



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра ОКЕАНОЛОГИИ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(бакалаврская работа)

На тему: Сверхдолгосрочное прогнозирование гидрометеорологических  
характеристик статистическими методами

Исполнитель Дановский Михаил Михайлович

Руководитель кандидат географических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Густоев Дмитрий Владимирович  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Густоев Дмитрий Владимирович  
(фамилия, имя, отчество)

26» июня 2023 г.

г. Санкт-Петербург  
2023 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра Океанологии**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

(бакалаврская работа)

**«Сверхдолгосрочное прогнозирование гидрометеорологических  
характеристик статистическими методами»**

**Исполнитель:** Дановский Михаил Михайлович

**Научный руководитель:** Кандидат географических наук

Густоев Дмитрий Владимирович

**«К защите допускаю»**

**Заведующий кафедрой** \_\_\_\_\_

(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Санкт-Петербург  
2023 г.

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 3  |
| Глава 1. Понятие прогнозирования.....                                | 5  |
| 1.1 Особенности долгосрочного прогнозирования.....                   | 5  |
| 1.2 Факторы, влияющие на долгосрочное прогнозирование.....           | 6  |
| Глава 2. Методы прогнозирования, используемые на практике.....       | 10 |
| 2.1 Классификация методов морских прогнозов.....                     | 10 |
| 2.2 Этапы прогнозирования статистическими методами.....              | 12 |
| 2.3 Задачи предпрогнозного анализа.....                              | 14 |
| 2.4 Последовательность предпрогнозного анализа ряда и его этапы..... | 15 |
| 2.5 Анализ функции спектральной плотности (СПФ).....                 | 18 |
| 2.6 Критерии качества прогнозов.....                                 | 19 |
| 2.7 Оценка эффективности метода.....                                 | 20 |
| Глава 3. Методическое прогнозирование.....                           | 22 |
| 3.1 Краткая характеристика используемых методов прогнозирования..... | 22 |
| 3.2 Расчетная часть исследуемых характеристик.....                   | 23 |
| Заключение.....  | 40 |
| Список литературы.....   | 41 |

## **Введение.**

За последние десятилетия влияние различных гидрометеорологических явлений погоды на развитие экономики достигло значительных масштабов и вносит заметную неустойчивость в функционирование отдельных региональных отраслей и экономической системы в целом, нарушая нормальное, динамичное развитие и представляет собой некоторую угрозу безопасности жизнедеятельности общества. Даже небольшие отклонения от ожидаемых условий погоды могут значительно повлиять на результаты деятельности отраслей экономики. Экономические последствия от изменчивости погодных условий значительно превышают и без того огромные суммы убытков, возникающих каждый год по причине стихийных бедствий. Наряду с климатической информацией гидрометеорологические прогнозы находят все более широкий спектр потребителей.

Исследования социально-экономической эффективности гидрометеорологического прогнозирования уже более 40 лет находятся среди наиболее актуальных проблемных вопросов деятельности национальных гидрометеорологических служб. Показатели экономического эффекта специализированного гидрометеорологического обеспечения (СГМО) в ведущих отраслях экономики таких как транспорт, теплоэнергетика, сельское и лесное хозяйство, обрабатывающие производства отражают основные показатели экономического эффекта СГМО в большинстве отраслей. Рассчитанный экономический эффект в перечисленных отраслях составляет приблизительно 82–86% всего экономического эффекта от специализированного гидрометеорологического обеспечения. В настоящее время имеются реальные возможности заблаговременно прогнозировать наступление опасных явлений погоды и предотвратить или уменьшить их пагубное влияние. Научная основа оценки экономической эффективности метеорологической информации продолжает развиваться, базируясь, главным образом, на положениях теории вероятностей и математической статистики. Некоторые задачи решаются на

основании математико-экономического моделирования, теории оценивания, сетевого планирования и ряда других разделов математики. Современный потребитель заинтересован в качественной информации об ожидаемой погоде. Поступающая к потребителю метеорологическая информация должна быть грамотно использована, что позволит получить максимальный эффект: наибольшую выгоду или наименьшие потери. Внедрение эффективных методов использования метеорологической информации и, прежде всего, прогнозов погоды позволяет значительно снизить издержки в экономике страны за счет влияния погодных условий. Одним из факторов, который может если не предотвратить, то, по крайней мере, снизить масштабы ущерба для экономики является заблаговременный прогноз различных природных явлений, представляющих опасность для некоторых отраслей экономики, сельского и лесного хозяйства и некоторых других. Таким образом, цель моей работы – оценить возможность использования статистико-временного прогнозирования для гидрометеорологических и биолого-промысловых характеристик.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- 1) убедиться в том, что числовые ряды имеют структуру;
- 2) выполнить методическое прогнозирование;
- 3) оценить эффективность методического прогнозирования.

