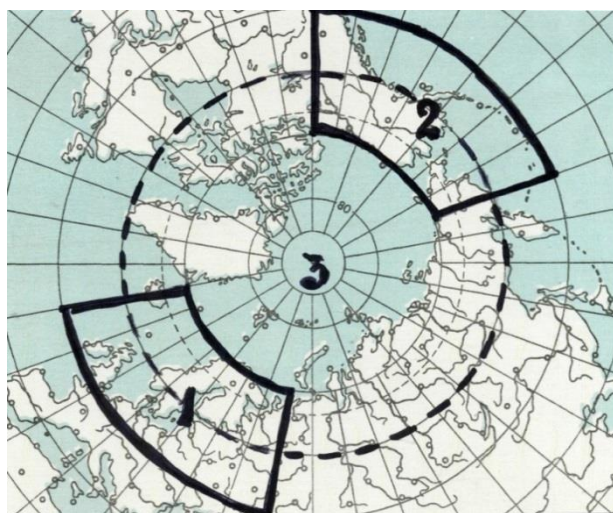


Рис. 3. Регионы, по которым определяются формы и типы атмосферной циркуляции: Атлантико-европейский (1), Тихоокеано-американский (2), Циркумполярный (3)

1.4 Взаимосвязь колебаний морского уровня с формами атмосферной циркуляции.

Как известно, в соответствии с этой классификацией, при западной (W) форме циркуляции над Атлантико-Европейским регионом наблюдается устойчивый западно-восточный перенос воздушных масс и быстрое смещение волн небольшой амплитуды. При меридиональной (C) форме циркуляции стационарный (блокирующий) антициклон или гребень располагается над Атлантикой и Западной Европой. При восточной (E) форме циркуляции, наоборот, на западе Европы располагается мощная

ложбина, а над восточной Европой (до Урала) стационарный (блокирующий) антициклон или гребень.

Также неоднократно отмечалось, что для Финского залива, вытянутого вдоль широты на 300-350 км, прохождение циклонов с запада на восток и по близким направлениям вызывает повышение уровня, вплоть до значительных и катастрофических [7, 8, 10]. Очевидно, что такие ситуации наблюдаются в основном при западной форме циркуляции W. Однако важную роль играют траектории циклонов. Повышение уровня вызывают только те циклоны, которые проходят севернее оси Финского залива [5, 9]. Если же над Северо-Западным регионом РФ наблюдается антициклоническая деятельность, то при северном относительно оси залива положении центра антициклона в заливе наблюдается понижение уровня. Такая ситуация имеет место в основном при формах циркуляции E и C. В монографии [11] приведен каталог элементарных синоптических процессов (ЭСП) с конца XIX в до 2018 г. с указанием форм циркуляции для каждого ЭСП. Именно этот каталог позволил произвести совместный анализ ряда значений уровня и ряда форм атмосферной циркуляции.

Основываясь на результатах работы [11], рассмотрим особенности изменчивости форм циркуляции. Повторяемость западной (W) формы циркуляции с начала наблюдений форм циркуляции (1891 г.) до начала 30-х гг. XX в (более 40 лет) и с начала 90-х гг. по 2017 гг. (25 лет) характеризовалась положительными аномалиями относительно среднего значения за весь период (нормы), а с середины 30-х гг. до начала 90-х гг. (60 лет) отрицательными аномалиями. Эти многолетние циклы, несомненно, должны оказать влияние на многие процессы в Атлантико-Европейском регионе и, в частности, на колебания уровня в Балтийском море. В повторяемости меридиональной (C) формы атмосферной циркуляции

выраженные циклы и тренды не наблюдались. Повторяемость восточной (Е) формы циркуляции имеет почти обратный временной ход по сравнению с повторяемостью западной формы циркуляции. Так, с конца XIX в до середины 20-х гг. форма Е имела отрицательные аномалии в повторяемости, а с конца 20-хх гг. до середины 90-х (около 70 лет) положительные аномалии относительно нормы. Последние два десятилетия повторяемость этой формы циркуляции была около и ниже нормы.

1.5 Влияние осадков на изменение уровня ФЗ

Бытует мнение, Санкт-Петербург большую часть времени страдает от постоянных дождей. Давайте оценим возможность подъема уровня Финского залива из-за «огромного» количества осадков.

Сначала для доступа к загрузке данных была пройдена регистрация на сайте GesDisk.

Далее были загружены месячные данные реанализа MERRA-2 с 1980-2020 гг. (за последние 40 лет) на территории Балтийского моря и Финского залива по следующим характеристикам:

- Total precipitation from atm model physics, которые были переведены в мм.
- Bias corrected total precipitation, которые далее были также переведены в мм.

Далее работа была продолжена в программе CDO.

А). Работа с CDO

CDO (Climate Data Operators) – программа для обработки netCDF файлов. Программа создана для работы с файлами типа *netCDF* (а также *GRIB*). На сегодняшний день существует около 400 операторов, позволяющих

проводить первичную обработку файлов. CDO, написанная на C++, справляются с крупномасштабными задачами сравнительно быстро, при этом обладают очень простым для понимания синтаксисом.

В качестве рабочего оборудования был предложен компьютер под операционной системой linux. Дальнейшая работа была продолжена в «Терминале».

Команды, используемые в терминале для обработки данных:

`cdo` – для входа в рабочее пространство

`mc` – для вызова командной строки

После необходимо было объединить скачанные файлы в один для этого использовалась следующая команда:

```
cdo mergedtime MERRA2_***.SUB.nc 'Имя исходящего файла'
```

Далее использовалось осреднение месячных данных по сезонам с помощью следующих команд:

```
cdo seasmean вход.файл исх.файл
```

```
cdo timselmean,1,2,3 вход.файл исх.файл
```

```
cdo timmean вход.файл исх.файл
```

С осредненными по сезонам данным работа продолжилась в GRADS

Б). Работа с GRADS

Полученные ранее в CDO среднесезонные данные визуализируем при помощи GRADS.

GrADS (Grid Analysis and Display System) - это система, позволяющая провести анализ, обработку и последующую визуализацию

гидрометеорологических данных. На официальном сайте GrADS Home page расположена полная описательная часть продукта с различными руководствами для пользователей (своеобразных мануалов) в которых содержится множество полезной информации. Так же на сайте присутствуют обучающие курсы и множество примеров работ с GrADS.

OpenGrADS – хороший и функциональный инструмент для работы с такими форматами, как GRIB, сеточными бинарниками (gridded binary), BUFR, GrADS station data, NetCDF, HDF4-SDS, HDF5, и OPeNDAP (сеточные и станционные данные). Особенностью продукта можно назвать то, что каждый может кастомизировать визуализацию своих результатов. Достаточно написать определенный скрипт и подстроить систему «под себя». Далее поговорим о командах, которые использовались в работе.

Команды, используемые в терминале для визуализации данных:

grads – для входа в рабочее пространство

mc – для вызова командной строки

Для открытия файла в рабочем пространстве:

sdfopen Название файла.nc

d ** - отрисовка выбранной переменной

reinit – оператор, позволяющий полностью перезагрузить рабочую среду. Все файлы будут закрыты, настройки для рисунков сброшены, а не сохраненные файлы исчезнут.

c (=clear) - очищает экран

set grads off – убирает плашку снизу визуализированных результатов о том, что это «GrADS» и стирает дату и время визуализации

set csmooth on – сглаживает изолинии

set poli on - показывает государственные границы государств

set mpdset lowres|mres| hires - устанавливает уровень (от малого к большому) отображения "подложки" (границы море-суша, государственные границы и гидрография)

set gxout shaded - отрисовка изолиний с послойной окраской

cbarn или cbar - выводит автоматическую шкалу (её можно менять спец. командами). Работает только после связки команд "set gxout shaded"- "d <variable>".

set gxout contour – происходит отрисовка изолиний с подписями (их так же можно кастомизировать, например изменяя цвет ваших изолиний)

set mproj nps – выбор проекции интерпритации данных

set lat ** ** - обрезка по широте (** - градусы)

set lon ** ** - обрезка по долготе (** - градусы)

set ccolor * – выбор цвета изолиний

set gxout vector + d u10m; v10m – отрисовка векторов

draw title *** - добавляет подпись к карте

gxprint ***.png – сохраняет карту в выбранном формате на жесткий диск

Существует еще огромное количество команд для визуализации данных, однако для наших целей достаточно этих.

Для того, чтобы как-то автоматизировать процесс отрисовывания карт, руководствуясь мануалом по работе с программой был написан скрипт с такими командами:

```
reinit
set display color white
c
sdfopen ***.nc
set csmooth on
set lat ** **
set lon ** **
set grads off
set mpdset hires
set gxout shaded
set map 1 1 10
set mproj latlon
(set gxout vector
d u10m;v10m)
set gxout contour
set ccolor *
(d u10m;v10m)
draw title ***
cbarn
gxprint **.png
```

При помощи данного скрипта были построены карты. Изменений в нем требуют только названия переменных.

Далее представлены карты, построенные по переменным, указанным выше, для выбранного района (Балтийское море и Финский залив).

a). Total precipitation from atm model physics (mm)

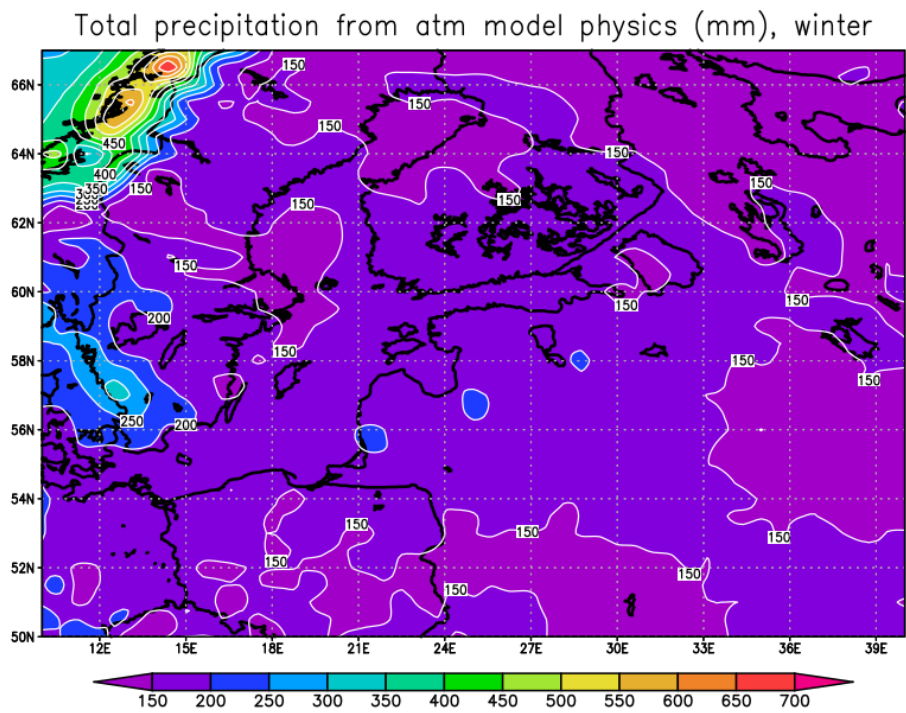


Рис. 4. Total precipitation from atm model physics (mm), winter

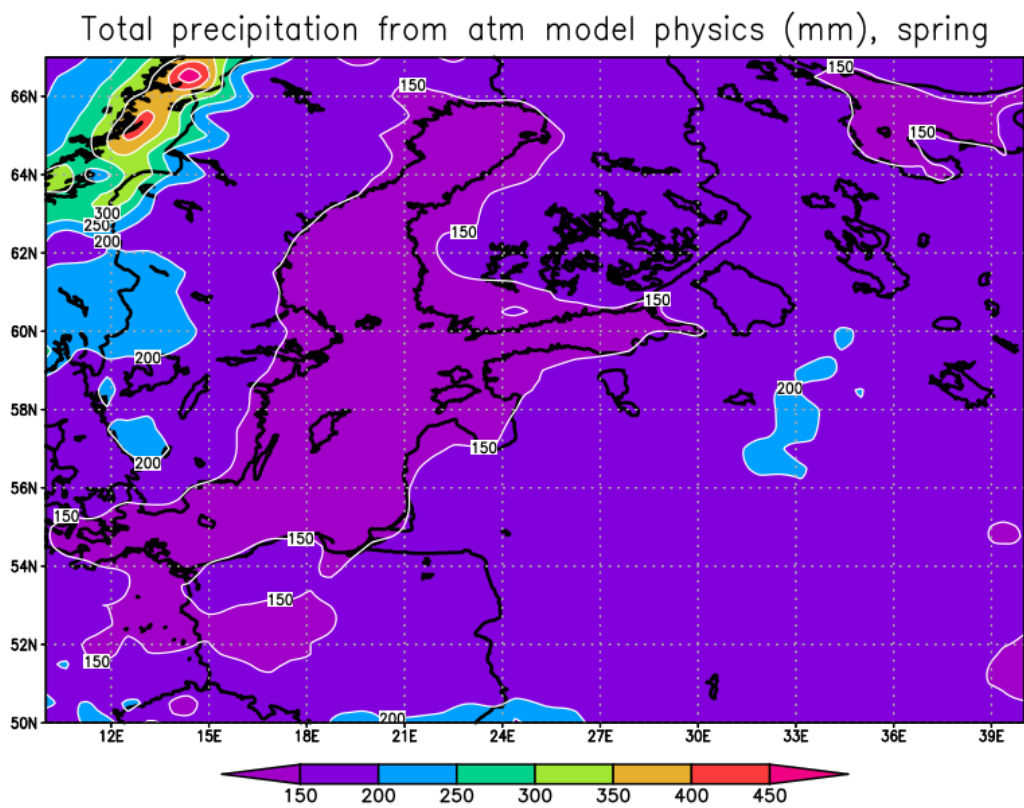


Рис. 5. Total precipitation from atm model physics (mm), spring

Total precipitation from atm model physics (mm), summer

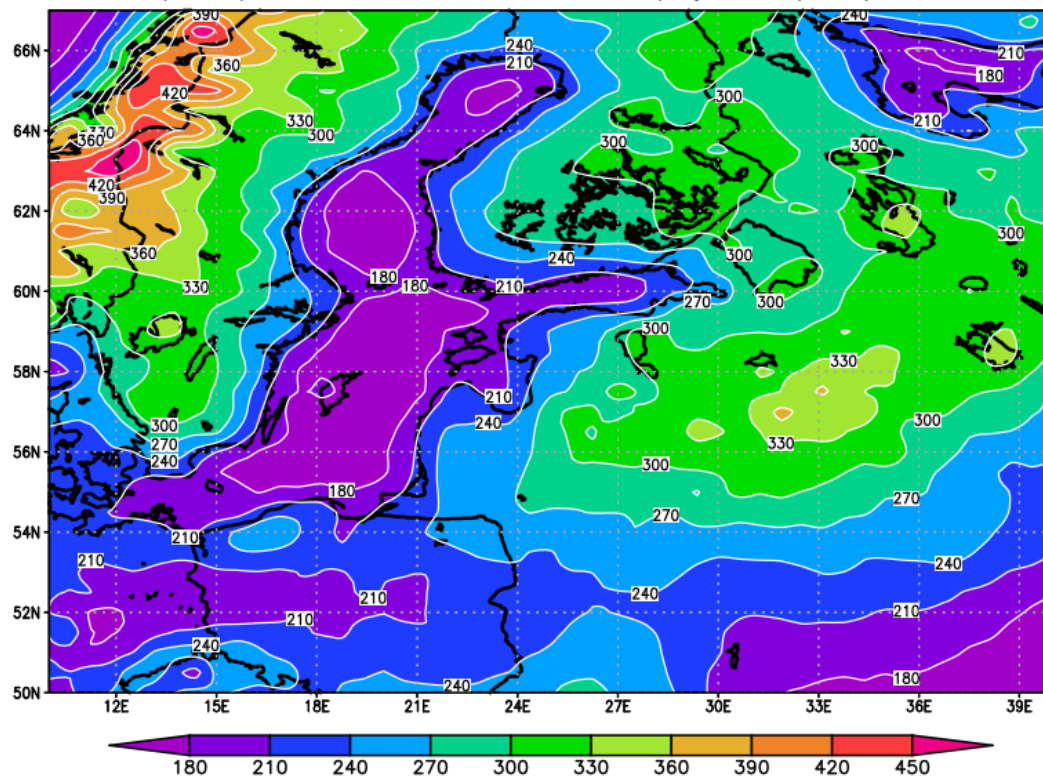


Рис. 6. Total precipitation from atm model physics (mm), summer

Total precipitation from atm model physics (mm), autumn

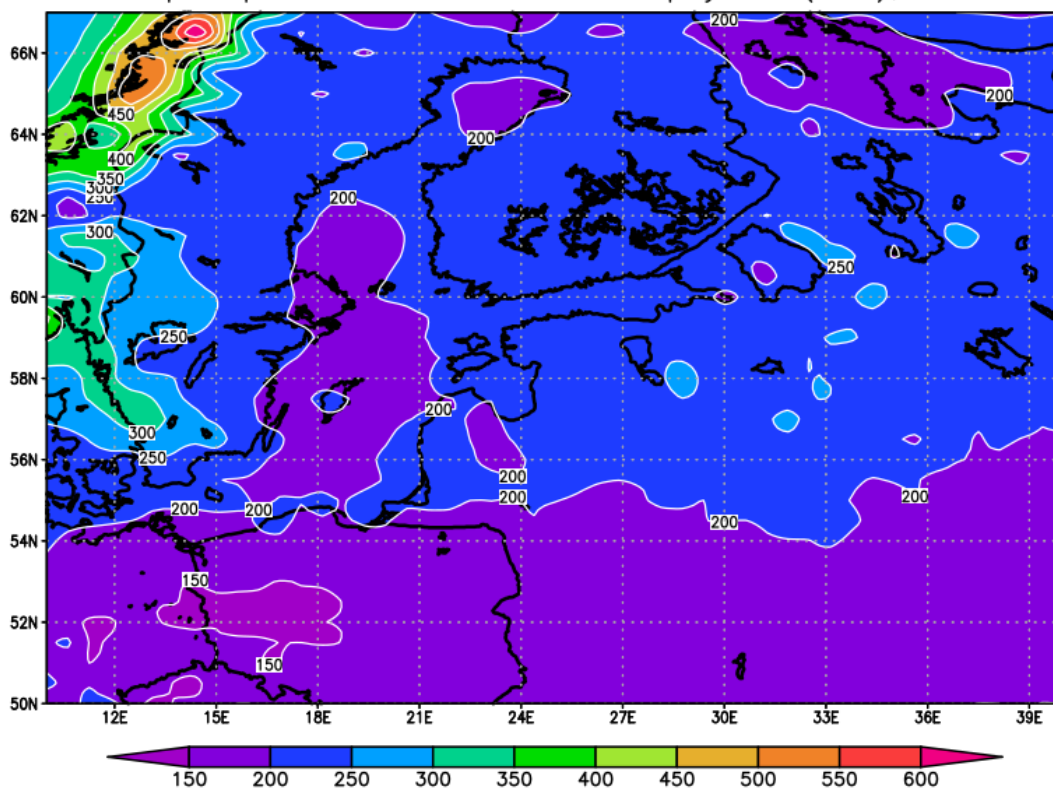


Рис. 7. Total precipitation from atm model physics (mm), autumn

Б). Bias corrected total precipitation (mm)

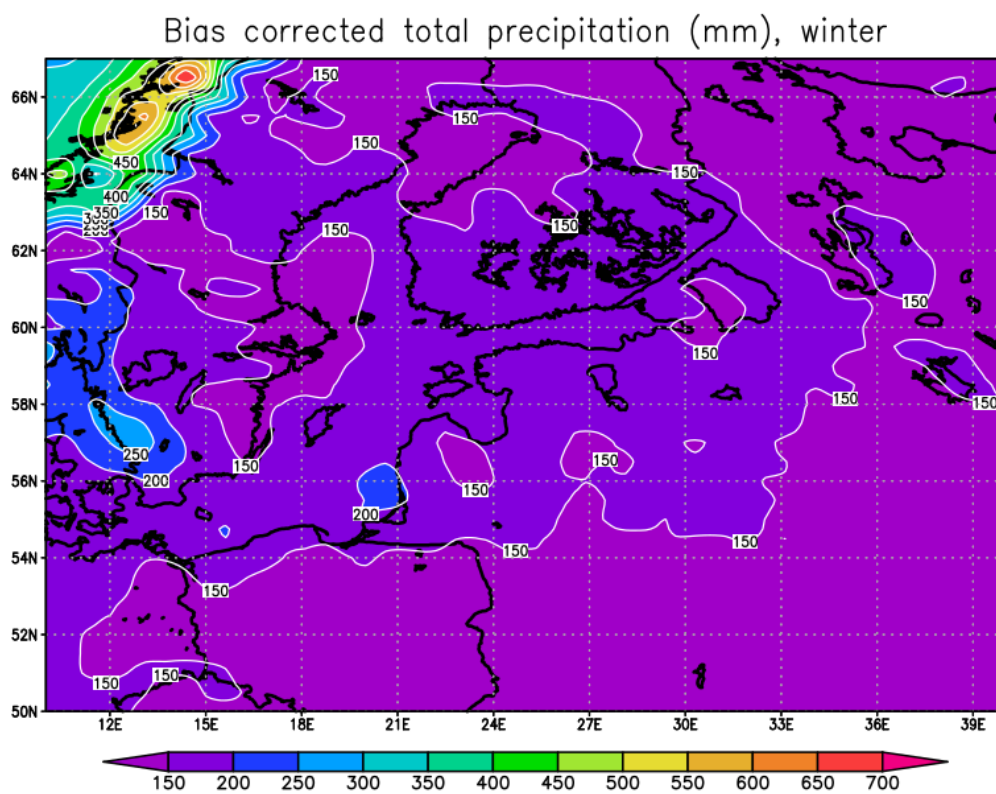


Рис. 8. Bias corrected total precipitation (mm), winter

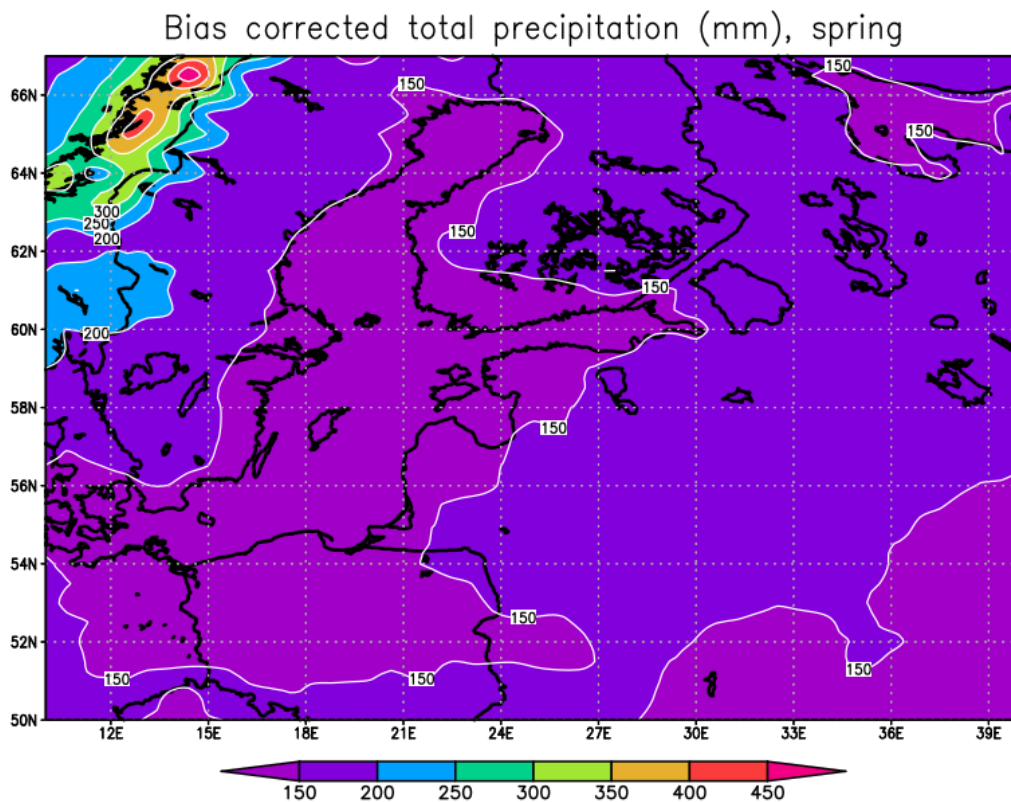


Рис. 9. Bias corrected total precipitation (mm), spring

Bias corrected total precipitation (mm), summer

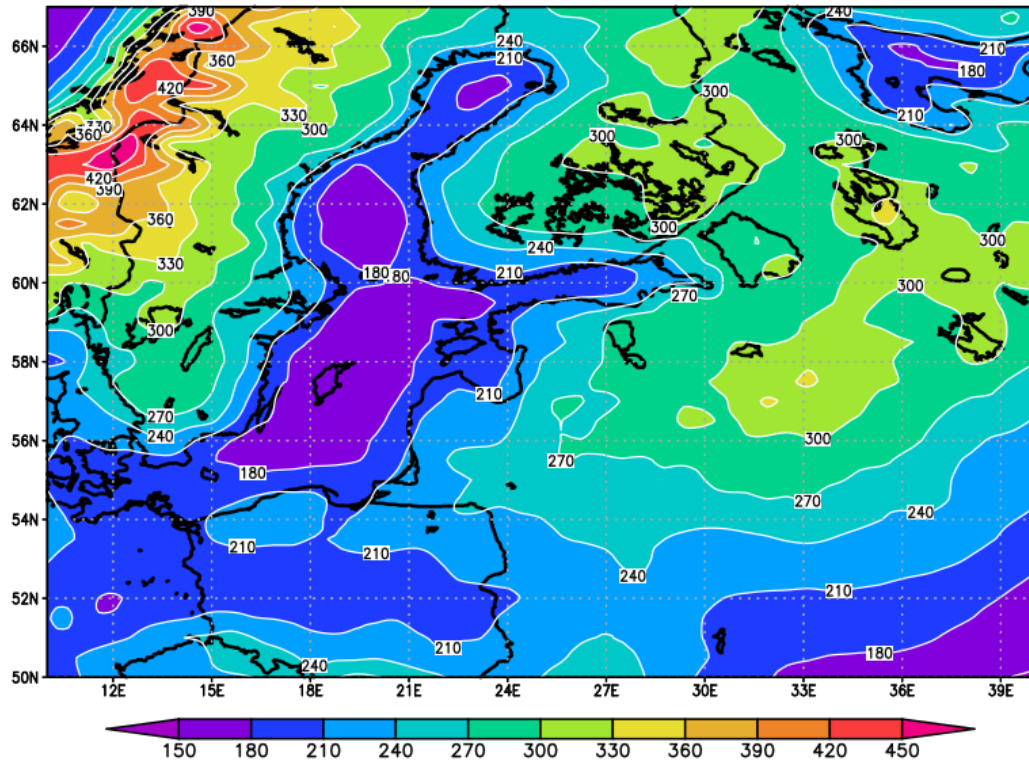


Рис. 10. Bias corrected total precipitation (mm), summer

Bias corrected total precipitation (mm), autumn

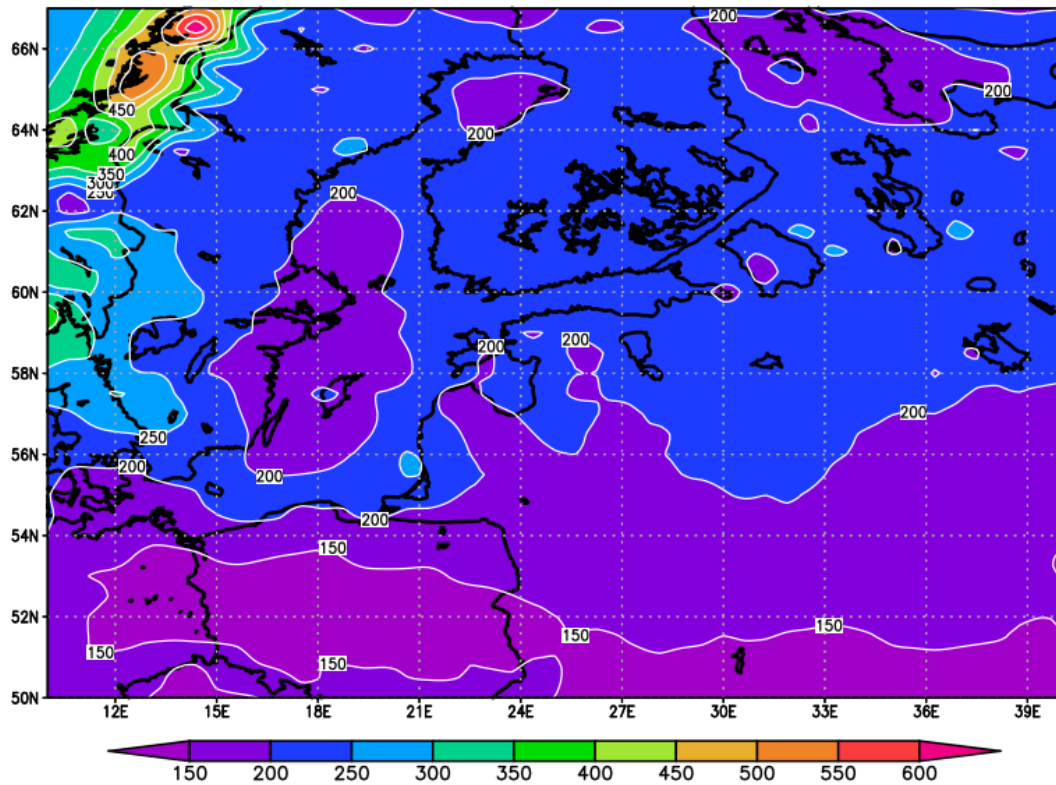


Рис. 11. Bias corrected total precipitation (mm), autumn

На рисунках визуализированы данные реанализа MERRA 2 по данным атмосферной модели physics и скорректированные. Они осреднены по сезонам и отражают многолетний режим выпадения осадков.

Как можно увидеть - никаких аномально больших значений количества осадков над акваторией Финского залива и всего Балтийского моря в целом не обнаружено. Обращаясь к литературным источникам, к такому же выводу так же пришли в работе [2], когда проводили корреляционный анализ межгодовых колебаний уровня в Кронштадте и атмосферных параметров.

«Нетрудно видеть, что максимальная корреляция, соответствующая принципу «обратного барометра», отмечается между уровнем и атмосферным давлением ($r = 0,82$). Только корреляция между осадками и уровнем оказывается незначимой, хотя ее знак физически правилен.

Поэтому можно сделать вывод, что выпадение осадков имеет маленькое влияние на изменение уровня Финского залива и Балтийского моря соответственно, большее внимание стоило бы обратить на сток рек, но в нашей работ поставлена другая задача.

1.6 Изменения уровня в Финском заливе

Очевидно, что колебания уровня Финского залива максимально отражены в данных наблюдений Кронштадтского мареографа, который входит в пятерку старейших измерительных приборов в мире.

Сервис мареографа был основан еще в 1707 году в Котлине. Однако регулярные данные наблюдений за уровнем моря существуют только с 1806

года (с перерывом на 1818 – 1834 годы). Однако наиболее качественные и проверенные данные доступны примерно с начала 20 века, поэтому именно их было решено выбрать для этой работы как исходные.

Учитывая, что это самая длинная серия наблюдений за уровнем моря в России, значения с мареографа используются в качестве эталона – его значение трудно переоценить.

Обратим внимание, что характерной чертой уровня моря в Кронштадте, является наличие однонаправленного тренда. На фоне основного тренда, дважды может показаться, когда временной ряд морского уровня показывает разные направления. Это длинный период стояния уровня моря с 1836 по 1945 гг., однако после, с 1946 года уровень начал быстро расти.

«Заметим, что долгосрочный рост уровня моря с исключением вертикальной скорости движения земной коры можно наблюдать почти над всем побережьем Финского залива и Балтийского моря (хотя и с разными скоростями)» [4]

Что касемо причин этой тенденции, то ясно, что она отражает совместные действия вертикальных движений земной коры и эвстатических факторов (состава водного баланса). Побережье балтийского моря испытывает значительные вертикальные движения. Измерение уровня показал, что самый быстрый подъем характерен для побережья Ботнического залива.

Однако отметим, что Кронштадт относится к зоне тектонической стабильности и вертикальная скорость движения земной коры здесь равна нулю. Эти результаты подтверждают разумный выбор Кронштадтского мареографа в качестве эталонного для измерения уровня Финского залива.

1.7 Исходные данные и методы исследования.

Исходными данными для данного исследования являются:

- Многолетний временной ряд наблюдений за уровнем в Финском заливе (преимущественно измеренных на Кронштадтском футштоке) [5]
- Многолетний ряд форм циркуляции над Атлантико-Европейским регионом [11].

(Приложение А)

На основе полного каталога форм циркуляции, составленного в ААНИИ, разработан специализированный архив месячного преобладания форм циркуляции с конца 19-го века [14], который может быть полезен при совместном исследовании процессов в море и атмосфере, а также при разработке долгосрочных оценок колебаний уровня в Финском заливе и Балтийском море. (Приложение Б)

После продления рядов уровня и систематизации исходных данных встала задача оценки связи этих переменных и влияния одних на другие. Поэтому вторая глава как раз посвящена расчету корреляционных связей атмосферной циркуляции и уровня Финского залива.

2. Расчет корреляционных связей атмосферной циркуляции и уровня в ФЗ и возможность построения регрессионных зависимостей.

Большая часть расчетов проводилась при помощи пакета Statistica 10. Так же использовалось программное обеспечение MS Excel и надстройка KutoolsforExcel

2.1 Корреляционные связи атмосферной циркуляции и уровня ФЗ

Для начала для оценки корреляции между рядами уровня (Level) и формами атмосферной циркуляции (E, W, C), были построены две таблицы корреляций.

Таблица 1 – Таблица корреляций выбранных переменных

Переменн	Среднее	Ст.откл.	Level	E	W	C
Level	2,7	20,2	1,00	-0,41	0,52	-0,06
E	13,1	7,6	-0,41	1,00	-0,68	-0,50
W	9,7	6,8	0,52	-0,68	1,00	-0,29
C	7,6	5,8	-0,06	-0,50	-0,29	1,00

Если в таблице 1 мы видим только главные показатели оценки рядов, то таблица 2 включает среднее значение, стандартное отклонение, коэффициенты корреляции Пирсона и детерминации, t - критерий Стьюдента для сравнения средних двух выборок (переменных в данном случае), уровень значимости, объем выборки, коэффициенты линейных уравнений регрессии.

Таблица 2 – Подробная таблица результатов корреляции

	Среднее	Стд.откл	r(X,Y)	r^2	t	p	N	Св. член	Наклон	среднее	Наклон
Level	2,7	20,2									
Level	2,7	20,2	1,00	1,0			1441,0	0,0	1,0	0,0	1,0
Level	2,7	20,2									
E	13,1	7,6	-0,41	0,2	-17,2	0,0	1441,0	13,5	-0,2	17,1	-1,1
Level	2,7	20,2									
W	9,7	6,8	0,52	0,3	22,9	0,0	1441,0	9,3	0,2	-12,3	1,5
Level	2,7	20,2									
C	7,6	5,8	-0,06	0,0	-2,4	0,0	1441,0	7,6	0,0	4,3	-0,2
E	13,1	7,6									
Level	2,7	20,2	-0,41	0,2	-17,2	0,0	1441,0	17,1	-1,1	13,5	-0,2
E	13,1	7,6									
E	13,1	7,6	1,00	1,0			1441,0	0,0	1,0	0,0	1,0
E	13,1	7,6									
W	9,7	6,8	-0,68	0,5	-34,8	0,0	1441,0	17,7	-0,6	20,4	-0,8
E	13,1	7,6									
C	7,6	5,8	-0,50	0,3	-22,2	0,0	1441,0	12,7	-0,4	18,1	-0,7
W	9,7	6,8									
Level	2,7	20,2	0,52	0,3	22,9	0,0	1441,0	-12,3	1,5	9,3	0,2
W	9,7	6,8									
E	13,1	7,6	-0,68	0,5	-34,8	0,0	1441,0	20,4	-0,8	17,7	-0,6
W	9,7	6,8									
W	9,7	6,8	1,00	1,0			1441,0	0,0	1,0	0,0	1,0
W	9,7	6,8									
C	7,6	5,8	-0,29	0,1	-11,3	0,0	1441,0	10,0	-0,2	12,3	-0,3
C	7,6	5,8									
Level	2,7	20,2	-0,06	0,0	-2,4	0,0	1441,0	4,3	-0,2	7,6	0,0
C	7,6	5,8									
E	13,1	7,6	-0,50	0,3	-22,2	0,0	1441,0	18,1	-0,7	12,7	-0,4
C	7,6	5,8									
W	9,7	6,8	-0,29	0,1	-11,3	0,0	1441,0	12,3	-0,3	10,0	-0,2
C	7,6	5,8									
C	7,6	5,8	1,00	1,0			1441,0	0,0	1,0	0,0	1,0

В результате расчета коэффициентов корреляции (r) рядов уровня и форм циркуляции были получены ожидаемые результаты.

При западной форме W морской уровень повышается ($r=0,52$) так как происходит усиление западно-восточного переноса воздушных масс. Естественно, с временным ходом формы E отмечается обратная связь корреляция ($r = -0,41$).

Что касаяемо формы C, то связи с ходом уровня фактически не наблюдается ($r = -0,06$)

Интерфейс в рабочей программе STATISTICA позволяет строить множество дополнительных таблиц и графиков, которые в последствии помогают проводить корреляционный анализ более детально и качественно.

Поэтому, следующим шагом было решено построить диаграммы рассеивания для переменных Level, E, W, C. Диаграммы более наглядно, чем таблицы, демонстрируют взаимосвязи между переменными.

Помимо самой диаграммы, в углу рисунка выведем R-квадрат, коэффициент корреляции для выбранных переменных и соответствующее значение p, а также уравнение регрессии.