## **Глава 1. Понятие прогнозирования.**

### **1.1 Особенности долгосрочного прогнозирования.**

Прогнозирование - это попытки предвидеть, как будут развиваться процессы в живой природе. Попытки предсказания погоды сопровождали человечество на протяжении всей его истории (истоки зарождения их - в народных приметах погоды). Однако, настоящий прогресс в деле прогноза погоды начался лишь тогда, когда средствами и методами синоптической метеорологии были открыты и изучены главные объекты циркуляции атмосферы: барические образования, воздушные массы, атмосферные фронты, струйные течения и т.п.

Первый период роста качества прогнозов отмечался в 1948-1955 гг. и был связан с развитием сети радиозондирования, данные которой позволили проводить трехмерный анализ атмосферы. Именно тогда были открыты и изучены такие фундаментальные синоптические объекты, как высотная фронтальная зона, струйные течения, стратосферная циркуляция.

Второй, уже менее бурный, рост оправдываемости прогнозов начался в середине 1960-х и продолжался до середины 1970-х годов, когда метеорологи освоили ЭВМ. Появилась возможность обрабатывать и усваивать большие объемы информации, и, главное - в практику прогнозов погоды были внедрены гидродинамические модели атмосферы.

Наконец, третий период начался с конца 70-х годов и продолжается до сих пор. Этот рост связан с использованием спутниковой информации и усвоением глобальных данных при составлении прогнозов погоды. Итак, налицо рост оправдываемости краткосрочных прогнозов погоды при внедрении технологических новшеств в метеорологическую науку и практику составления прогнозов. Примерно за 65 лет количество верных прогнозов выросло с 60 до 92%. Это заметный успех.

Если мы попробуем рассмотреть временной ход успешности долгосрочных прогнозов погоды на месяц или сезон, картина получится не такая

впечатляющая. Фактически оправдываемость данного вида прогнозов за последние полстолетия оставалась на уровне 60-65%. Так почему ни одно из вышеперечисленных достижений метеорологии не сказалось положительно на эффективности долгосрочных прогнозов? Нам нужно попытаться понять, в чем заключаются принципиальные различия физики долговременных колебаний атмосферной циркуляции и погоды (месяц, сезон и более) от краткосрочных, которые обычно ограничиваются несколькими сутками. Изменение температуры с течением времени, которое вычисляется при прогнозе погоды, зависит от трех факторов: адвекции температуры, вертикального теплообмена и притока тепла к атмосфере извне. Первые два фактора называются адиабатическими, т.е. связанными только с внутренним состоянием атмосферы, с начальным распределением метеорологических величин. Последний фактор - неадиабатический и учитывает приток тепла к атмосфере на верхней (космос) и нижней (поверхность земли) ее границах. Численные эксперименты по расчету вклада адиабатической и неадиабатической составляющих уравнения в формирование будущей температуры воздуха показали, что при малой заблаговременности прогноза (примерно, до 5 суток) ее значения на 80-100% определяются адиабатическими факторами; иными словами, для расчета таких прогнозов достаточно знать начальное состояние атмосферы.

## **1.2 Факторы, влияющие на долгосрочное прогнозирование.**

При средней заблаговременности прогнозов (10-15 суток) влияние начального состояния атмосферы и притоков тепла примерно одинаково – по 50%. Прогнозы температуры на месяц уже практически не зависят от начальных условий в атмосфере (их вклад не более 10-15%), а вот притоки тепла извне определяют будущую температуру на 85-90%. Следовательно, первое фундаментальное свойство длительных изменений атмосферной циркуляции и погоды заключается в том, что они совершаются под влиянием внешних по отношению к атмосфере источников и стоков тепла. Неадиабатическими факторами колебаний погоды могут быть не только внешние источники тепла,

но и другие виды энергии, которые способны изменить термодинамику атмосферы. Например, вулканические извержения, поставляющие в верхнюю атмосферу большое количество долгоживущего аэрозоля, могут уменьшить приток солнечного тепла к земной поверхности, а следовательно, и к атмосфере в целом. Назовем теперь все мыслимые внешние энергетические воздействия на атмосферу.

#### КОСМОС:

- колебания солнечной постоянной и энергии корпускулярного излучения при изменениях солнечной активности;
- поглощение атмосферой изменяющейся энергии галактических космических лучей;
- гравитационные воздействия на атмосферу со стороны небесных тел;
- изменения параметров вращения Земли.