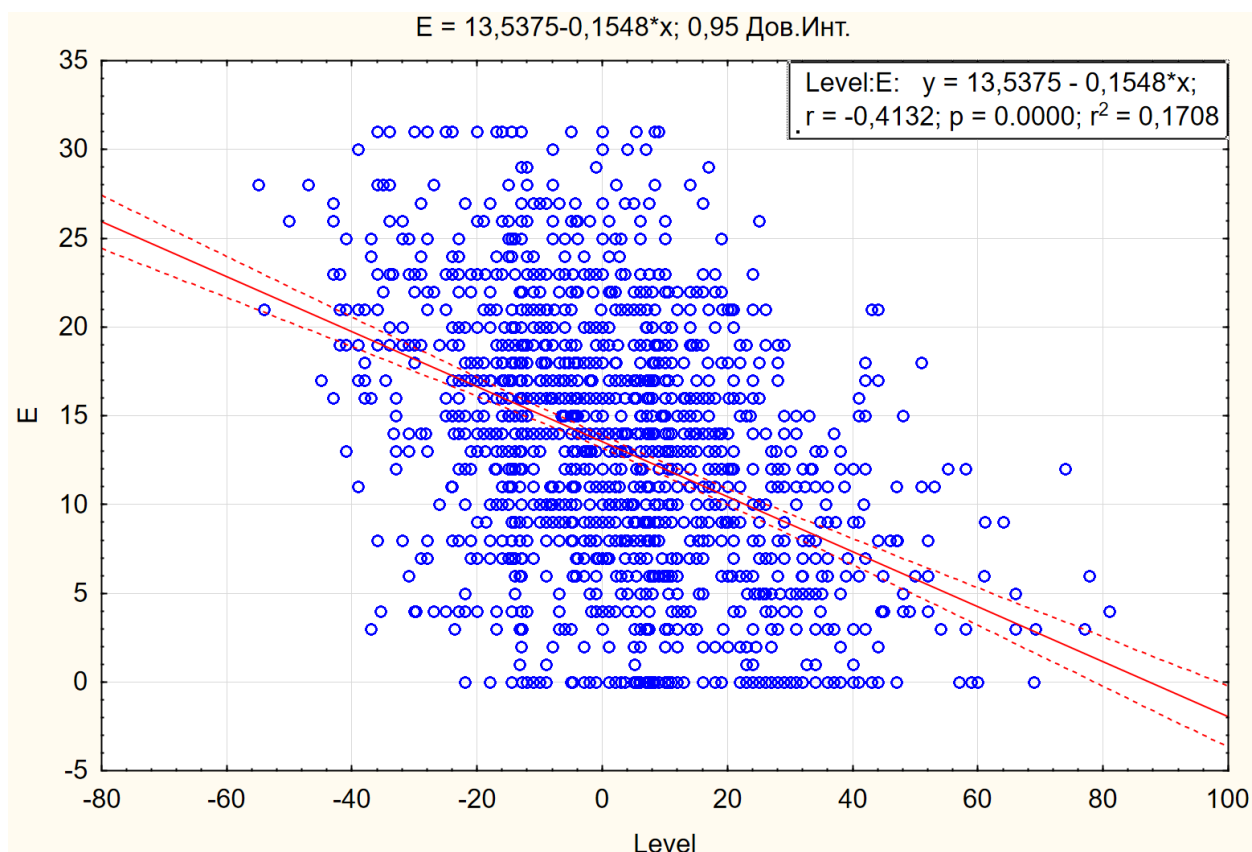


Рис. 13. Диаграмма рассеивания для рядов E и Level

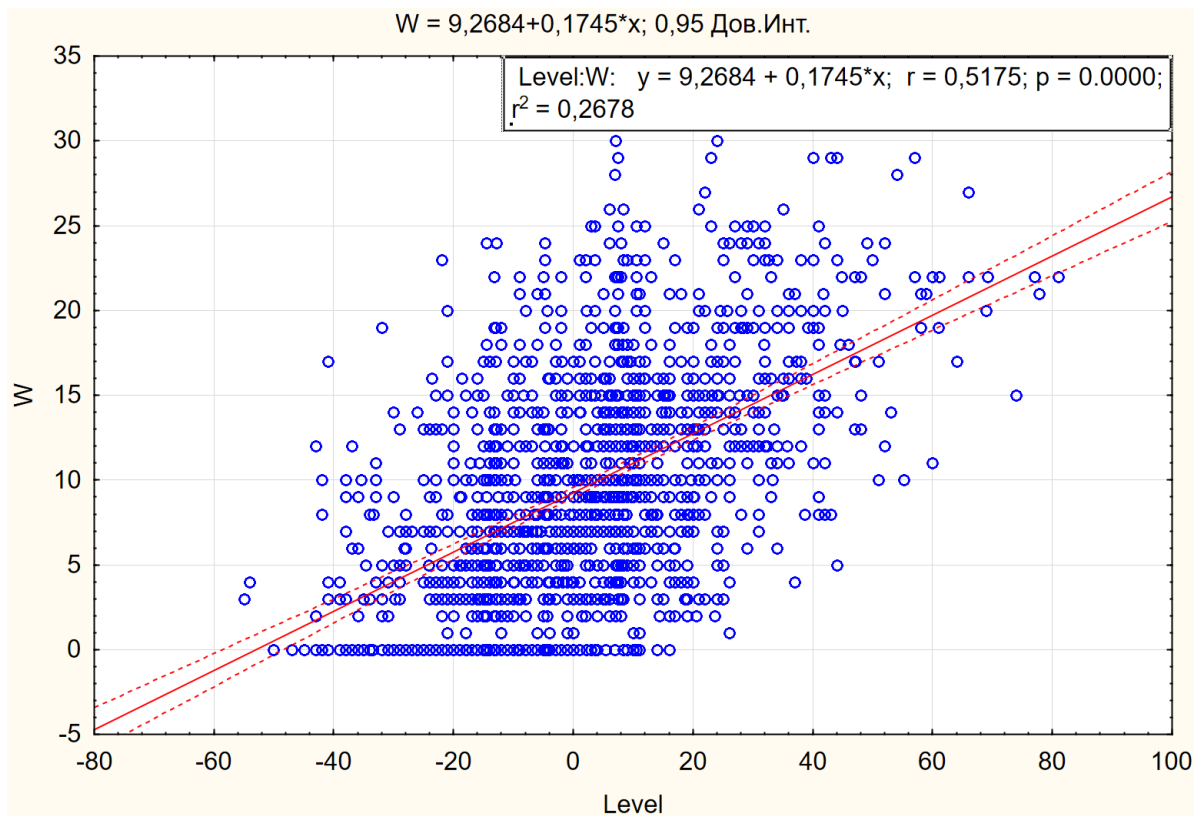


Рис. 14. Диаграмма рассеяния для рядов W и Level

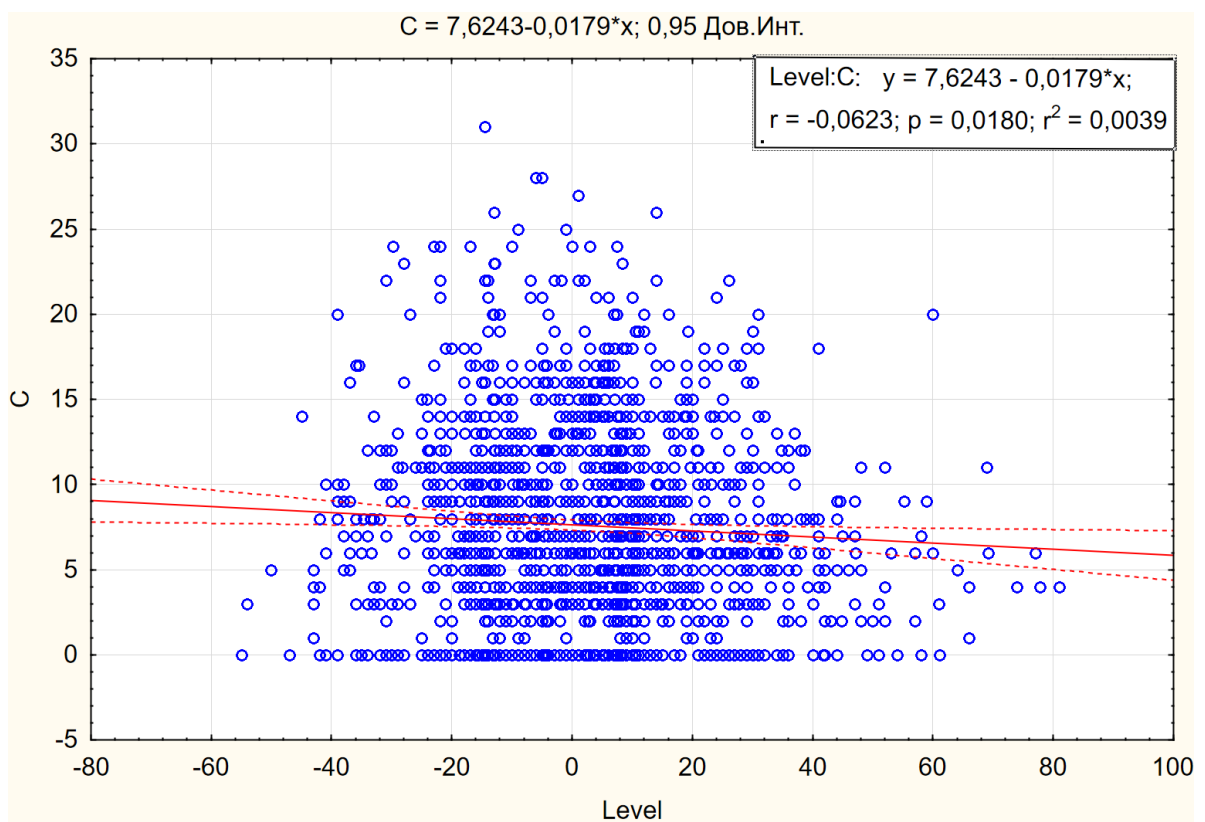


Рис. 15. Диаграмма рассеяния для рядов C и Level

Анализируя полученные диаграммы рассеяния можно сделать несколько выводов:

- Для рядов E и Level характерна обратная корреляция, что и отражает коэффициент корреляции равный -0,41

Уравнение регрессии имеет вид: $y = 13,54 - 0,16x$

- Для рядов W и Level характерна, наоборот, прямая корреляция, с коэффициентом равным 0,52

Уравнение регрессии имеет вид: $y = 9,27 + 0,18x$

- В случае с рядами C и Level, а какой-то связи между переменными говорить уже не приходится ($r = -0.06$)

2.2 Сравнение количества месяцев с определенной формой циркуляции.

Основываясь на результатах работы [11], рассмотрим особенности изменчивости форм циркуляции. Повторяемость западной (W) формы циркуляции с начала наблюдений форм циркуляции (1891 г.) до начала 30-х гг. XX в (более 40 лет) и с начала 90-х гг. по 2017 гг. (25 лет) характеризовалась положительными аномалиями относительно среднего значения за весь период (нормы), а с середины 30-х гг. до начала 90-х гг. (60 лет) отрицательными аномалиями. Эти многолетние циклы, несомненно, должны оказать влияние на многие процессы в Атлантико-Европейском регионе и, в частности, на колебания уровня в Балтийском море. В повторяемости меридиональной (С) формы атмосферной циркуляции выраженные циклы и тренды не наблюдались. Повторяемость восточной (E) формы циркуляции имеет почти обратный временной ход по сравнению с повторяемостью западной формы циркуляции. Так, с конца XIX в до середины 20-х гг. форма E имела отрицательные аномалии в повторяемости, а с конца 20-хх гг. до середины 90-х (около 70 лет) положительные аномалии

относительно нормы. Последние два десятилетия повторяемость этой формы циркуляции была около и ниже нормы.

Интересным оказалось сравнение количества месяцев со значительными отклонениями от приведенных норм и ряда количества дней с определенной формой циркуляции в каждый месяц (табл. 4).

Таблица 4 - Количество месяцев с аномальными отклонениями уровня от среднего значения и количество тех же месяцев с преобладающей формой циркуляции

Состояние уровня моря	Всего	Форма E	Форма W	Форма C
Ниже нормы (НН)	204	168	16	20
Выше нормы (ВН)	207	33	149	25

Общее количество месяцев с января 1900 г. по январь 2020 г. составляет 1440. Оказалось, что из 204 месяцев с аномалией уровня ниже нормы (НН) в 168 месяцах преобладала восточная форма (E) - 82%, а из 207 месяцев с аномалией уровня выше нормы (ВН) в 149 месяцах преобладала западная форма циркуляции (W) - 72%. В результате, подтверждается очевидный вывод – при активной деятельности циклонов (западная форма) преобладающее значение имеют западные «нагонные» ветры над акваторией Финского залива и высокие уровни воды. Менее очевидный вывод - при восточной форме, когда над европейской частью Российской Федерации наблюдается антициклон или гребень высокого давления, скорее всего преобладают восточные или северо-восточные ветры и сгонные явления в

Невской губе и Финском заливе, которые приводят к понижению морского уровня.

Далее будут приведены графики количества месяцев в году с определенным типом атмосферной циркуляции.

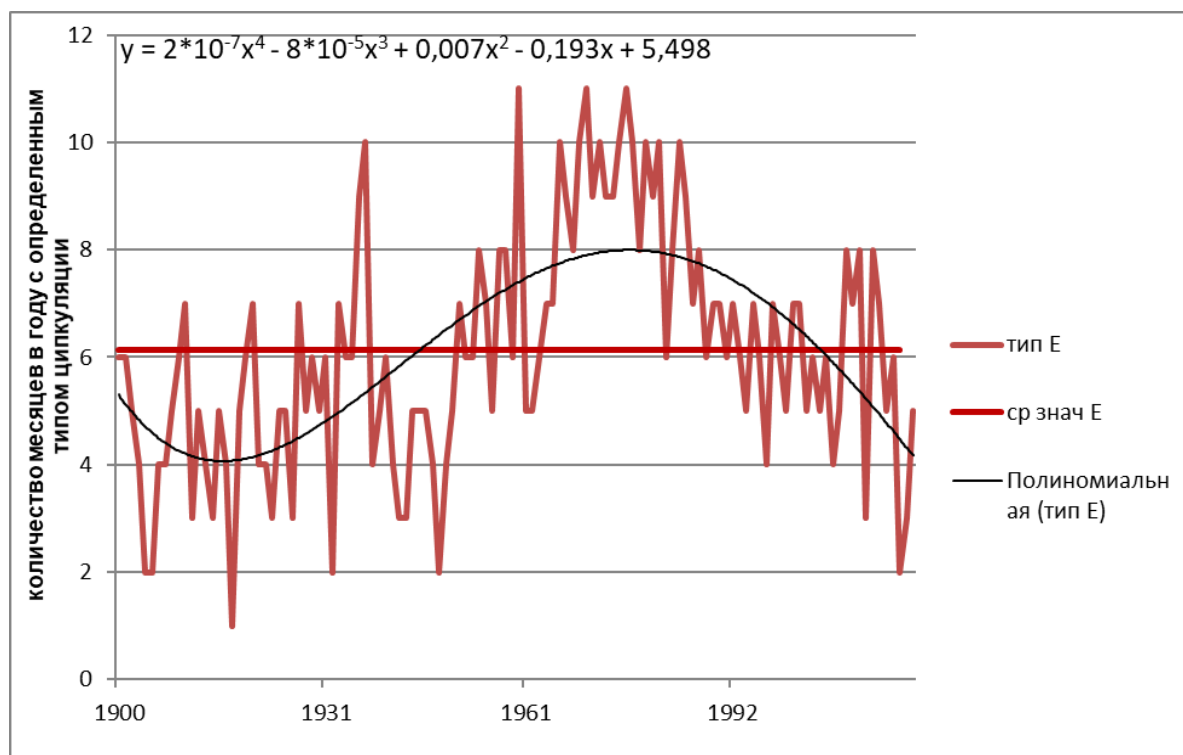


Рис. 16. Количество месяцев в году с типом циркуляции Е

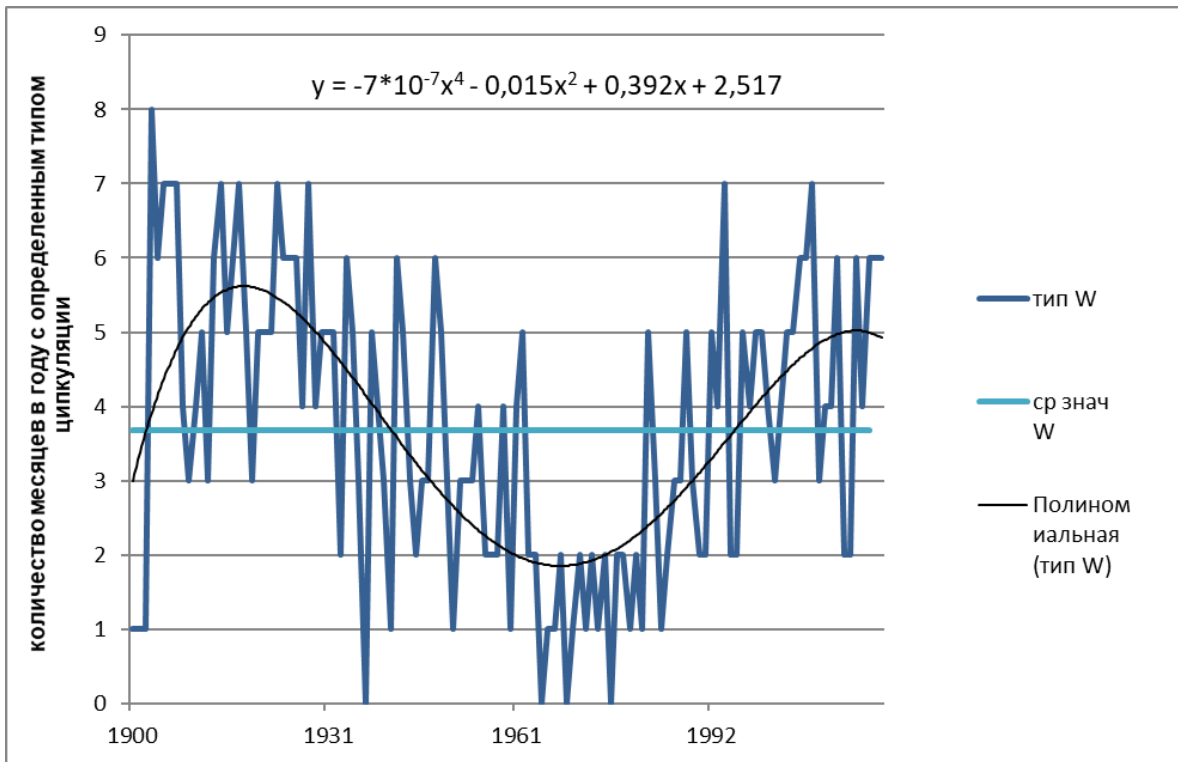


Рис. 17. Количество месяцев в году с типом циркуляции W

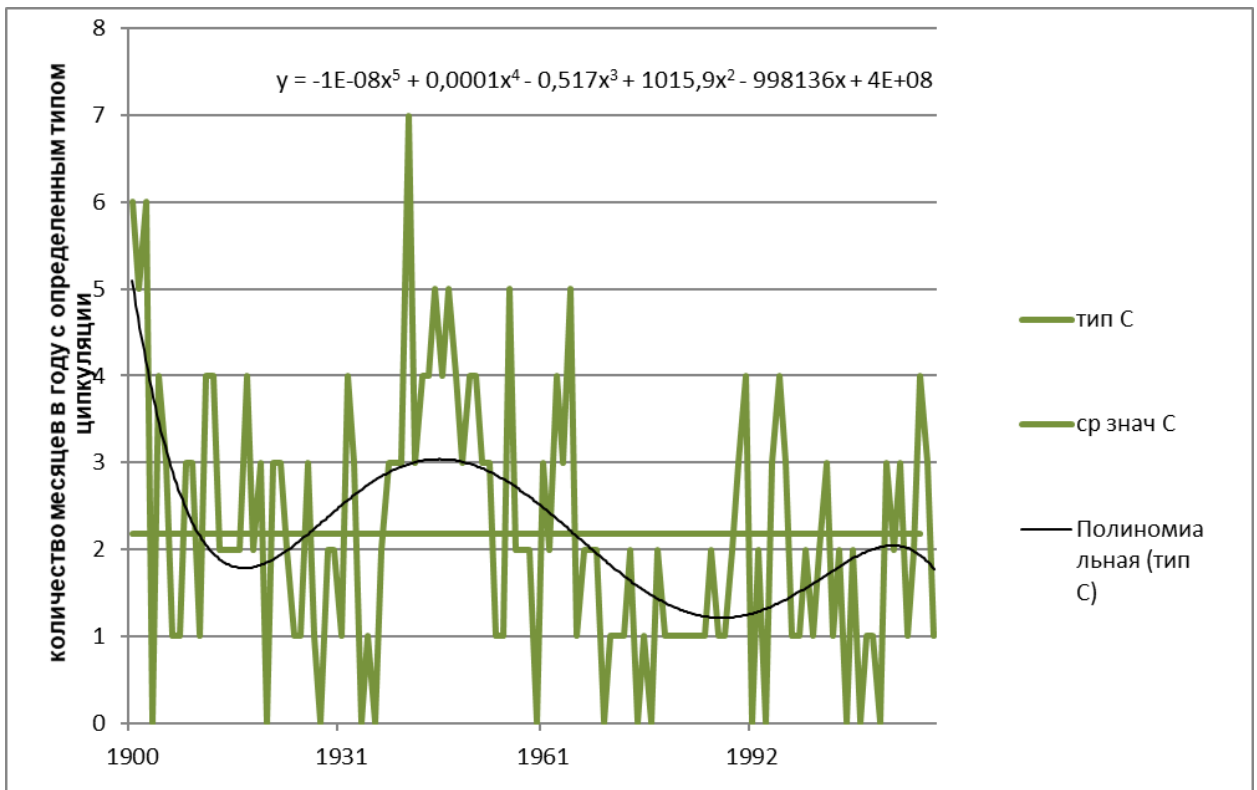


Рис. 18. Количество месяцев в году с типом циркуляции C

Беря во внимание все вышесказанное, с очевидностью следует, что величина уровня в Финском заливе зависит от преобладающих воздушных потоков и в целом от атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском регионе. Слишком высокие и слишком низкие среднемесячные значения уровня отчетливо прослеживаются при преобладании западной и восточной форм циркуляции соответственно.

Учитывая результаты из работ других авторов [4, 9] существенное повышение среднего уровня наблюдалось с начала 80-х годов. Тогда следует ожидать, что в этот период должно было происходить и изменение преобладающих форм циркуляции атмосферы, которое вызвало увеличение повторяемости ветров западного направления. Графики изменения количества месяцев в году с преобладающей формой циркуляции E и W за 1900-2020 гг. приведены на рис. 10. Там же приведены их средние значения и аппроксимирующие кривые временного хода обеих форм полиномами 4-й степени.

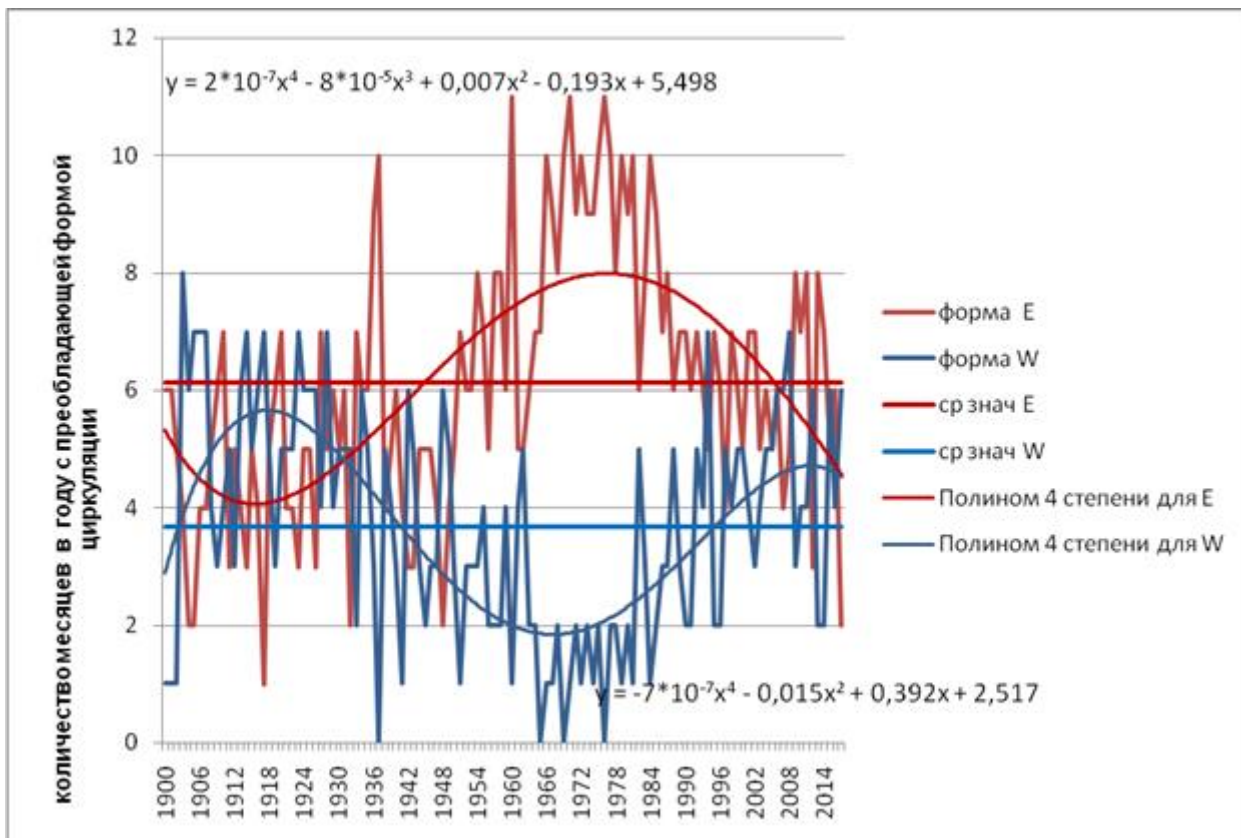


Рис. 19. График изменения количества месяцев в году с преобладающими формами циркуляции E и W. Приведены средние значения повторяемости формы циркуляции и кривые, аппроксимирующие временной ход форм циркуляции полиномами 4-й степени.

Во временном ходе этих форм циркуляции на рис. 11 четко видно, что наряду с известными периодами длительного преобладания или спада, в 60-80-е годы обе формы имели близкие к экстремумам значения параметра, именно тогда и колебания уровня имели наибольшую повторяемость. С начала 80-х преобладание восточной формы монотонно снижается, а количество месяцев с западной формой устойчиво растет. Причем, как отмечено в [11], с начала 90-х годов повторяемость формы W превышает среднее её значение. Эти особенности наиболее отчетливо видны по аппроксимирующим кривым изменения параметра. В соответствии с ростом повторяемости западной формы циркуляции и снижением повторяемости

восточной формы растет повторяемость подъемов уровня и средние месячные значения уровня в Финском заливе. В результате это и привело к повышению нормы уровня по сравнению с периодом до 1980 года на 6 см к началу 2010 года по [4] и на 8,3 см к настоящему времени при месячном осреднении данных.

2.3 Уравнение регрессии и оценка обеспеченности

Наибольший коэффициент корреляции между уровнем ФЗ и повторяемости формы циркуляции, как показано выше, имеет место с формой W. Поэтому построим уравнение регрессии именно по этой связи.

Уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = 9,27 + 0,18x$$

Где Y – соответственно значение уровня

Для оценки качества полученного нами уравнения регрессии сделаем прогноз. Отсечем последние три года значений уровня и спрогнозируем их с помощью уравнения регрессии.

Таблица 5 – Сравнение прогнозируемых величин с фактическими

Год	Прогноз	Значения уровня	Ошибка	Ср. абсолютная ошибка
01.01.2017	35,01	34,8	0,006034	0,115663131
01.02.2017	-6,6	-4,1	-0,60976	
01.03.2017	16,7	11,8	0,415254	
01.04.2017	21	19,7	0,06599	
01.05.2017	-6,8	-4,1	-0,65854	
01.06.2017	25,4	20,7	0,227053	
01.07.2017	22,2	18,6	0,193548	
01.08.2017	14,9	20,2	0,262376	
01.09.2017	5,7	1,4	3,071429	
01.10.2017	18,9	15,8	0,196203	
01.11.2017	33,7	40,9	0,176039	
01.12.2017	-3	-4,4	-0,31818	
01.01.2018	18,7	16,9	0,106509	
01.02.2018	-11,3	-9,3	-0,21505	
01.03.2018	-31,6	-28,2	-0,12057	
01.04.2018	-19,3	-17,2	-0,12209	
01.05.2018	-11,2	-14,9	-0,24832	
01.06.2018	6	2,2	1,727273	
01.07.2018	-7,1	-4,4	-0,61364	
01.08.2018	23,9	20,5	0,166549	
01.09.2018	40,7	35,7	0,140833	
01.10.2018	49,2	53,0	0,072423	
01.11.2018	2	6,2	0,677958	
01.12.2018	-1,3	-1,7	-0,23344	
01.01.2019	22,1	23,6	0,063166	
01.02.2019	12,9	15,4	0,162397	
01.03.2019	33,2	34,8	0,046847	
01.04.2019	-18	-17,9	-0,00799	
01.05.2019	-20,7	-23,8	-0,12922	
01.06.2019	-29,3	-34,6	-0,15318	
01.07.2019	-20,5	-24,2	-0,15289	
01.08.2019	18,7	14,4	0,298611	
01.09.2019	29,7	33,3	0,108108	
01.10.2019	-20,7	-23,6	-0,12288	
01.11.2019	-13,2	-15,9	-0,16981	
01.12.2019	-15,9	-18,6	-0,14516	

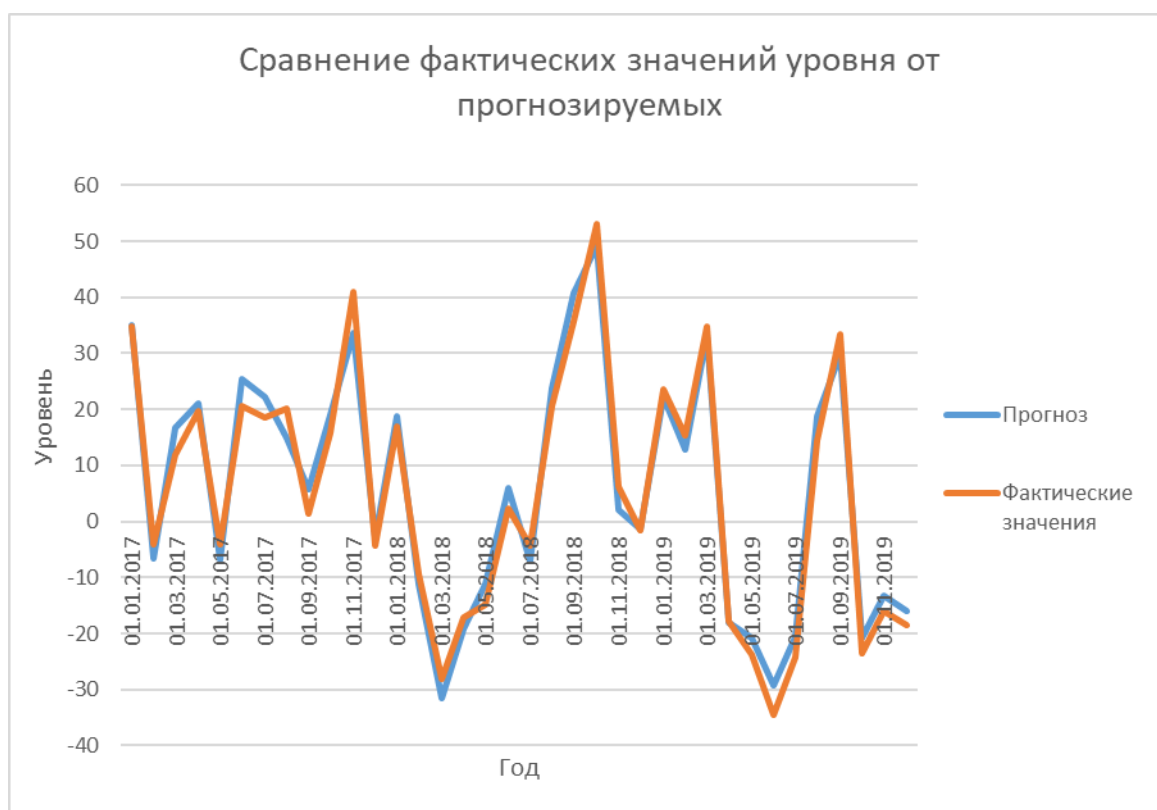


Рис. 20. Сравнение фактических значений уровня и прогнозируемых

В результате проведенного анализа можно отметить, что построенная модель имеет хорошее качество. Ошибка составляет около 11-12%. Таким образом, вероятнее всего исследуемые характеристики достаточно тесно связаны между собой, и форма атмосферной циркуляции W оказывает влияние на ход уровня по данным Кронштадтского футштока.

3. Спектральный анализ

Цель СА – разложение временных рядов с циклическими компонентами на несколько основных синусоидальных функций с определенной длиной волн.

Теория спектрального анализа (СА) основана на равносильности представления функций во временной и частотной областях с помощью преобразования Фурье. Фундаментом СА временных рядов является теорема Винера–Хинчина, которая устанавливает связь между двумя

характеристиками случайного процесса: спектральной плотностью мощности и автоковариационной функцией.

На практике из-за неполноты имеющейся информации приходится иметь дело не со строгими характеристиками (СП, АКВФ), а только с их оценками: периодограммой и коррелограммой, соответственно.

Переход от исходного временного ряда $f(t)$ к частотному представлению проводится посредством выражений

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t} d\omega$$

Здесь $f(t)$ - временной ряд; $F(\omega)$ - спектральная плотность.

Приведенные равенства определяют прямое и обратное преобразование Фурье.

СА позволяет оценить наличие циклических (сезонных) компонентов в имеющихся данных. По полученной периодограмме (графическому изображению спектральной плотности) временного ряда в частотной области можно выявить наличие или отсутствие выбросов, а по ним судить о присутствии периодического компонента в исследуемом сигнале. Такая возможность появляется вследствие того, что находящаяся под знаком интеграла показательная функция представляет собой так называемую базисную функцию, состоящую из набора гармонических составляющих.

Спектральная плотность (СП) определяет распределение энергии сигнала по частоте.

В этой главе будет проводиться спектральный анализ для выявления периодичностей в долгосрочных колебаниях уровня и типов атмосферных циркуляций. В первую очередь будут построены графики спектральной плотности по частоте и периоду. (периодограммы) После этого можно будет делать выводы о наличии или отсутствии каких-либо циклов и периодичностей.

3.1 Level

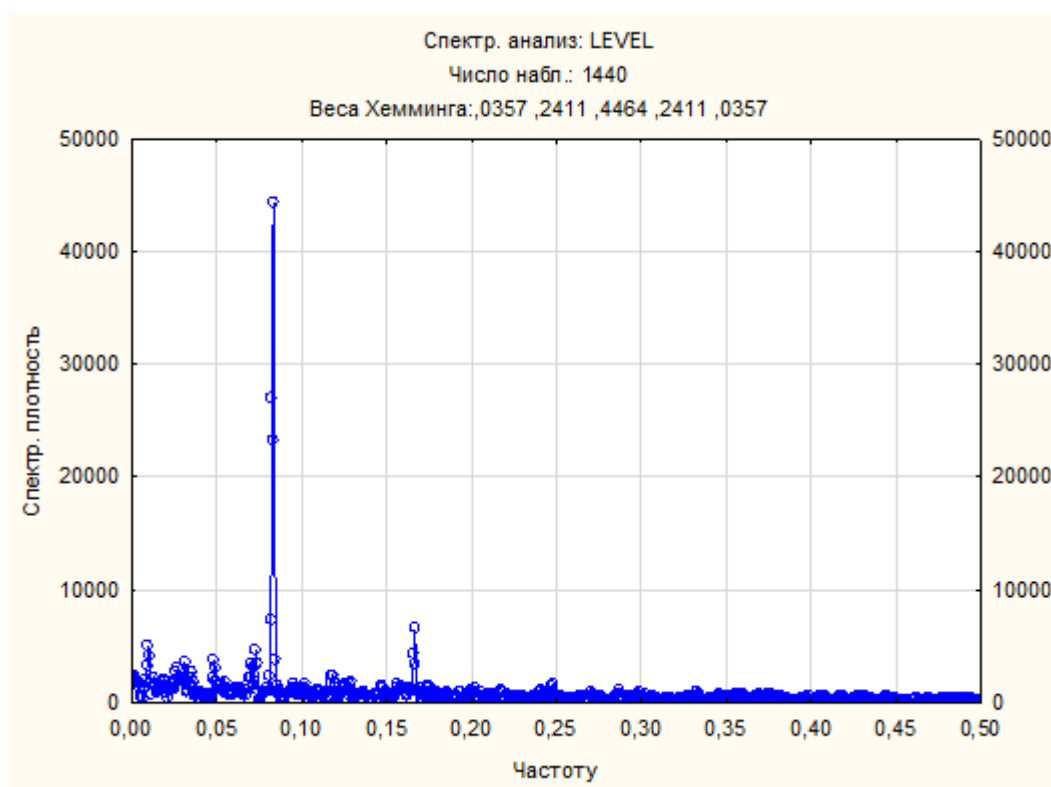


Рис. 21. График спектральной плотности переменной Level по частоте



Рис. 22. График спектральной плотности переменной Level по частоте с отфильтрованными данными

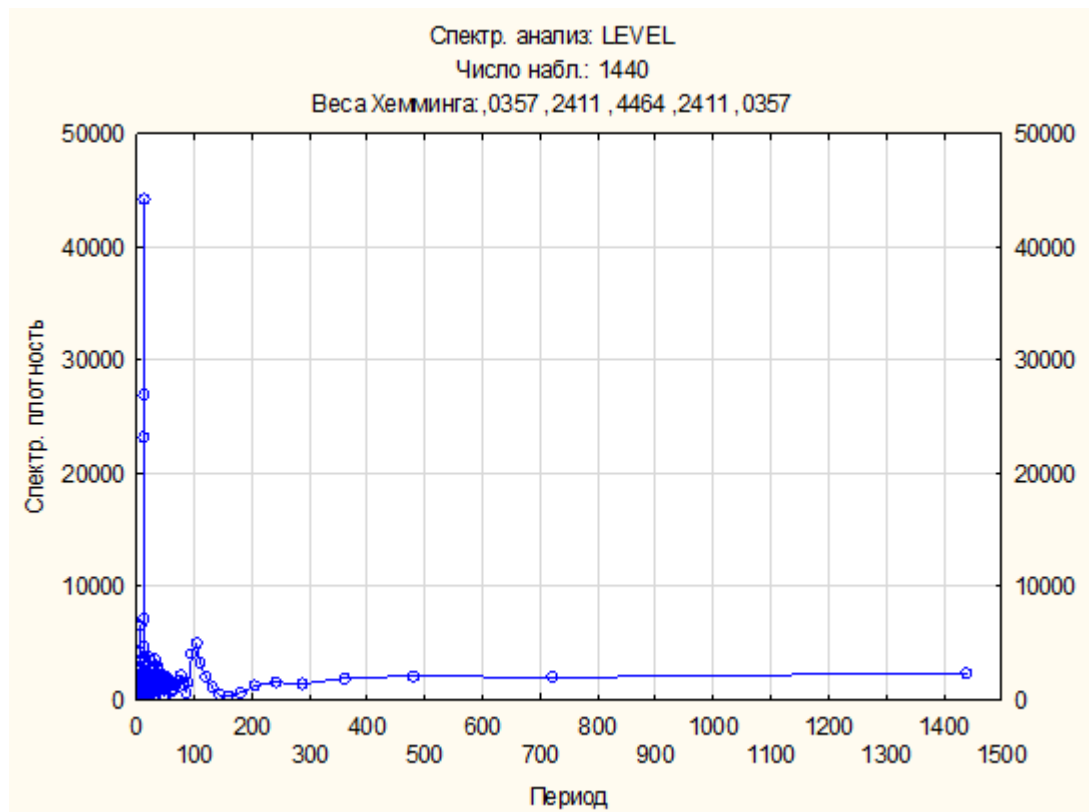


Рис. 23. График спектральной плотности переменной Level по периоду



Рис. 24. График спектральной плотности переменной Level по периоду с отфильтрованными данными

Исходя из графиков периодограмм переменная Level имеет четко выраженный 12 месячный (годовой) цикл, а также 6 месячный (полугодовой). Однако, для большей информативности мы последовательно отфильтруем максимальные значения периодов для выявления менее явных циклов.