#### ЗЕМЛЯ:

- аномалии температуры поверхности океана;
- аномалии температуры поверхности почвы;
- положение границы морских льдов;
- время установления и схода снежного покрова, а также положение его южной границы;
- вулканические извержения.

Все перечисленные факторы могут усиливать или уменьшать приток энергии к атмосфере по сравнению с климатической нормой либо аномально перераспределять его в пространстве. Учет этих факторов в долгосрочных прогнозах погоды - необычайно сложная, комплексная задача, и ее грамотное решение, по существу, только начинается. Поэтому рассчитывать на быстрый прогресс в деле долгосрочного прогноза пока не приходится. Для реального повышения качества долгосрочных прогнозов необходимо создание новых моделей атмосферы, в которых неадиабатические факторы будут учтены в полной мере.

Другая физическая особенность долгосрочных прогнозов связана с понятием предсказуемости атмосферных процессов. Установлено, что современные гидродинамические схемы прогноза погоды (а это наиболее совершенные на сегодняшний день физические модели атмосферы) способны более или менее правильно предсказать поведение индивидуальных синоптических объектов: циклонов, антициклонов, фронтов, областей тепла и холода, наблюдаемых на ежедневных картах, на сроки не более 5-7 суток. Далее ошибка прогнозов становится выше климатической изменчивости, т.е. они оказываются бесполезными.

Указанные выше временные границы называются пределом модельной предсказуемости погоды. По мере совершенствования наших прогностических моделей этот предел будет возрастать, но он никогда не превысит срока примерно в две недели. Этот предел предсказуемости индивидуальных синоптических объектов называется абсолютным. Превысить его невозможно потому, что атмосфера, как мы показали выше, к этому времени во многом «забывает» свое начальное состояние, которое как раз и является основой для расчета будущих изменений в атмосфере. Таким образом, объектами долгосрочного прогнозирования на месяц, сезон и более не могут быть процессы, наблюдаемые на срочных синоптических картах. Динамико-стохастический подход к анализу движений атмосферы показывает, что весь их спектр можно разложить на высокочастотные и низкочастотные. Последние обладают «сроком жизни» примерно до одного-двух месяцев и проявляются в поле давления в виде ультрадлинных волн в западно-восточном переносе. Фаза ультрадлинных волн (географическое положение) медленно изменяется с периодами от нескольких недель до нескольких месяцев, создавая перемещающиеся в пространстве очаги аномалий погоды, существующие столь же долго. Анализ именно этих объектов циркуляции может привести к существенному повышению предела предсказуемости состояния атмосферы. Результаты исследований по предсказуемости длительных атмосферных процессов позволяют сделать существенный вывод для методики долгосрочных прогнозов погоды; при

прогнозах на месяц и сезон вряд ли удастся предвидеть погоду на каждые сутки прогностического периода (она как раз зависит от индивидуальных синоптических объектов, непредсказуемых на данные сроки); следует прогнозировать осредненные метеорологические характеристики (за декаду, месяц или сезон) в соответствии с временными масштабами существования ультрадлинных волн. Третья физическая особенность долгосрочных прогнозов погоды не требует особых доказательств и заключается в том, что любые длительные аномалии погоды являются следствием возникновения аномальных режимов циркуляции атмосферы. Поэтому залогом успешного долгосрочного прогноза засух, периодов избыточного увлажнения, сильных морозов или оттепелей является прежде всего правильный прогноз барического поля атмосферы, степени зональности или меридиональности циркуляции, периодов и фаз длинных волн в западно-восточном переносе. Поэтому анализ общей циркуляции атмосферы есть необходимая составляющая долгосрочного прогноза погоды.

## **Глава 2. Методы прогнозирования, используемые на практике.**

### **2.1 Классификация методов морских прогнозов.**

За сто лет поиска путей долгосрочного прогнозирования погоды предложено большое количество принципиальных подходов к решению этой проблемы, созданы десятки разнообразных методов прогноза, часть из которых используется на практике и сейчас. Подавляющее большинство разработанных до настоящего времени методов можно разделить на четыре больших класса в соответствии с заложенными в них физическими принципами и математическими основами. Каждый из классов отражает развитие нескольких научных направлений в долгосрочном прогнозировании.

1. Синоптические методы. Основаны на использовании закономерностей преобразования и последовательной смены крупномасштабных особенностей циркуляции атмосферы. В подавляющем большинстве синоптических методов используется принцип аналогичности будущего развития атмосферных процессов при достаточном сходстве их развития в прошлом. Сейчас это основные оперативные методы долгосрочных прогнозов.