После фильтрации графика никаких долгопериодных колебаний обнаружено не было. Поэтому, сделаем вывод, что для уровня характерны в основном сезонные (полугодовой и годовой) циклы. Такие цикличности очевидно (или скорее всего) связаны с сезонным ходом осадков и стоков рек, так как максимумы приходятся как раз-таки на весну и осень.

Однако, как и на всех периодограммах далее следует обратить внимание на 100 месячный цикл, но, к сожалению, его природа пока не установлена.

3.2 E

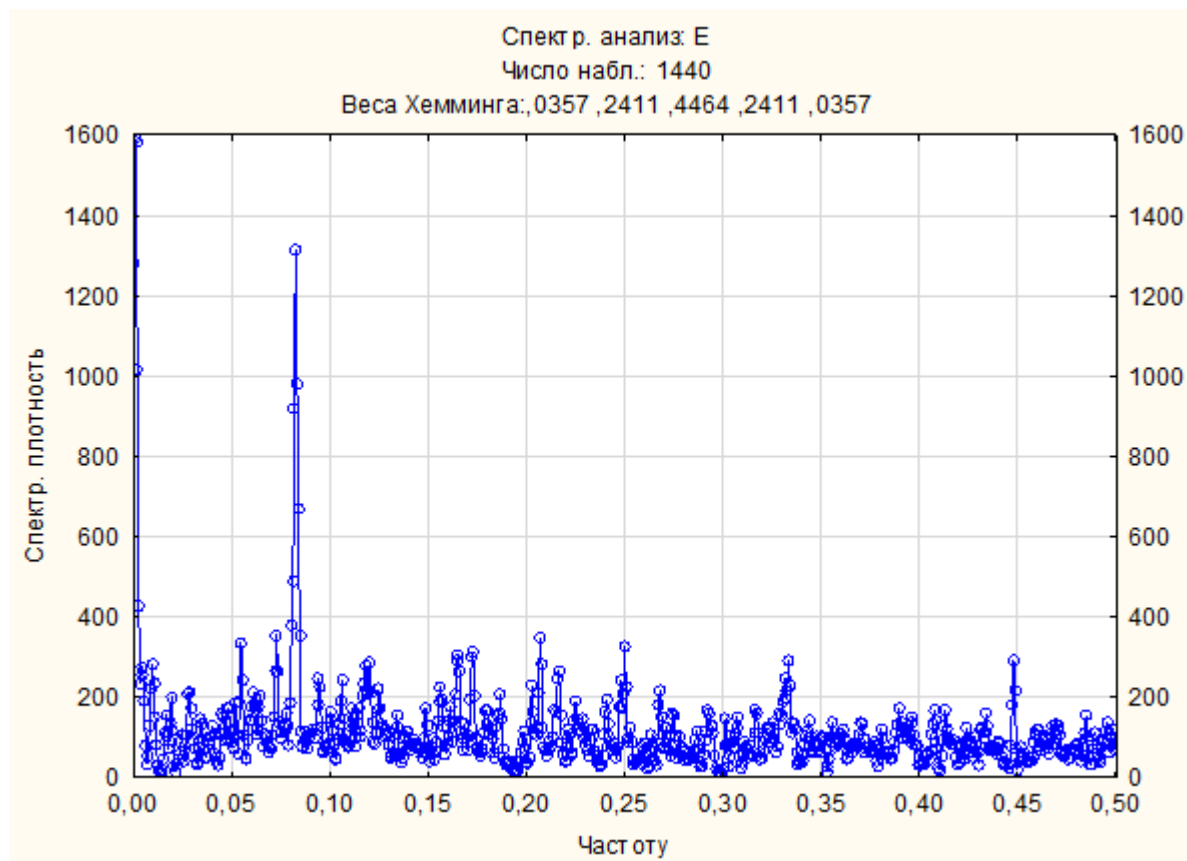


Рис. 25. График спектральной плотности переменной E по частоте



Рис. 26. График спектральной плотности переменной E по частоте с отфильтрованными данными

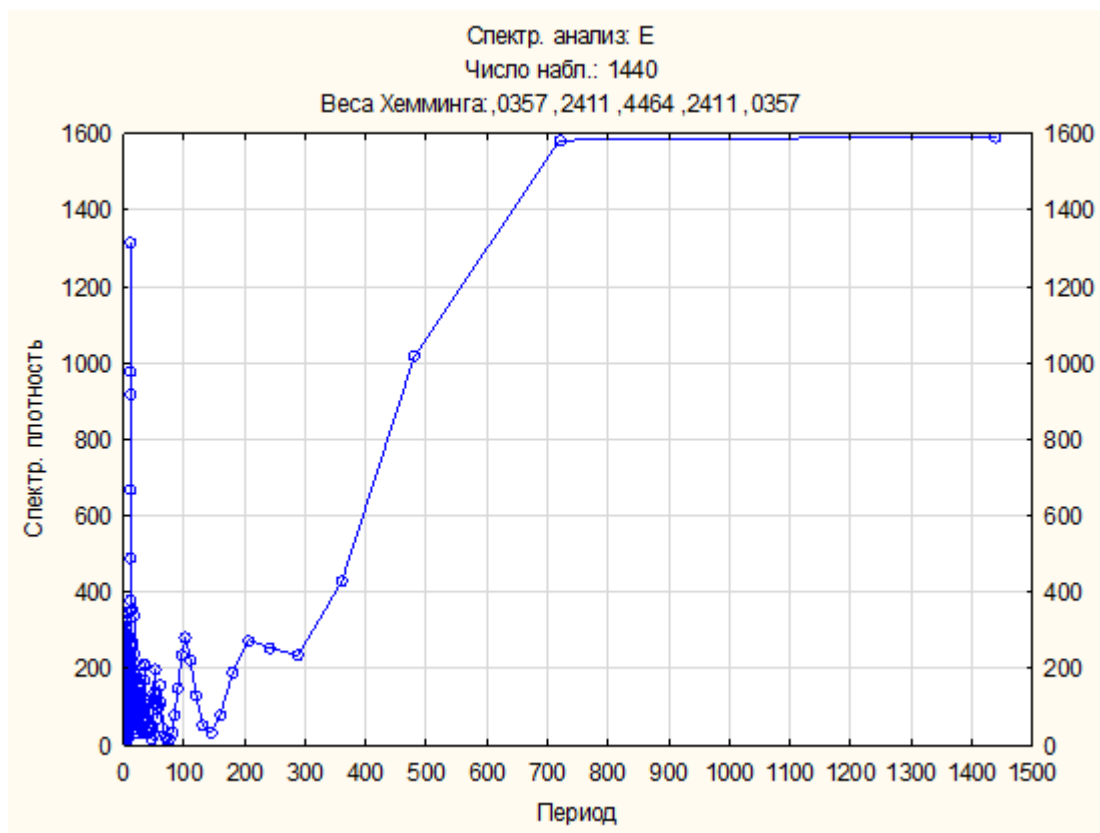


Рис. 27. График спектральной плотности переменной E по периоду

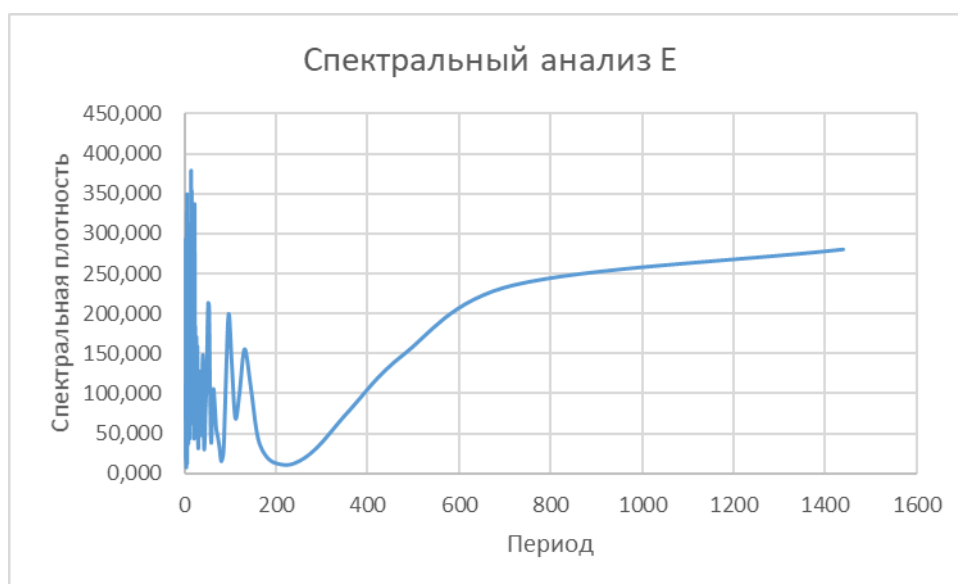


Рис. 28. График спектральной плотности переменной E по периоду с отфильтрованными данными

Анализируя данные периодограммы переменной E, следует обратить внимание на те же моменты, что и касаясь Level. А именно, выделяется частота, соответствующая годовой и полугодовой гармонике. Так же, как и говорилось выше на графике спектральной плотности по периоду наблюдается 100 месячный цикл. Остальные гармоники имеют незначимый вклад в общую дисперсию ряда.

3.3 W

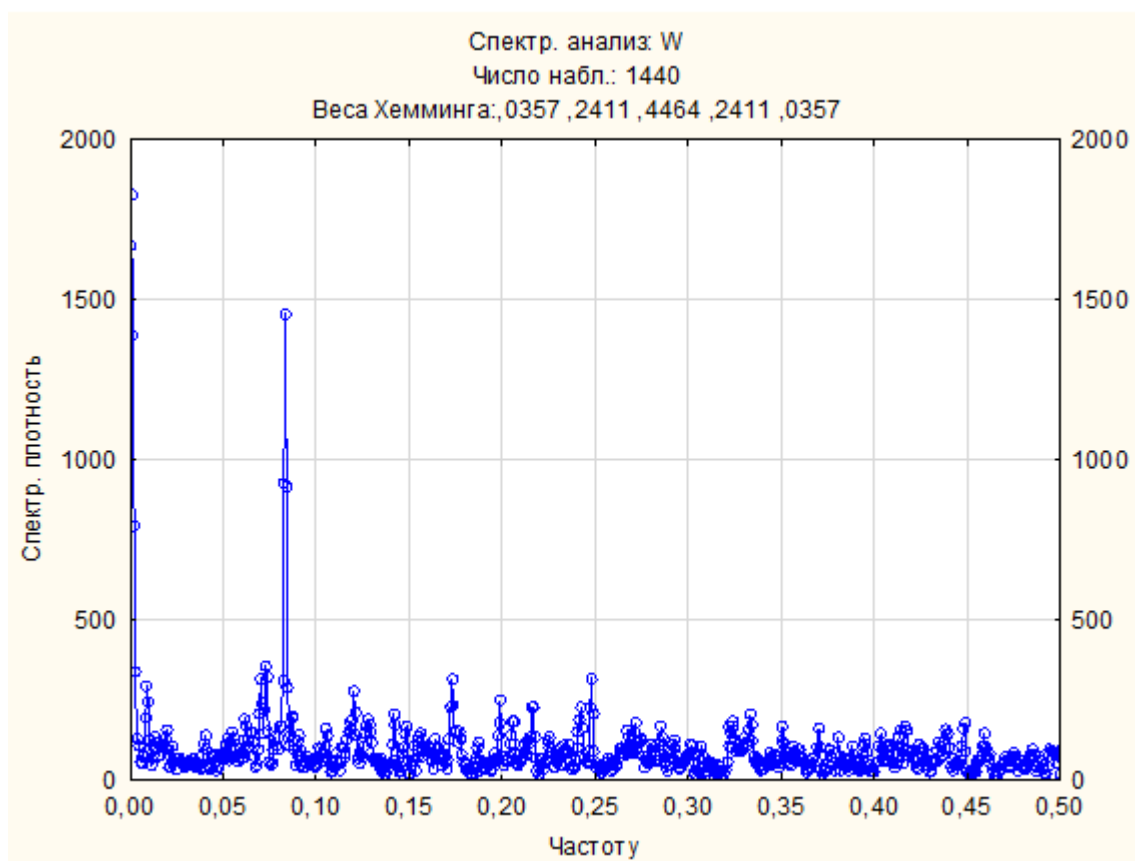


Рис. 29. График спектральной плотности переменной W по частоте



Рис. 30. График спектральной плотности переменной W по частоте с отфильтрованными данными

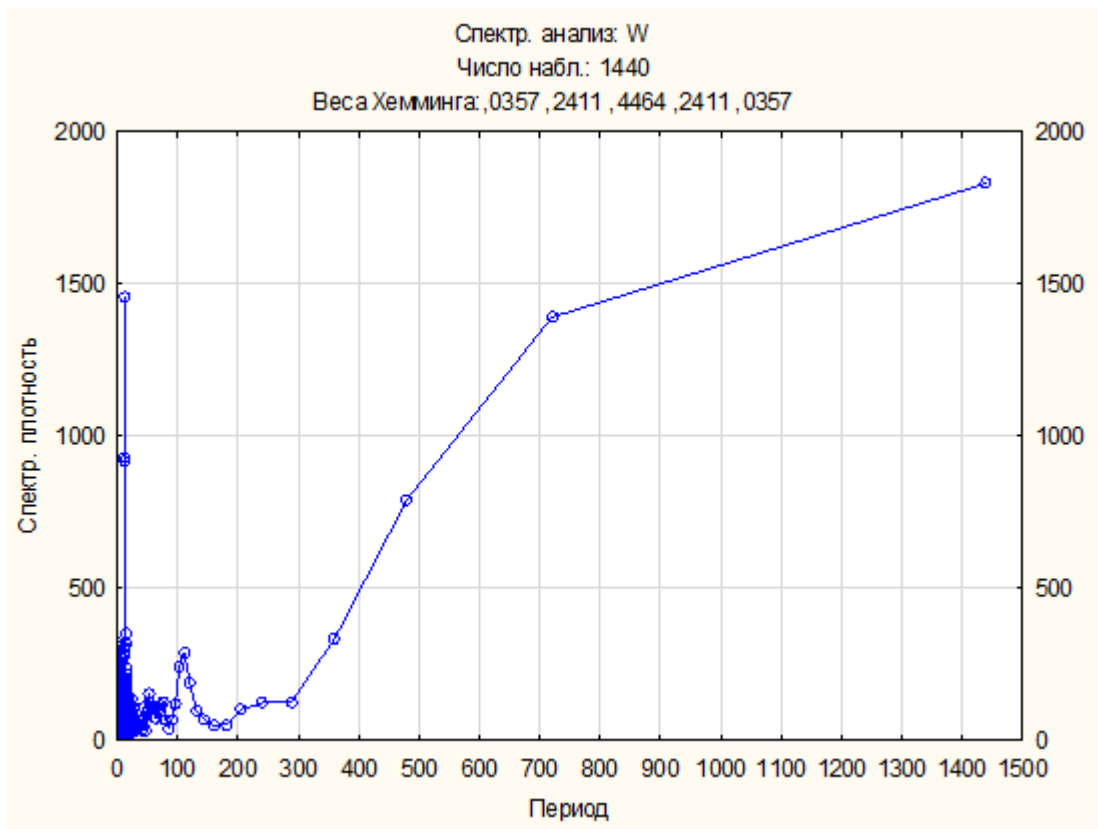


Рис. 31. График спектральной плотности переменной W по периоду

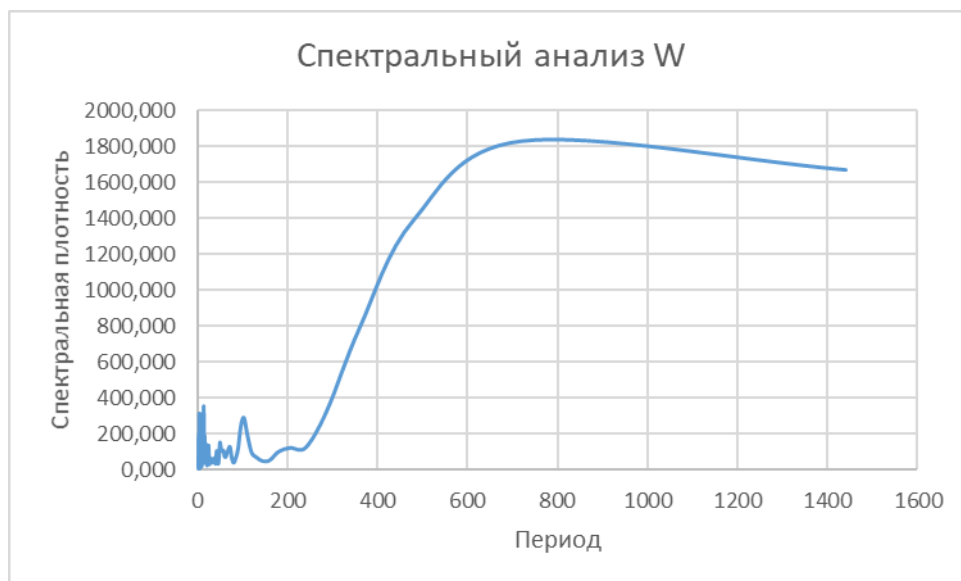


Рис. 32. График спектральной плотности переменной E по частоте с отфильтрованными данными

Для переменной W характерен уже только 12 месячный (годовой) цикл, а в остальном ситуация схожа с анализом предыдущей формы циркуляции,

что говорит нам о связи колебаний с сезонным ходом атмосферных процессов. Так же наблюдается 100 месячный цикл.