2. Физико-статистические методы. Основаны на использовании статистических связей между будущими аномалиями погоды (предиктанты) и физически обоснованными влияющими факторами (предикторы). Предикторы определяются либо качественными соображениями о влиянии того или иного фактора на циркуляцию атмосферы, либо берутся из гидродинамических уравнений, описывающих физику формирования прогнозируемой метеорологической величины. В оперативной работе являются вспомогательными.

3. Статистические методы. Основаны на использовании закономерностей временной динамики гидрометеорологических рядов и полей, чаще всего, их циклических и квазипериодических составляющих. Физические причины возникновения циклов и периодов, как правило, не рассматриваются; применяется математический аппарат формальной экстраполяции. Таким

образом, гидрометеорологическая величина (поле) прогнозируется, исходя из поведения ее же значений в прошлом. В оперативной работе применяются как вспомогательные.

4. Гидродинамические методы. Основаны на решении системы гидродинамических уравнений атмосферы с изменяющимися во времени граничными условиями (влияние внешних факторов). В идеале эти методы должны быть наилучшим инструментом для прогнозов погоды, так как позволяют использовать наиболее полную по современным представлениям физическую модель атмосферы. Однако интегрирование системы уравнений на долгие сроки с учетом внешних воздействий, которые сами по себе также изменяются во времени, настолько сложная задача, что попытки ее решения пока не выходят за рамки численных экспериментов.

Гидродинамические методы прогнозов основаны на решении уравнений гидротермодинамики. Средством прогнозирования при аналитическом подходе являются уравнения, представляющие собой упрощенные аналитические решения исходных систем уравнений, но наиболее часто для прогнозирования применяются численные решения систем дифференциальных уравнений, реализованные в виде конечно-разностных схем.

В основе статистических методов лежат эмпирические прогностические уравнения, которые для статистико-вероятностного подхода характеризуют причинно-следственные связи, выявляемые в процессе статистического анализа временного ряда единственного прогнозируемого параметра. Физико-статистическая методология предполагает построение статистического прогностического уравнения на основе эмпирического описания изменчивости прогнозируемого параметра в будущем как результат совокупного влияния нескольких физически обоснованных факторов в прошлом.

## 2.2 Этапы прогнозирования статистическими методами.

1 этап. Предпрогнозный анализ.

Прогнозируемый ряд разбивается на элементарные компоненты: трендовую, периодическую и случайную.

Методика анализа: Визуальный, первичный, корреляционный, спектральный анализ, фильтрация временного ряда.

Результат: Компонентная модель прогнозируемого ряда. Оценки значений компонентов, их статистическое описание.

2 этап. Прогнозирование компонентов.

Формируются прогностические уравнения трендового, периодического и случайного компонентов. Оценивается значимость коэффициентов и адекватность уравнений.

Методика анализа: Анализ тренда, Фурье-анализ, авторегрессионный анализ.

Результат: Оценки коэффициентов тренда, Фурье, авторегрессии. Оценки качества описания компонентов полученными уравнениями.

3 Этап. Составление итогового прогноза.

Объединение прогнозируемых значений компонентов. Методическое прогнозирование, проверка качества прогнозов. Выбор оптимального прогностического уравнения

Методика анализа: Первичный и корреляционный анализы рядов ошибок прогнозирования.

Результат: Методические и независимые прогнозы ряда  $X_{пр}$  с доверительными интервалами. Оценки критериев точности, эффективности, практического применения.

Прогнозируемые значения океанологического временного ряда представляются комбинацией значений трех основных компонент – трендовой, периодической и случайной:

$$\text{то есть: } X_{пр}(t) = T_p(t) + П(t) + C(t)$$

Под детерминированной составляющей временного ряда  $X$  понимают числовую последовательность, элементы которой вычисляются по определенному правилу как функция времени  $X(t)$ . В свою очередь, детерминированная составляющая может содержать трендовую и периодическую структурные компоненты. Исключив ее из данных, мы получим ряд, который представляет собой нерегулярные, хаотические колебания и называется случайной составляющей. Такое представление прогнозируемого ряда называется прогностической.

Трендовая компонента  $Tr(t)$  представляет собой плавное устойчивое систематическое медленное изменение процесса во времени, обусловленное действием долговременных факторов. В качестве наглядного примера влияния таких факторов в гидрометеорологии можно назвать потепление климата, которое обуславливает рост температуры воды, таяние льдов, подъем уровня океана.

Периодическая компонента  $P(t)$ , описывающая периоды относительного подъема и спада значений прогнозируемого ряда, состоит из многократно повторяющихся устойчивых периодических колебаний постоянной амплитуды, фазы и периода [Малинин, разд. 9.5] (Рисунок 0.5). Периодические изменения  $P(t)$  принято чаще всего считать результатом воздействия астрономических и космофизических факторов (как правило, обусловленных строго детерминированными периодическими силами – гравитационными, радиационными, тепловыми, геомагнитными, возникающими под действием вращения Земли, планет и Солнца). Подобные колебания прослеживаются в прогнозируемых рядах уровня, течений, температуры, ледовитости. Например, ряд ежечасных значений уровня моря, может прогнозироваться как детерминированная периодическая компонента, состоящая из двух гармонических колебаний с периодами 12 и 24 ч, и объясняться влиянием приливообразующих сил Луны.

Случайная компонента  $C(t)$  ряда отражает совокупное воздействие факторов случайного характера – прежде всего турбулентности различных

масштабов. Она проявляется в присутствии нерегулярных, хаотических вариаций прогнозируемого ряда и может иметь разнообразную структуру: от несвязных колебаний в виде белого шума до весьма сложных инерционных и циклических колебаний [Малинин разд. 9.5, Рисунок 9.7]. Временной ряд, в котором преобладают хаотические колебания, которые следует отнести к случайной компоненте. Статистическое описание такой изменчивости возможно на основе расчета и анализа автокорреляционной функции (АКФ), а прогнозирование – с помощью уравнений авторегрессии.

АКФ – автокорреляционная функция, расчет и анализ которой позволяет провести статистическое описание хаотических колебаний, относящихся к случайной компоненте.

### **2.3 Задачи предпрогнозного анализа.**

Для успешного прогнозирования надо описать прогнозируемый ряд в виде набора элементарных составных частей – компонент (трендовой, периодической и случайной), которые представляют собой типовые, хорошо прогнозируемые временные ряды. В результате предпрогнозного анализа необходимо сделать вывод о том, какие именно компоненты присутствуют в ряду, как они влияют на его изменчивость и предсказуемость и понять, какие компоненты необходимо экстраполировать, чтобы получить необходимую заблаговременность и точность прогнозов.

Задачи предпрогнозного анализа:

- оценить статистическую предсказуемость ряда в целом;
- выявить основные структурные компоненты в изменчивости временного ряда;
- оценить относительные вклады компонент, интерпретировать компоненты, оценить необходимость их прогноза;
- сформулировать прогностическую модель ряда.

Решить эти задачи можно, последовательно применяя несколько методов статистического анализа:

- визуальный (графический) анализ;
- первичный статистический анализ;
- корреляционный и спектральный анализы;
- анализ результатов полосовой фильтрации.

В методическом ключе предпрогнозный анализ – это набор традиционных статистических методов анализа временных рядов, только немного адаптированных для решения конкретных прогностических задач.

## **2.4 Последовательность предпрогнозного анализа ряда и его этапы.**

### 1) Общий анализ прогнозируемого ряда:

Визуальный графический анализ, расчёт первичных статистик, функции распределения.

### 2) Выявление структурных компонент:

Построение АКФ и СПФ, оценка статистической предсказуемости, определение набора структурных компонент.

### 3) Выделение структурных компонент:

Полосовая фильтрация, оценка вклада дисперсии каждой структурной компоненты в дисперсию исходного ряда.

### 4) Сравнительный анализ и интерпретация компонент:

Определение типа каждой структурной компоненты и выбор математической интерпретации изменчивости для каждой компоненты.

### 5) Формулировка компонентной модели:

Определение процесса взаимодействия компонент друг с другом (аддитивный или мультипликативный).

Теперь рассмотрим подробнее все этапы анализа прогнозируемого ряда.

### Общий анализ прогнозируемого ряда

Первый шаг на пути получения прогностической модели прогнозируемого ряда – его визуальный анализ. При этом необходимо выявить самые общие характерные элементы изменчивости ряда, которые позволяют судить о его

статистической структуре и наличии компонент: трендовой, периодической, случайной. Далее подтверждаем первое впечатление от визуальных оценок с помощью первичных статистик.

Первичные статистики и эмпирическая гистограмма позволяют оценить характер распределения значений в исходном ряду по диапазонам изменчивости, увидеть количество экстремальных значений (выбросов) и сделать предварительные выводы об успешности предсказания ряда.

Интерпретация первичных статистик прогнозируемого ряда.