3.4 С

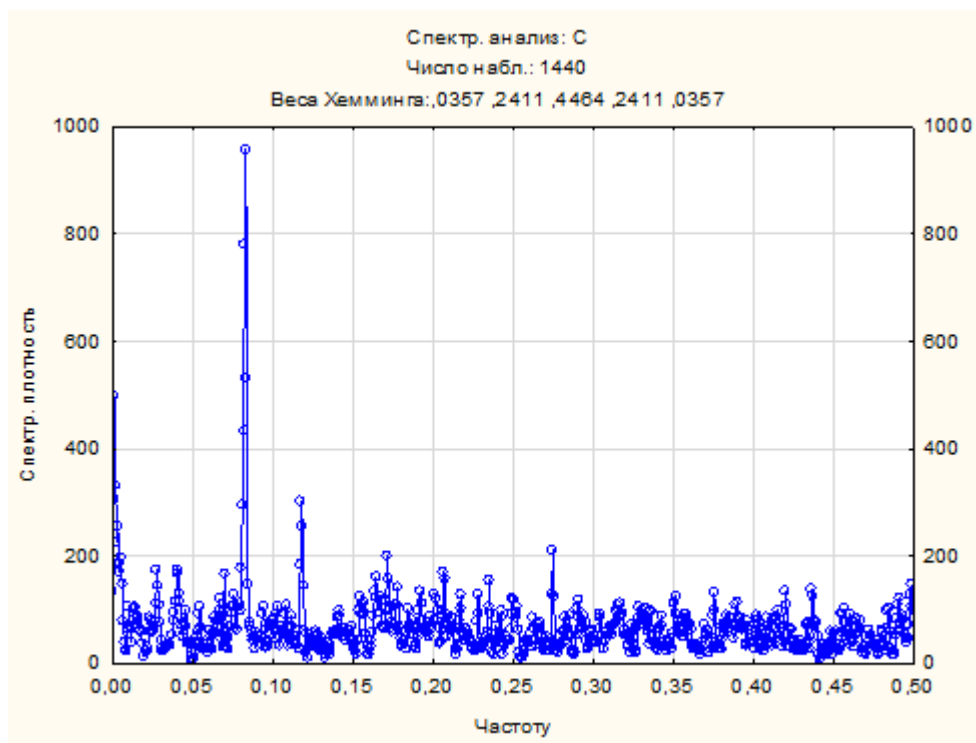


Рис. 33. График спектральной плотности переменной С по частоте

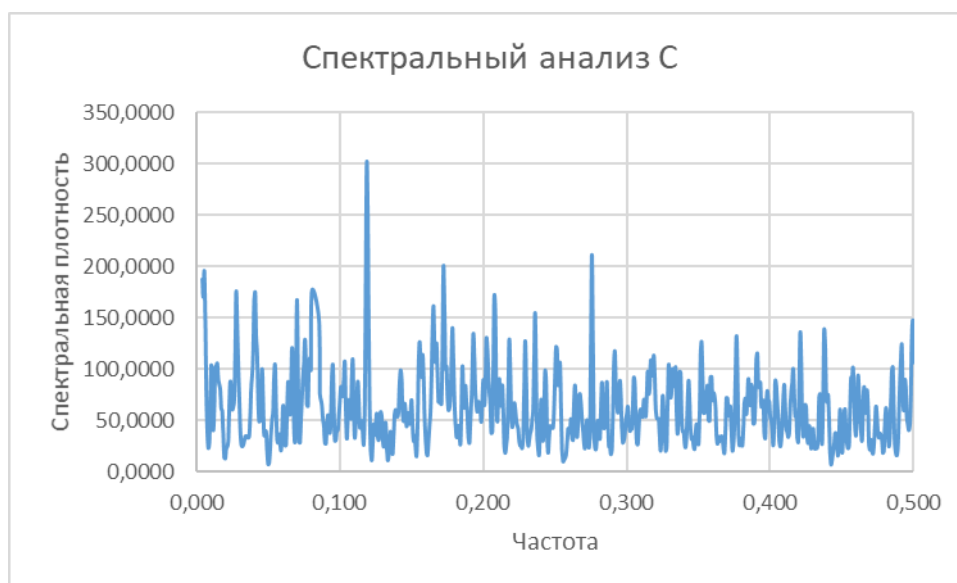


Рис. 34. График спектральной плотности переменной С по частоте с отфильтрованными данными

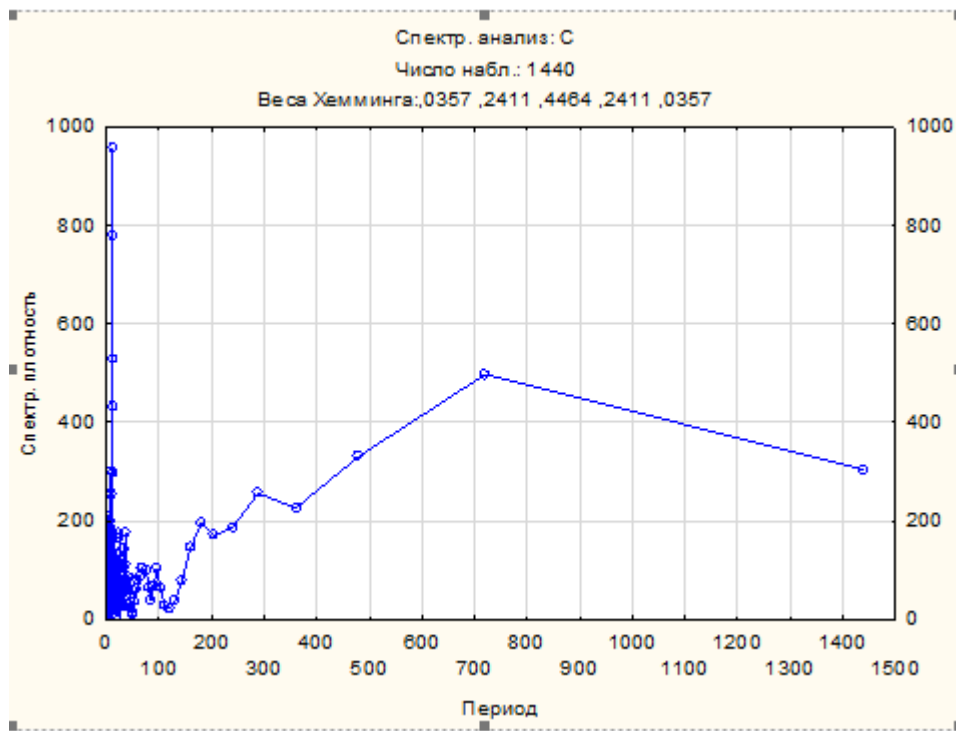


Рис. 35. График спектральной плотности переменной C по периоду

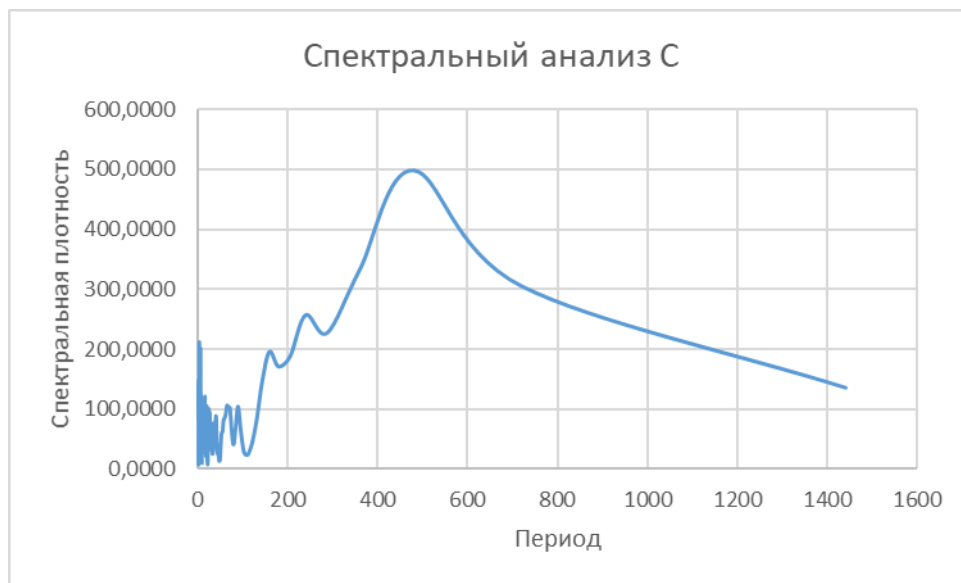


Рис. 36. График спектральной плотности переменной C по периоду с отфильтрованными данными

Для последней переменной, а именно формы C, характерны такие же сезонные колебания, что и для первых двух переменных. Однако 100 месячный цикл здесь выражен менее явно, лучше и четче выделяется 300 месячный цикл.

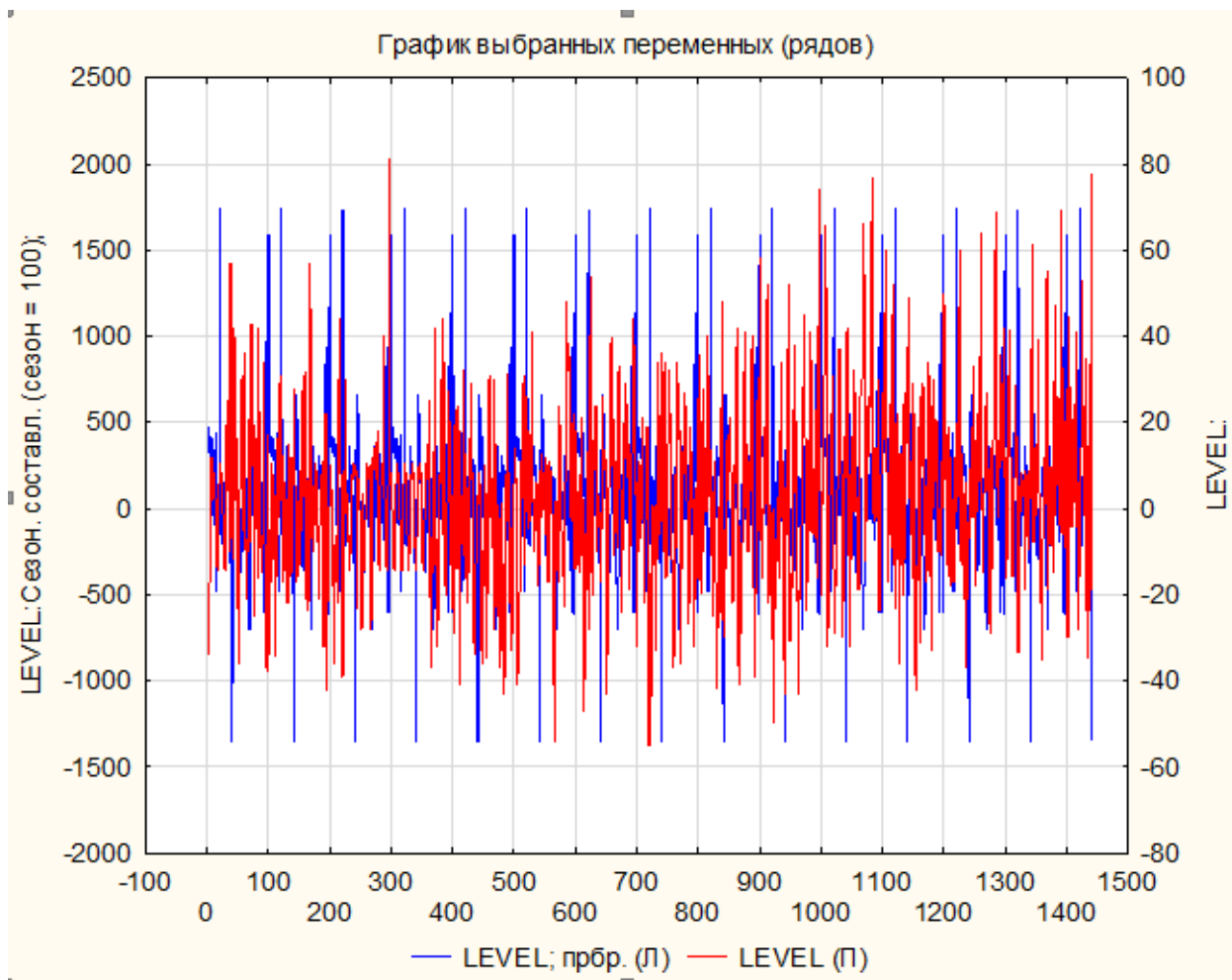


Рис. 37. Совместный график уровня по Кронштадтскому футштоку с сезонной составляющей = 100 месяцам

На рисунке 29 построен совместный график уровня по Кронштадтскому футштоку с сезонной составляющей = 100 месяцам о которой говорилось выше.

В результате спектрального анализа можно сделать выводы о том, что связь между уровнем и типами атмосферной циркуляции есть и существуют несколько циклов с различной периодичностью. Среди общего отметим то, что при анализе каждой переменной имеется четко выраженный 12 месячных (годовой) цикл. Для все переменных кроме W так же выражен 6 месячный (полугодовой) цикл. Обсуждая природу этих периодичностей, следует отметить, что они сезонные. Такие цикличности очевидно (или скорее всего)

связаны с сезонным ходом осадков и стоков рек, так как максимумы приходятся как раз-таки на весну и осень.

Что касемо цикла = 100 месяцев, то его природа пока неизвестна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как мы отметили во введении, несмотря на то что работа Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга (КЗС) защищает город от наводнений, анализ временных рядов наблюдений за уровнем в Финском заливе Балтийского моря остается актуальной задачей.

Если сам город надежно защищен, то нельзя не отметить, что территории, находящиеся за пределами дамбы до сих пор страдают от штормовых нагонов. К тому же активно развивающийся Курортный район нередко страдает от подобных нападков.

Современное изменение климата негативно влияет на многие процессы и явления на Земле. Следствием этого, помимо глобального потепления, являются различные погодно-климатические аномалии.

«Именно об этом свидетельствует быстрое увеличение количества беспрецедентных стихийных бедствий (крупномасштабные наводнения, засухи, тропические ураганы, штормовые циклоны, смерчи, торнадо и т.п.), наблюдающихся в разных странах мира. Не обошли эти бедствия и нашу страну. В 2010 г. отмечалась катастрофическая летняя засуха на большей части Европейской территории России, в 2012 г. – экстремальное наводнение в Крымске, а летом 2013 г. произошло небывалое в истории наводнение на р. Амур, последствия которого будут ощущаться еще многие годы» [2].

В заключение сформулируем основные выводы, полученные в результате работы.

1. Создан архив среднемесячных значений уровня Финского залива и повторяемости форм атмосферной циркуляции. Архив был пополнен и продлен до января 2020 года.

2. Показано, что существует корреляционная зависимость между колебаниями уровня в Финском заливе и формами W и E атмосферной циркуляции. Однако коэффициенты линейной корреляции не велики и составляют 0,52 и -0,41 соответственно.
3. На основе корреляционного анализа получено уравнение регрессии для зависимости Уровень ФЗ – повторяемость формы W.
Проверка уравнения регрессии показала, что при сдвиге в 1 шаг обеспеченность составила 88%.
4. Проведен спектральный анализ рядов уровня и форм атмосферной циркуляции. В ряду значений уровня выделяются циклы с периодами 6, 12 и 100 месяцев. Цикличности 6 и 12 месяцев очевидно связаны с сезонным ходом осадков (на как говорилось выше вклад осадков в изменение уровня ФЗ не велик) и стоков рек, так как максимумы приходятся на весну и осень.
Колебания с периодом 12 месяцев выделены также в рядах повторяемости всех форм. В ряду формы E выделены колебания с периодами 6 и 12 месяцев. Это еще раз подтверждает наличие связи колебаний уровня с сезонным ходом атмосферных процессов.
5. Также во всех анализируемых рядах были колебания с периодом около 100 месяцев. Их природа не установлена.

Колебания уровня Финского залива в масштабах месяцев и сезонов являются в значительной степени отражением атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском регионе Северного полушария. Совместный анализ ряда наблюдений за уровнем на Кронштадтском футштоке с формами циркуляции за 1900-2020 гг. [11] позволил сделать вывод о том, что изменение среднего уровня в Финском заливе за последние 40 лет более, чем на 8 см по сравнению с предыдущим 80-летним периодом связано с

изменением форм циркуляции атмосферы. После длительного периода преобладания восточной формы E в 40-90-е годы с 80-х гг. наблюдается устойчивый рост повторяемости западной формы W. Это приводит к усилению циклонической деятельности над Балтийским регионом, увеличению повторяемости ветров западного направления и к повышению уровня в Финском заливе. Закрытие КЗС при угрозе наводнений искажает естественный временной ход наблюдаемых величин уровня в Кронштадте, но измененные за счет закрытия КЗС или пропущенные значения могут быть восстановлены по данным Шепелевского водомерного поста, коэффициент корреляции данных которого с данными Кронштадского футштока близок к единице.

Список использованной литературы

1. Безгоднов А. В., Цветков В. Ю. 2014 – год Финского залива в России, Финляндии, Эстонии [Текст] / Сборник научных трудов // по материалам Шестой Международной конференции «Ладожский парламент». СПб, 2015. – 131 с.
2. Гордеева С.М., Малинин В.Н. Изменчивость морского уровня Финского залива. –СПб.: РГГМУ, 2014. –179с.
3. Аверкиев А.С. Оценка влияния циклонической активности на колебания уровня воды в Невской губе // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 18.
4. Bogdanov, V.I., Medvedev, M.Yu., Solodov, V.A., Trapeznikov, Yu., A., Troshkov, G.A. and Trubitsina, A.A. 2000. Mean monthly series of sea level observations (1777-1993) at the Kronstadt gauge. // Reports of the Finnish Geodetic Institute, 2000:1, 34pp
5. Богданов В. И. Кронштадтский футшток и его Шепелевский дублер. - С-Петербургский Научный центр РАН, 2015. - 248 с.
6. Аверкиев А.С. Особенности штормовых нагонов в Финском заливе, формируемых экстремальными циклонами, во время работы Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений// Фундаментальная и прикладная гидрофизика, т.7, № 4, 2014.- с. 29-39
7. Averkiev A.S., Klevannyu K.A. A case study of the impact of cyclonic trajectories on sea-level extremes in the Gulf of Finland. Continental Shelf Research. 2010. T. 30. № 6. С. 707-714.
8. Аверкиев А.С., Клеванный К.А. Расчет экстремальных уровней воды в восточной части Финского залива. Метеорология и гидрология. 2009. № 11. С. 59-68.
9. Псаломщикова Л.М., Мироничева Н.П., Бессан Г.Н., Швецова Н.Р. Характеристики значительных наводнений в устье р. Невы при разных

- синоптических ситуациях// Метеоспектр. Изд. Агентства Росгидромета по специализированному гидрометобеспечению, 2010, № 2, с. 105-110
10. Захарчук Е.А., Сухачев В.Н., Тихонова Н.А. Механизмы опасных подъёмов уровня моря в Финском заливе. Изд. «Петербург-XXI век», С-Петербург, 2017.-152с.
 11. Дмитриев А.А., Дубравин В.Ф., Белязо В.А. «Атмосферные процессы Северного полушария (1891–2018 гг.), их классификация и использование».- СПб., СУПЕР Издательство, 2018.-306с.
 12. Malinin V.N., Gordeeva S.M., and Yu.V. Mitina. Variations of Neva Floods and Sea Level in the Gulf of Finland under Current Climate Conditions // Water Resources, 2015, Vol. 42, No. 5, pp. 699–711.
 13. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Митина Ю.В., Павловский А.А.. Негативные последствия штормовых нагонов и «векового» роста уровня в Невской губе //Вода и экология: проблемы и решения. 2018. № 1 (73). С.48-58.
 14. Аверкиев А.С. Колебания уровня в Финском заливе и типы атмосферной циркуляции/ Материалы IV Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2020. С.5-9
 15. Захарчук Е.А. Синоптическая изменчивость уровня и течений в морях, омывающих северо-западное и арктическое побережья России. – СПб.: Гидрометео-издат, 2008. – 359 с.
 16. Павловский А.А., Малинина Ю.В. Сценарии повышения уровня Финского залива в XXI веке и его последствия для затопления береговой зоны в пределах Курортного района Санкт-Петербурга // Общество. Среда. Развитие, 2010, № 4, с. 219-226.