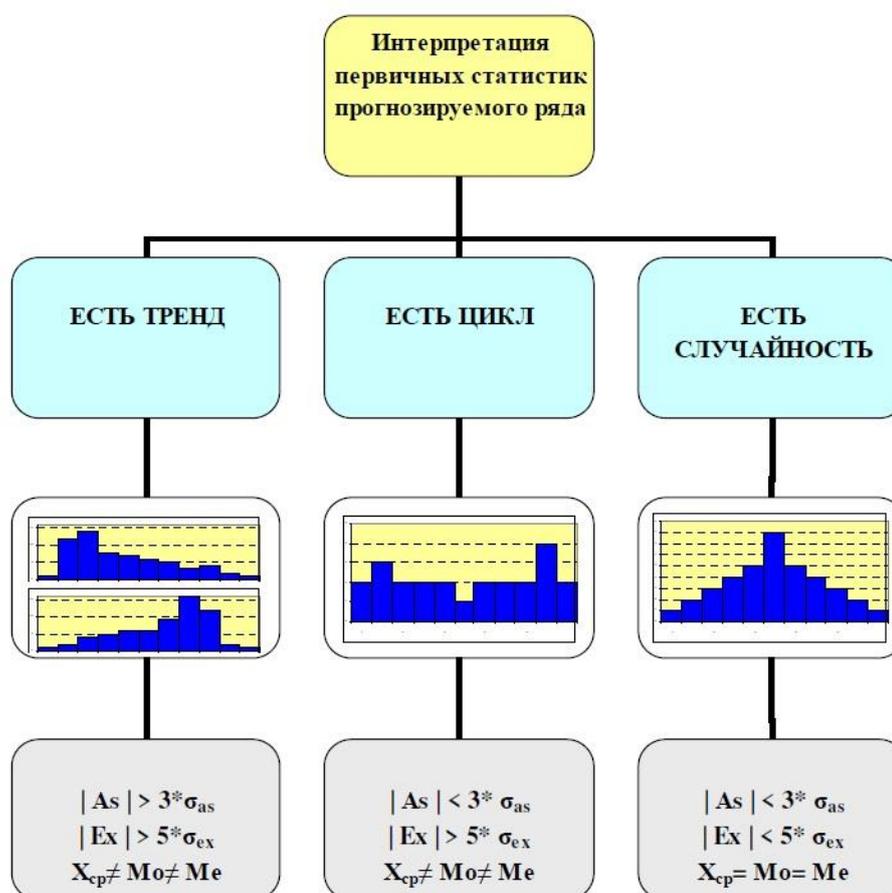


Рис. 2.1. Корреляционно-спектральный анализ прогнозируемого ряда.

Предварительная оценка статистической предсказуемости прогнозируемого ряда в целом делается на основе результатов его корреляционно-спектрального анализа – вычисленных значений и интерпретации графиков автокорреляционной функции (АКФ) и функции спектральной плотности (СПФ).

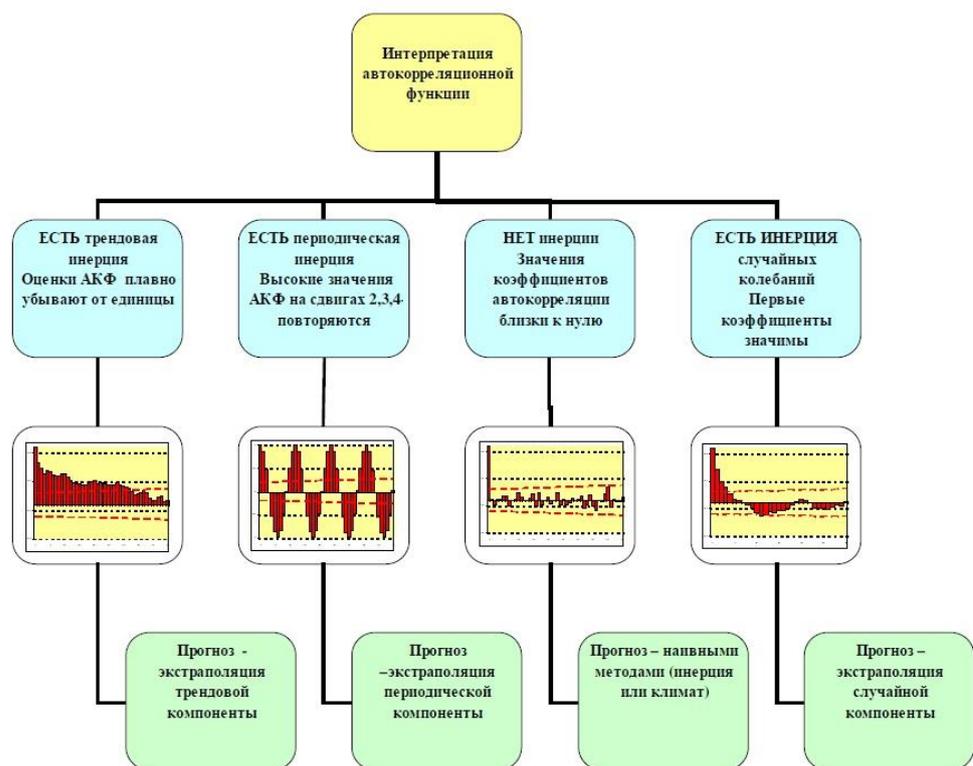


Рис. 2.2. Прогностическая интерпретация типовых АКФ прогнозируемого ряда.

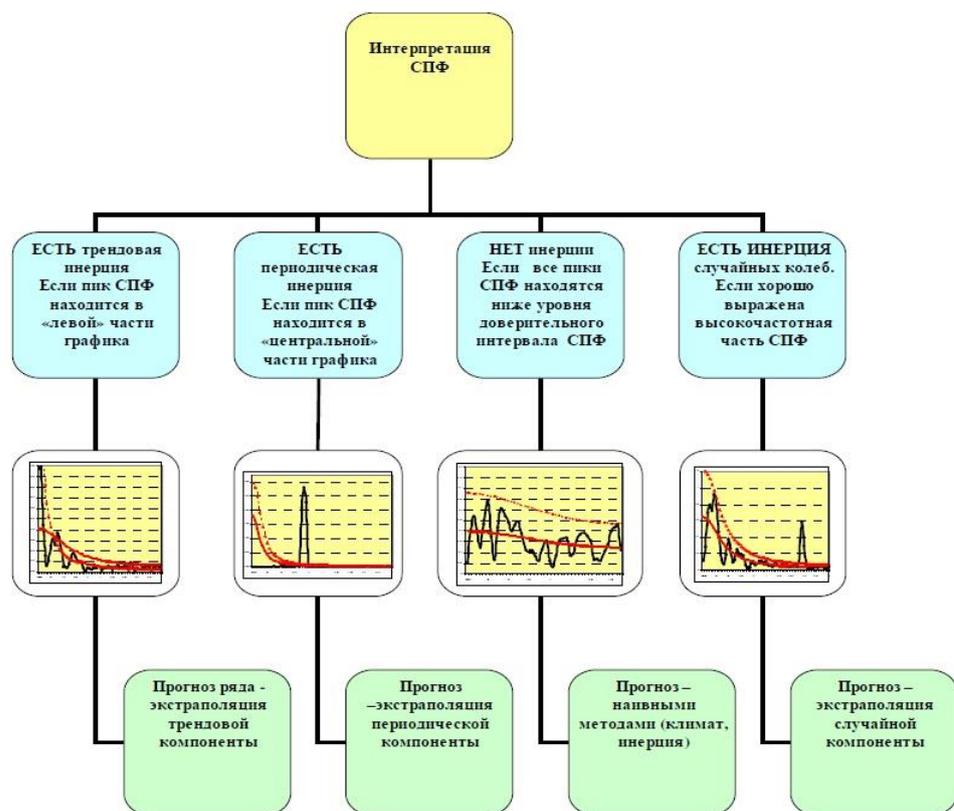


Рис. 2.3. Прогностическая интерпретация типовых графиков СПФ прогнозируемого ряда.

## 2.5 Анализ функции спектральной плотности (СПФ).

Анализ СПФ прогнозируемого ряда основан на тех же принципах и позволяет детализировать структуру прогнозируемых колебаний, оценить их систематичность или случайность, а также их относительные вклады в общую изменчивость ряда. Анализ графиков СПФ способствует пониманию физических причин, лежащих в основе изменчивости прогнозируемого ряда, указывая периоды доминирующих колебаний. Статистически значимые максимумы и минимумы СПФ принципиально важны для формирования обоснованного прогноза. Например, если в спектре среднесуточных значений температуры поверхности воды имеется четкий глубокий минимум, соответствующий четырехдневному периоду, то можно заключить, что повторение колебаний температуры с периодами от 3 до 5 дней в будущем практически невозможно. Тогда как статистически значимый пик СПФ, соответствующий периоду 6–9 дней, будет говорить о частом повторении в будущем значительных аномалий температуры именно с этим периодом. Поэтому следует объяснить природу возникновения и найти метод предсказания именно таких периодических колебаний. Оценка предсказуемости исследуемого ряда базируется на прогностической интерпретации свойств типовых АКФ и СПФ, а также на их качественном и количественном сравнении с АКФ и СПФ случайных процессов типа красного и белого шума.