17. Павловский А.А., Митина Ю.В. Возможные последствия повышения уровня Финского залива в XXI столетии для прибрежных территорий Санкт-Петербурга // Общество. Среда. Развитие, 2012, № 1, с. 221-235.
18. Еремина Т.Р., Густоев Д.В., Цепелев В.Ю. Исследование долгопериодных изменений гидрометеорологических характеристик восточной части Финского залива в 1958-2009 гг. // Фундамент. и прикладн. гидрофизика, 2013, т. 6, № 1, с. 40-51.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Многолетний временной ряд наблюдений за уровнем в Финском заливе и форм циркуляции над Атлантико-Европейским регионом. (1900 - январь 2020 гг)

Год	Level	E	W	C
1900	-30	31	0	0
1900	-34	26	0	3
1900	-23	14	0	17
1900	-17	13	6	11
1900	-3	0	9	22
1900	-12	0	10	20
1900	12	4	7	20
1900	2	11	5	15
1900	10,52	5	6	19
1900	7,52	17	9	5
1900	6,91	30	0	0
1900	8,31	8	23	0
1901	3,62	0	15	16
1901	-4,25	7	4	17
1901	-12,84	12	4	15
1901	-13,24	18	12	0
1901	-14,57	12	6	13
1901	-4,75	23	0	7
1901	5,38	17	0	14
1901	5,97	5	15	11
1901	10,52	22	0	8
1901	7,52	27	4	0
1901	6,91	0	10	20
1901	8,31	19	9	3
1902	3,62	0	17	14
1902	-4,25	12	8	8
1902	-12,84	16	3	12
1902	-13,24	12	10	8
1902	-14,57	12	3	16
1902	-12	4	7	19
1902	14	4	10	17
1902	21	17	8	6
1902	25	5	7	18
1902	4	9	10	12
1902	11	14	3	13
1902	-10	9	9	13
1903	12	5	14	12
1903	57	0	22	6

1903	19	14	16	1
1903	11	16	4	10
1903	-6	18	9	4
1903	-12	21	0	9
1903	10	6	13	12
1903	42	7	24	0
1903	30	13	14	3
1903	2	13	15	3
1903	27	11	19	0
1903	0	31	0	0
1904	-2	14	14	3
1904	-15	12	17	0
1904	-36	31	0	0
1904	-21	23	7	0
1904	2	0	15	16
1904	6	0	12	18
1904	30	0	12	19
1904	23	2	18	11
1904	-5	10	9	11
1904	1	14	17	0
1904	28	0	24	6
1904	32	0	17	14
1905	34	5	15	11
1905	36	7	21	0
1905	-21	23	8	0
1905	-14	18	7	5
1905	-7	5	9	17
1905	-10	10	4	16
1905	15	7	24	0
1905	17	8	23	0
1905	21	10	20	0
1905	11	10	6	15
1905	-8	10	20	0
1905	43	0	29	2
1906	23	6	17	8
1906	10	14	14	0
1906	25	0	23	8
1906	-3	15	11	4
1906	-25	31	0	0
1906	-1	0	5	25
1906	14	11	11	9
1906	16	0	21	10
1906	1	7	14	9
1906	-14	25	3	3
1906	-16	14	16	0
1906	42	18	11	2

1907	3	10	15	6
1907	-9	16	12	0
1907	2	0	23	8
1907	-13,24	11	19	0
1907	-14,57	4	18	9
1907	-15	12	15	3
1907	0	3	12	16
1907	34	0	31	0
1907	30	5	25	0
1907	-16	26	5	0
1907	-29	27	3	0
1907	-37	25	0	6
1908	-16	8	13	10
1908	17	15	2	12
1908	-38	18	3	10
1908	-34	23	0	7
1908	-12	0	19	12
1908	-4,75	0	13	17
1908	-17	4	10	17
1908	5,96	0	15	16
1908	10,52	6	22	2
1908	-14	20	11	0
1908	-3	2	15	13
1908	8	14	7	10
1909	5	17	14	0
1909	-4	16	0	12
1909	-34	31	0	0
1909	-20	4	12	14
1909	-10	13	3	15
1909	-5	0	9	21
1909	8	5	22	4
1909	29	12	19	0
1909	-2	23	7	0
1909	2	25	6	0
1909	12	5	25	0
1909	2	18	11	2
1910	31	3	16	6
1910	3	25	3	0
1910	0	12	10	9
1910	-17	12	14	4
1910	-14	12	12	7
1910	-14	14	10	6
1910	6	11	12	8
1910	-15	13	2	16
1910	-10	16	14	0
1910	2	11	18	2

1910	-22	17	13	0
1910	-14	15	14	2
1911	15	15	10	6
1911	12	4	12	12
1911	0	11	4	16
1911	-11	0	15	15
1911	-16	15	8	8
1911	-12	4	10	16
1911	12	0	17	14
1911	0	9	9	13
1911	19	10	14	6
1911	9	8	14	9
1911	28	6	19	5
1911	-17	31	0	0
1912	-14	9	17	5
1912	-15	7	10	12
1912	-16	23	8	0
1912	1	0	3	27
1912	-5	0	13	18
1912	5	0	21	9
1912	-13	2	6	23
1912	-7	16	15	0
1912	17	13	12	5
1912	-5	22	5	4
1912	10	15	12	3
1912	31	14	14	3
1913	6	13	13	5
1913	3	6	8	14
1913	32	5	23	3
1913	-9	20	0	10
1913	-21	8	20	3
1913	8	0	14	16
1913	1	16	0	15
1913	2	14	9	8
1913	-24	15	3	12
1913	-9	10	21	0
1913	23	1	29	0
1913	57	0	29	2
1914	25	0	17	14
1914	26	4	24	0
1914	-7	11	14	6
1914	-5	8	22	0
1914	5	2	19	10
1914	-10	9	4	17
1914	5,38	17	9	5
1914	5,97	0	10	21

1914	10,52	5	20	5
1914	7,52	23	5	3
1914	6,91	3	18	9
1914	7	16	15	0
1915	-18	21	0	10
1915	-21	13	15	0
1915	-15	12	12	7
1915	-1	7	11	12
1915	-2	0	22	9
1915	8	5	24	1
1915	4	8	12	11
1915	7	3	10	18
1915	11	0	17	13
1915	-32	25	2	4
1915	-20	14	5	11
1915	-7	17	9	5
1916	22	6	20	5
1916	6	12	17	0
1916	-42	21	10	0
1916	-23	20	10	0
1916	-14,57	8	18	5
1916	-7	10	7	13
1916	-2	0	20	11
1916	10	0	13	18
1916	7	0	30	0
1916	10	11	16	4
1916	-7	18	6	6
1916	-15	26	5	0
1917	-18	10	3	18
1917	-16	7	4	17
1917	-36	8	6	17
1917	-12	8	18	4
1917	-6	10	21	0
1917	-14	7	12	11
1917	-10	0	7	24
1917	-22	0	23	8
1917	30	0	23	7
1917	22	15	16	0
1917	29	11	15	4
1917	44	17	14	0
1918	16	2	16	13
1918	6	12	13	3
1918	-17	18	10	3
1918	-39	30	0	0
1918	-39	11	0	20
1918	4	8	10	12

1918	5	10	16	5
1918	9	0	23	8
1918	30	5	25	0
1918	16	19	7	5
1918	0	20	7	3
1918	-8	19	12	0
1919	3,62	27	4	0
1919	-4,25	15	13	0
1919	-12,84	16	5	10
1919	-13,24	1	19	10
1919	-14,57	9	0	22
1919	-4,75	15	8	7
1919	5,38	14	11	6
1919	5,97	0	31	0
1919	10,52	5	25	0
1919	7,52	14	3	14
1919	6,91	10	7	13
1919	8,31	21	6	4
1920	9	10	16	5
1920	10	14	15	0
1920	8	14	17	0
1920	-23	23	7	0
1920	-3	23	8	0
1920	2	8	13	9
1920	6	8	13	10
1920	7	20	6	5
1920	-2	20	6	4
1920	-21	17	3	11
1920	-2	17	13	0
1920	-28	31	0	0
1921	3,62	8	23	0
1921	-4,25	15	13	0
1921	-12,84	7	24	0
1921	-13,24	17	4	9
1921	-14,57	17	8	6
1921	-4,75	8	6	16
1921	5,38	0	13	18
1921	5,97	7	7	17
1921	10,52	3	21	6
1921	7,52	0	29	2
1921	6,91	20	7	3
1921	8,31	10	14	7
1922	10	26	5	0
1922	-28	22	6	0
1922	4	6	10	15
1922	-26	19	0	11

1922	1	8	23	0
1922	12	6	19	5
1922	9	12	17	2
1922	14	11	16	4
1922	10,52	14	10	6
1922	7,52	4	3	24
1922	6,91	5	9	16
1922	8,31	0	26	5
1923	18	14	17	0
1923	-7	23	5	0
1923	-12,84	14	11	6
1923	-13,24	9	6	15
1923	-14,57	11	6	14
1923	-4,75	0	23	7
1923	5,38	4	16	11
1923	5,97	2	26	3
1923	10,52	12	15	3
1923	7,52	8	19	4
1923	40	1	29	0
1923	10	14	13	4
1924	3,62	27	4	0
1924	-4,25	26	3	0
1924	-12,84	18	6	7
1924	-13,24	11	2	17
1924	-14,57	7	24	0
1924	-4,75	6	24	0
1924	5,38	9	13	9
1924	5,97	26	3	2
1924	81	4	22	4
1924	7,52	16	15	0
1924	6,91	0	22	8
1924	8,31	9	14	8
1925	3,62	0	25	6
1925	-4,25	12	16	0
1925	-12,84	12	8	11
1925	-13,24	13	8	9
1925	-14,57	21	10	0
1925	-4,75	6	12	12
1925	5,38	16	0	15
1925	5,97	14	13	4
1925	10,52	5	15	10
1925	7,52	0	21	10
1925	6,91	0	19	11
1925	8,31	0	19	12
1926	3,62	13	15	3
1926	-4,25	16	10	2

1926	-12,84	7	12	12
1926	-13,24	6	14	10
1926	-14,57	25	3	3
1926	-4,75	13	12	5
1926	5,38	0	14	17
1926	5,97	0	15	16
1926	10,52	10	15	5
1926	7,52	0	25	6
1926	6,91	10	20	0
1926	8,31	10	8	13
1927	3,62	16	9	6
1927	-4,25	16	8	4
1927	-12,84	22	3	6
1927	-13,24	8	22	0
1927	-14,57	18	9	4
1927	-4,75	11	19	0
1927	5,38	31	0	0
1927	5,97	23	6	2
1927	10,52	0	23	7
1927	7,52	6	18	7
1927	6,91	13	0	17
1927	8,31	18	0	13
1928	3,62	7	20	4
1928	-4,25	6	13	10
1928	-12,84	15	3	13
1928	-13,24	11	11	8
1928	-14,57	20	2	9
1928	-4,75	0	23	7
1928	5,38	0	31	0
1928	5,97	15	16	0
1928	10,52	13	10	7
1928	7,52	11	15	5
1928	6,91	22	8	0
1928	8,31	14	17	0
1929	3,62	16	0	15
1929	-4,25	22	0	6
1929	-12,84	0	8	23
1929	-13,24	3	7	20
1929	-14,57	24	5	2
1929	-4,75	0	21	9
1929	5,38	6	14	11
1929	5,97	7	24	0
1929	10,52	17	13	0
1929	7,52	9	22	0
1929	6,91	22	8	0
1929	8,31	28	0	3

1930	25	18	13	0
1930	-8	14	2	12
1930	-10	13	16	2
1930	-37	24	0	6
1930	-22	14	8	9
1930	-14	6	3	21
1930	-3	8	16	7
1930	13	13	18	0
1930	-15	11	8	11
1930	-3	14	17	0
1930	42	15	15	0
1930	-13	31	0	0
1931	-7	18	6	7
1931	-32	25	0	3
1931	-18	0	15	16
1931	-22	18	0	12
1931	-26	10	14	7
1931	3	0	25	5
1931	8	20	11	0
1931	5,97	17	8	6
1931	10,52	0	20	10
1931	30	0	19	12
1931	-6	25	0	5
1931	8,31	6	14	11
1932	44	2	29	0
1932	14	3	0	26
1932	-18	7	10	14
1932	-10	9	13	8
1932	-20	17	13	1
1932	-6	15	10	5
1932	-3	12	0	19
1932	6	18	13	0
1932	27	5	25	0
1932	17	12	19	0
1932	7	9	10	11
1932	20	11	16	4
1933	-13	26	5	0
1933	-1	14	7	7
1933	-23	16	9	6
1933	3	10	8	12
1933	-20	13	10	8
1933	-29	19	0	11
1933	6	15	10	6
1933	23	0	25	6
1933	-14	13	0	17
1933	-13	14	17	0

1933	-10	23	7	0
1933	-14	9	0	22
1934	-1	15	15	1
1934	24	0	15	13
1934	-11	19	12	0
1934	-41	13	17	0
1934	-9	9	22	0
1934	2	0	16	14
1934	-8	20	5	6
1934	3	15	11	5
1934	-11	24	0	6
1934	32	6	25	0
1934	16	27	0	3
1934	-15	28	0	3
1935	-16	16	9	6
1935	13	15	13	0
1935	-7	4	17	10
1935	-9	19	7	4
1935	-22	10	0	21
1935	-8	2	17	11
1935	16	7	15	9
1935	5	16	3	12
1935	10	2	18	10
1935	29	14	15	2
1935	6,91	30	0	0
1935	8,31	31	0	0
1936	-4	15	16	0
1936	-20	15	0	14
1936	-34	20	8	3
1936	-13,24	22	0	8
1936	-14,57	31	0	0
1936	-13	18	2	10
1936	-1	20	7	4
1936	2	18	13	0
1936	3	0	15	15
1936	1	9	14	8
1936	8	15	11	4
1936	8,31	17	10	4
1937	-7	22	7	2
1937	-33	15	9	4
1937	-30	19	9	3
1937	-36	23	0	7
1937	-22	12	4	15
1937	-14	19	8	3
1937	-1	11	6	14
1937	-18	27	1	3

1937	10	16	11	3
1937	-9	17	5	9
1937	-5	22	5	8
1937	-35	28	3	0
1938	-10	14	17	0
1938	20	2	13	13
1938	29	0	25	6
1938	31	0	10	20
1938	-2	11	7	13
1938	15	3	13	14
1938	5	27	4	0
1938	-9	9	14	8
1938	1	22	8	0
1938	8	17	12	2
1938	30	5	25	0
1938	-28	31	0	0
1939	-23	14	13	4
1939	15	10	16	2
1939	-22	15	3	13
1939	-13	7	19	4
1939	-25	16	0	15
1939	-6	12	6	12
1939	1	17	7	7
1939	-15	28	3	0
1939	-25	4	13	13
1939	-37	3	12	16
1939	-18	8	15	7
1939	1	13	18	0
1940	0	23	4	4
1940	-43	16	12	1
1940	-12,84	3	13	15
1940	-23	8	15	7
1940	-39	21	0	10
1940	-13	4	0	26
1940	-6	15	0	16
1940	17	29	2	0
1940	31	15	7	8
1940	-3	14	5	12
1940	6,91	0	28	2
1940	8,31	0	8	23
1941	-22	4	3	24
1941	-4,25	19	9	0
1941	-24	8	9	14
1941	-33	12	4	14
1941	-28	8	7	16
1941	-14	6	5	19

1941	-13	27	4	0
1941	5,97	21	8	2
1941	14	8	0	22
1941	7,52	3	8	20
1941	6,91	20	4	6
1941	7	7	12	12
1942	-20	14	4	13
1942	-41	19	3	6
1942	-29	7	13	11
1942	-30	4	14	12
1942	-24	11	13	7
1942	-1	8	4	18
1942	11	0	12	19
1942	-1	16	11	4
1942	7	8	22	0
1942	29	8	12	11
1942	18	11	4	15
1942	24	14	17	0
1943	-13	19	0	12
1943	31	4	24	0
1943	13	14	13	4
1943	26	0	18	12
1943	5	8	7	16
1943	-4,75	9	9	12
1943	5,38	12	3	16
1943	18	0	21	10
1943	6	8	12	10
1943	17	10	10	11
1943	-3	20	4	6
1943	12	10	16	5
1944	41	0	25	6
1944	18	10	7	12
1944	-3	13	7	11
1944	-10	0	17	13
1944	2	4	8	19
1944	-1	11	5	14
1944	-5	3	0	28
1944	-5	9	14	8
1944	6	11	11	8
1944	-7	27	0	4
1944	-18	27	3	0
1944	-6	23	8	0
1944	3,62	23	8	0
1945	-13	25	3	0
1945	9	6	7	18
1945	9	0	15	15

1945	-2	5	9	17
1945	13	0	22	8
1945	2	11	12	8
1945	0	15	12	4
1945	1	8	0	22
1945	12	0	12	19
1945	-6	15	0	15
1945	-6	19	0	12
1946	8	15	9	7
1946	10	3	9	16
1946	-17	19	4	8
1946	11	6	14	10
1946	-17	3	4	24
1946	1	14	16	0
1946	4	5	5	21
1946	5,97	19	4	8
1946	9	13	16	1
1946	-4	7	4	20
1946	-9	18	6	6
1946	-23	25	0	6
1947	-41	21	0	10
1947	-54	21	4	3
1947	-32	8	19	4
1947	2	0	22	8
1947	-14,57	0	0	31
1947	-13	19	2	9
1947	-1	5	10	16
1947	-17	14	0	17
1947	-9	1	16	13
1947	24	0	10	21
1947	1	7	10	13
1947	-1	18	4	9
1948	-2	9	15	7
1948	-10	13	3	13
1948	-6	3	0	28
1948	-11	7	10	13
1948	-23	22	0	9
1948	-2	13	6	11
1948	2	0	15	16
1948	9	9	18	4
1948	20	12	17	1
1948	48	4	22	5
1948	32	0	25	5
1948	32	6	14	11
1949	38	0	23	8
1949	35	6	15	7

1949	1	19	8	4
1949	3	6	16	8
1949	-3	18	0	13
1949	2	12	5	13
1949	-3	7	8	16
1949	20	9	8	14
1949	-12	26	4	0
1949	22	4	27	0
1949	-14	25	5	0
1949	18	11	13	7
1950	-7	9	0	22
1950	-12	14	13	1
1950	4	10	13	8
1950	-4	25	1	4
1950	-13	10	7	14
1950	6	13	13	4
1950	8	5	10	16
1950	-15	13	5	13
1950	21	4	26	0
1950	20	21	4	6
1950	-11	23	7	0
1950	2	18	7	6
1951	-3	15	12	4
1951	-47	28	0	0
1951	-36	19	9	3
1951	-6	17	13	0
1951	-23	4	3	24
1951	-17	19	5	6
1951	13	4	13	14
1951	-9	27	3	1
1951	3	8	9	13
1951	-16	13	0	18
1951	-28	21	5	4
1951	54	3	28	0
1952	35	13	16	2
1952	10	23	0	6
1952	-15	13	2	16
1952	-16	17	6	7
1952	-20	9	4	18
1952	16	7	14	9
1952	16	2	9	20
1952	9	11	16	4
1952	24	14	10	6
1952	-8	16	5	10
1952	-10	27	3	0
1952	3	23	6	2

1953	-3	15	16	0
1953	-4	17	7	4
1953	3	0	19	12
1953	-7	17	6	7
1953	-17	14	2	15
1953	-17	23	0	7
1953	7	11	13	7
1953	26	19	9	3
1953	21	7	11	12
1953	9	18	7	6
1953	12	7	9	14
1953	13	16	12	3
1954	11	12	4	15
1954	-43	23	0	5
1954	-38	16	10	5
1954	-19	16	3	11
1954	-34	19	0	12
1954	-16	18	5	7
1954	9	19	12	0
1954	13	18	10	3
1954	30	0	25	5
1954	40	0	23	8
1954	19	12	13	5
1954	10	20	11	0
1955	25	7	24	0
1955	-1	23	1	4
1955	-11	16	3	12
1955	-10	22	5	3
1955	11	7	16	8
1955	1	2	14	14
1955	0	18	0	13
1955	-9	21	0	10
1955	10	19	5	6
1955	32	7	24	0
1955	25	9	3	18
1955	25	16	5	10
1956	33	15	11	5
1956	-24	23	0	6
1956	-19	17	7	7
1956	-19	18	5	7
1956	0	7	10	14
1956	-5	16	11	3
1956	3	0	7	24
1956	24	1	30	0
1956	12	6	10	14
1956	29	7	11	13

1956	7	9	6	15
1956	24	10	15	6
1957	15	14	12	5
1957	15	15	13	0
1957	-19	15	9	7
1957	-17	16	0	14
1957	-9	18	3	10
1957	5	7	9	14
1957	3	21	6	4
1957	11	20	0	11
1957	21	16	3	11
1957	44	0	23	8
1957	20	6	9	15
1957	38	2	17	12
1958	15	19	6	6
1958	12	12	14	2
1958	-15	25	0	6
1958	-32	20	0	10
1958	6	14	15	2
1958	-10	16	0	14
1958	11	14	6	11
1958	9	11	9	11
1958	-7	3	6	21
1958	10	17	0	14
1958	9	13	6	11
1958	1	17	6	8
1959	21	13	14	4
1959	12	0	16	12
1959	-6	13	18	0
1959	-15	19	5	6
1959	-22	17	0	14
1959	2	10	3	17
1959	2	21	5	5
1959	4	14	3	14
1959	19	0	15	15
1959	0	4	3	24
1959	-24	24	0	6
1959	-55	28	3	0
1960	-15	24	0	7
1960	-23	16	4	9
1960	-45	17	0	14
1960	-38	21	0	9
1960	-20	23	2	6
1960	1	4	14	12
1960	-2	26	5	0
1960	-3	20	6	5

1960	0	16	7	7
1960	-33	13	10	8
1960	-31	23	7	0
1960	1	16	15	0
1961	-12	18	2	11
1961	7	9	14	5
1961	34	0	31	0
1961	9	8	9	13
1961	-6	20	4	7
1961	12	15	15	0
1961	26	21	10	0
1961	36	9	19	3
1961	17	9	8	13
1961	-10	20	9	2
1961	11	13	11	6
1961	23	6	11	14
1962	34	3	20	8
1962	25	8	5	15
1962	-16	16	2	13
1962	-16	17	0	13
1962	-13	21	5	5
1962	11	0	21	9
1962	15	17	3	11
1962	25	10	19	2
1962	32	12	12	6
1962	22	9	13	9
1962	-8	25	4	1
1962	18	2	14	15
1963	-9	6	0	25
1963	-24	19	0	9
1963	-27	4	7	20
1963	-37	25	0	5
1963	-27	28	0	3
1963	-14	5	8	17
1963	8	16	5	10
1963	-9	23	8	0
1963	3	17	6	7
1963	34	7	19	5
1963	16	7	15	8
1963	19	9	8	14
1964	29	0	15	16
1964	11	19	1	9
1964	-36	21	2	8
1964	-31	13	7	10
1964	-3	14	6	11
1964	-5	17	11	2

1964	13	18	4	9
1964	10	9	7	15
1964	27	4	17	9
1964	8	16	4	11
1964	22	2	12	16
1964	24	12	14	5
1965	2	14	10	7
1965	2	4	2	22
1965	-15	16	4	11
1965	-27	22	0	8
1965	-22	5	4	22
1965	-12	16	10	4
1965	19	8	7	16
1965	14	16	5	10
1965	5	17	13	0
1965	13	4	9	18
1965	0	10	8	12
1965	2	16	11	4
1966	-32	20	3	8
1966	-31	14	7	7
1966	5	9	13	9
1966	-20	18	3	9
1966	-21	22	4	5
1966	-9	19	5	6
1966	11	20	11	0
1966	10	13	10	8
1966	36	7	11	12
1966	4	13	8	10
1966	-12	28	2	0
1966	-20	31	0	0
1967	3	15	8	8
1967	-11	14	3	11
1967	28	18	13	0
1967	10	25	0	5
1967	-10	21	2	8
1967	2	9	7	14
1967	10	23	1	7
1967	14	28	0	3
1967	-1	23	0	7
1967	40	9	19	3
1967	21	20	3	7
1967	31	5	8	18
1968	3	12	8	11
1968	8	18	3	8
1968	15	13	13	5
1968	8	13	3	14

1968	-10	13	6	12
1968	-11	27	0	3
1968	4	4	10	17
1968	-10	22	0	9
1968	-25	15	4	11
1968	11	4	15	12
1968	-12	19	1	10
1968	-6	16	0	15
1969	-34	28	3	0
1969	-30	23	5	0
1969	-42	19	8	4
1969	-18	20	3	7
1969	-23	12	9	10
1969	-15	12	5	13
1969	11	14	6	11
1969	-24	24	0	7
1969	7	15	5	10
1969	29	7	6	18
1969	48	15	13	2
1969	-5	21	0	10
1970	-30	22	0	9
1970	-20	13	10	5
1970	-25	21	10	0
1970	-5	15	13	2
1970	-14	19	3	9
1970	-12	18	0	12
1970	16	22	7	2
1970	2	16	7	8
1970	17	16	4	10
1970	10	18	6	7
1970	21	9	15	6
1970	17	17	5	9
1971	11	16	5	10
1971	-1	18	0	10
1971	-17	24	4	3
1971	-22	15	5	10
1971	-21	18	1	12
1971	-16	16	0	14
1971	10	22	0	9
1971	7	19	7	5
1971	6	14	9	7
1971	31	4	13	14
1971	42	12	14	4
1971	34	8	12	11
1972	-28	25	0	6
1972	-41	25	4	0

1972	-38	17	7	7
1972	-4	18	4	8
1972	-29	23	5	3
1972	-8	30	0	0
1972	-8	26	3	2
1972	-8	28	0	3
1972	-5	15	0	15
1972	5	21	3	7
1972	37	3	21	6
1972	41	15	9	7
1973	0	16	3	12
1973	15	16	9	3
1973	4	10	9	12
1973	7	21	6	3
1973	-10	22	3	6
1973	-5	19	2	9
1973	-8	16	7	8
1973	11	14	4	13
1973	4	14	7	9
1973	6	3	17	11
1973	36	3	16	11
1973	40	12	11	8
1974	4	21	7	3
1974	2	21	7	0
1974	-39	19	4	8
1974	-28	7	0	23
1974	-38	17	9	5
1974	-2	18	8	4
1974	25	26	5	0
1974	24	21	6	4
1974	6	21	6	3
1974	-5	26	2	3
1974	5	22	8	0
1974	43	21	8	2
1975	58	12	19	0
1975	19	9	2	17
1975	-13	13	10	8
1975	-13	17	5	8
1975	-16	23	0	8
1975	0	20	4	6
1975	-1	19	6	6
1975	2	18	2	11
1975	19	25	3	2
1975	11	19	5	7
1975	1	24	3	3
1975	48	5	15	11

1976	52	8	12	11
1976	-8	25	0	4
1976	-22	27	2	2
1976	-3	14	9	7
1976	-20	26	3	2
1976	1	10	4	16
1976	-4	22	0	9
1976	-2	17	0	14
1976	-11	20	2	8
1976	-50	26	0	5
1976	-21	23	4	3
1976	0	30	1	0
1977	-16	31	0	0
1977	-23	19	4	5
1977	-12	15	8	3
1977	-6	25	5	0
1977	-12	17	3	11
1977	-11	20	2	8
1977	6	25	2	4
1977	-16	19	3	9
1977	18	12	8	10
1977	10	11	13	7
1977	34	13	11	6
1977	-2	11	11	9
1978	11	18	9	4
1978	-35	22	0	6
1978	-13	20	6	5
1978	-24	17	3	10
1978	-43	27	0	4
1978	-11	13	3	14
1978	5	17	9	5
1978	-6	19	6	6
1978	29	15	12	3
1978	30	5	15	11
1978	52	4	24	2
1978	-16	10	9	12
1979	-31	25	4	2
1979	-15	17	6	5
1979	-20	20	11	0
1979	-31	23	0	7
1979	-10	20	11	0
1979	-7	14	7	9
1979	23	19	9	3
1979	8	22	9	0
1979	38	12	16	2
1979	9	12	5	14

1979	2	22	5	3
1979	20	18	7	6
1980	-12	19	4	8
1980	-24	23	0	6
1980	-43	26	2	3
1980	-19	26	0	4
1980	-21	13	0	18
1980	-12	29	0	1
1980	-6	13	11	7
1980	-4	14	10	7
1980	7	15	4	11
1980	12	21	8	2
1980	24	6	17	7
1980	45	4	20	7
1981	44	21	5	5
1981	24	23	3	2
1981	-13	17	11	3
1981	-10	17	0	13
1981	-24	31	0	0
1981	4	30	0	0
1981	9	31	0	0
1981	16	23	4	4
1981	-5	12	6	12
1981	18	22	9	0
1981	41	16	8	6
1981	28	19	12	0
1982	-1	6	15	10
1982	-5	14	5	9
1982	-6	18	6	7
1982	9	12	10	8
1982	7	20	2	9
1982	-7	8	12	10
1982	-6	21	1	9
1982	6	22	4	5
1982	27	13	13	4
1982	-16	16	8	7
1982	36	9	16	5
1982	44	8	14	9
1983	74	12	15	4
1983	26	5	1	22
1983	4	17	5	9
1983	-11	22	8	0
1983	-20	31	0	0
1983	1	11	7	12
1983	10	20	6	5
1983	14	14	6	11

1983	22	19	3	8
1983	66	5	22	4
1983	59	0	21	9
1983	41	9	18	4
1984	51	18	10	3
1984	-13	29	0	0
1984	-32	19	0	12
1984	-22	20	0	10
1984	-23	24	3	4
1984	-9	21	0	9
1984	21	17	8	6
1984	4	13	2	16
1984	9	23	7	0
1984	31	11	20	0
1984	-6	24	6	0
1984	-4	26	3	2
1985	-21	12	7	12
1985	-16	23	2	5
1985	-29	24	7	0
1985	-11	11	15	4
1985	-18	20	5	6
1985	-5	17	9	4
1985	7	14	12	5
1985	15	22	9	0
1985	34	11	6	13
1985	37	14	4	13
1985	19	22	4	4
1985	20	6	19	6
1986	8	15	13	3
1986	-30	18	0	10
1986	-25	23	7	1
1986	-24	19	4	7
1986	-12	23	8	0
1986	-5	21	0	9
1986	17	15	10	6
1986	7	16	12	3
1986	41	6	19	5
1986	35	5	26	0
1986	42	17	8	5
1986	28	11	12	8
1987	-11	7	9	15
1987	8	6	9	13
1987	-32	26	5	0
1987	-19	14	5	11
1987	-7	18	4	9
1987	-3	20	10	0

1987	14	12	13	6
1987	19	13	15	3
1987	32	6	19	5
1987	0	27	0	4
1987	-1	18	3	9
1987	27	2	12	17
1988	21	21	10	0
1988	-2	17	12	0
1988	0	25	6	0
1988	-1	9	16	5
1988	-19	21	4	6
1988	-5	17	3	10
1988	-5	31	0	0
1988	26	14	12	5
1988	29	9	21	0
1988	28	12	8	11
1988	28	0	13	17
1988	38	5	20	6
1989	66	3	27	1
1989	61	6	19	3
1989	29	19	6	6
1989	-12	28	0	2
1989	9	13	12	6
1989	-3	24	0	6
1989	10	13	0	18
1989	24	16	11	4
1989	12	17	6	7
1989	26	10	16	5
1989	16	14	2	14
1989	31	10	12	9
1990	38	13	12	6
1990	51	11	17	0
1990	77	3	22	6
1990	18	16	10	4
1990	3	6	7	18
1990	-3	16	3	11
1990	14	19	3	9
1990	12	22	7	2
1990	-2	10	12	8
1990	14	15	8	8
1990	5	11	5	14
1990	10	16	14	1
1991	30	0	15	16
1991	-23	15	7	6
1991	-24	20	7	4
1991	-15	15	3	12

1991	-8	11	4	16
1991	8	15	11	4
1991	17	11	6	14
1991	19	18	12	1
1991	27	7	13	10
1991	16	16	9	6
1991	23	15	14	1
1991	41	0	13	18
1992	60	0	11	20
1992	27	0	22	7
1992	18	23	8	0
1992	-1	13	14	3
1992	3	13	10	8
1992	-17	10	14	6
1992	5	19	8	4
1992	24	17	7	7
1992	14	20	3	7
1992	-9	0	18	13
1992	14	16	8	6
1992	31	11	10	10
1993	52	6	21	4
1993	41	6	14	8
1993	12	11	14	6
1993	-18	14	6	10
1993	-23	17	3	11
1993	9	6	6	18
1993	22	15	14	2
1993	22	11	10	10
1993	-11	12	7	11
1993	-12	9	13	9
1993	-36	28	2	0
1993	-2	12	19	0
1994	13	9	22	0
1994	-13	13	0	15
1994	2	9	22	0
1994	-5	22	5	3
1994	-20	7	14	10
1994	24	3	19	8
1994	3	25	0	6
1994	-12	19	1	11
1994	1	20	10	0
1994	27	12	13	6
1994	15	9	15	6
1994	33	15	9	7
1995	26	10	15	6
1995	49	4	24	0

1995	20	14	12	5
1995	19	12	11	7
1995	-6	19	7	5
1995	-2	16	5	9
1995	11	9	13	9
1995	3	5	8	18
1995	-16	15	7	8
1995	29	4	21	6
1995	22	0	12	18
1995	-11	12	5	14
1996	-31	19	0	12
1996	-39	17	3	9
1996	-42	23	0	8
1996	-28	13	8	9
1996	-17	19	7	5
1996	6	7	7	16
1996	19	13	9	9
1996	-14	25	4	2
1996	-31	6	2	22
1996	-3	9	18	4
1996	26	19	11	0
1996	10	6	9	16
1997	10	0	10	21
1997	29	4	19	5
1997	27	3	14	14
1997	22	0	13	17
1997	-2	8	8	15
1997	-10	23	7	0
1997	-17	14	8	9
1997	-17	21	3	7
1997	28	8	12	10
1997	34	1	23	7
1997	-8	17	9	4
1997	-16	7	15	9
1998	10	6	16	9
1998	31	0	20	8
1998	22	18	8	5
1998	-33	16	11	3
1998	-8	9	9	13
1998	0	16	10	4
1998	28	17	8	6
1998	30	5	14	12
1998	6	17	3	10
1998	12	2	23	6
1998	18	13	8	9
1998	21	8	13	10

1999	17	14	12	5
1999	20	6	15	7
1999	-10	16	15	0
1999	0	14	9	7
1999	-10	13	7	11
1999	-6	24	6	0
1999	11	10	10	11
1999	1	13	14	4
1999	-11	20	10	0
1999	17	10	12	9
1999	13	18	7	5
1999	50	6	23	2
2000	40	3	20	8
2000	47	0	22	7
2000	36	0	19	12
2000	-13	16	10	4
2000	-11	10	12	9
2000	17	12	5	13
2000	14	21	10	0
2000	19	6	19	6
2000	-8	16	3	11
2000	-18	21	10	0
2000	-14	23	7	0
2000	12	3	20	8

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Архив помесячного преобладания форм циркуляции (1900 – 2020 гг.)

Год	Е	W	С
1900	6	1	6
1901	6	1	5
1902	5	1	6
1903	4	8	0
1904	2	6	4
1905	2	7	3
1906	4	7	1
1907	4	7	1
1908	5	4	3
1909	6	3	3
1910	7	4	1
1911	3	5	4
1912	5	3	4
1913	4	6	2
1914	3	7	2
1915	5	5	2
1916	4	6	2
1917	1	7	4
1918	5	5	2
1919	6	3	3
1920	7	5	0
1921	4	5	3
1922	4	5	3
1923	3	7	2
1924	5	6	1
1925	5	6	1
1926	3	6	3
1927	7	4	1

1928	5	7	0
1929	6	4	2
1930	5	5	2
1931	6	5	1
1932	2	5	4
1933	7	2	3
1934	6	6	0
1935	6	5	1
1936	9	3	0
1937	10	0	2
1938	4	5	3
1939	5	4	3
1940	6	3	3
1941	4	1	7
1942	3	6	3
1943	3	5	4
1944	5	3	4
1945	5	2	5
1946	5	3	4
1947	4	3	5
1948	2	6	4
1949	4	5	3
1950	5	3	4
1951	7	1	4
1952	6	3	3
1953	6	3	3
1954	8	3	1
1955	7	4	1
1956	5	2	5
1957	8	2	2
1958	8	2	2

1959	6	4	2
1960	11	1	0
1961	5	4	3
1962	5	5	2
1963	6	2	4
1964	7	2	3
1965	7	0	5
1966	10	1	1
1967	9	1	2
1968	8	2	2
1969	10	0	2
1970	11	1	0
1971	9	2	1
1972	10	1	1
1973	9	2	1
1974	9	1	2
1975	10	2	0
1976	11	0	1
1977	10	2	0
1978	8	2	2
1979	10	1	1
1980	9	2	1
1981	10	1	1
1982	6	5	1
1983	8	3	1
1984	10	1	1
1985	9	2	1
1986	7	3	2
1987	8	3	1
1988	6	5	1
1989	7	3	2

1990	7	2	3
1991	6	2	4
1992	7	5	0
1993	6	4	2
1994	5	7	0
1995	7	2	3
1996	6	2	4
1997	4	5	3
1998	7	4	1
1999	6	5	1
2000	5	5	2
2001	7	4	1
2002	7	3	2
2003	5	4	3
2004	6	5	1
2005	5	5	2
2006	6	6	0
2007	4	6	2
2008	5	7	0
2009	8	3	1
2010	7	4	1
2011	8	4	0
2012	3	6	3
2013	8	2	2
2014	7	2	3
2015	5	6	1
2016	6	4	2
2017	2	6	4
2018	5	4	3
2019	6	5	1