Прогнозируемый ряд часто формируется сразу несколькими компонентами. Поэтому вид реальных АКФ и СПФ может существенно отличаться от типовых графиков. В таком случае необходимо провести выделение каждой компоненты и ее оценку с помощью методов полосовой фильтрации. В итоге проведенного анализа формируется общее представление о характере изменчивости прогнозируемого ряда и о его предсказуемости.

Выделяем структурные компоненты по характерному масштабу изменчивости, методом полосовой фильтрации прогнозируемого ряда. А

структуру колебаний каждой компоненты оцениваем на основе корреляционно-спектрального анализа внутри выделенных частотных полос.

Нередко указанные граничные частоты на графике СПФ прогнозируемого ряда приходятся на ее статистически значимые максимумы, а значит, соответствуют частотам статистически значимых колебаний. В этом случае границы фильтрации частотных полос следует сместить в зону ближайшего минимума СПФ и провести фильтрацию по частотам с минимальными, статистически незначимыми (по критерию БШ) значениями спектра.

Важно понимать, что сформулированные прогностические модели – это не окончательное и не единственно возможное описание ряда в целом и отдельных его компонент. В итоге проделанной работы по предпрогнозному анализу у нас есть только первичное представление о присутствии в прогнозируемом ряду известных статистических компонент. Следующий этап прогнозирования ряда состоит в переходе к статистически обоснованному количественному описанию и прогнозированию каждой из выделенных компонент.

Эти задачи решаются последовательно для каждой компоненты:

- трендовой;
- периодической;
- случайной.

Окончательный вывод о наличии компонент и об их роли в формировании изменчивости прогнозируемого ряда можно будет сделать только после выполнения прогнозов и анализа их качества. Если прогнозирование выделенных компонент будет недостаточно точным, необходимо будет вернуться к этому этапу и скорректировать исходную компонентную модель прогнозируемого ряда с учетом полученных результатов.

## **2.6 Критерии качества прогнозов.**

Полученные прогностические значения надо в первую очередь критически рассмотреть на отсутствие в них противоречий известным фактам и сложившимся представлениям о характере развития прогнозируемого процесса,

а только затем переходить к выполнению формальных процедур оценки точности прогнозов. Наиболее качественный метод прогноза определяется следующими комплексными характеристиками:

- максимальной адекватностью;
- максимальной точностью;
- максимальной эффективностью.

Каждая характеристика оценивается в результате расчета нескольких количественных критериев которые с разных сторон описывают успешность исследуемого метода прогнозов. На основе расчета и сравнения отдельных критериев формируется общий вывод об уровне качества метода прогноза и о возможности его практического применения.

## 2.7 Оценка эффективности метода.

Оценка эффективности позволяет точно определить, какой метод нельзя применять на практике для прогнозирования заданного океанологического временного ряда. Оценить практическую применимость метода на основе эффективности можно с помощью таблицы 2.1.

Таблица 2.1 Таблица оценки эффективности методов прогнозирования.

| Эффективность $\mathcal{E}$ , %                | Оправдываемость  | Применимость   |
|--|--|--|
| $\mathcal{E} > 10$<br>(хорошая)                | Оправдываемость метода лучше, чем у инерционного прогноза                                | Рекомендуется практическое использование метода                |
| $0 < \mathcal{E} < 10$<br>(удовлетворительная) | Оправдываемость метода лучше, чем у климатического, но хуже, чем у инерционного прогноза | Возможно практическое использование метода после корректировки |
| $\mathcal{E} < 0$<br>(неудовлетворительная)    | Оправдываемость метода хуже, чем у климатического прогноза                               | Запрещено практическое использование метода                    |

Если сформулированный метод прогнозирования имеет оправдываемость меньше, чем климатический, то для данного ряда его не имеет смысла применять

на практике вообще. Необходимо радикально пересмотреть используемое прогностическое уравнение на основе анализа ошибок методического прогнозирования. Если метод прогнозирования имеет оправдываемость выше климатического метода, но ниже инерционного метода, то он считается недостаточно эффективным, но перспективным для дальнейшего усовершенствования и возможного практического применения. Требуется провести корректировку коэффициентов прогностического уравнения (увеличить порядок уравнения авторегрессии, дополнительно учесть периодическую гармонику). Если в результате проведенного анализа качества прогностического уравнения и методических прогнозов получен точный, адекватный, эффективный метод прогноза, то можно признать, что достигнута главная цель всего проводимого исследования и найден метод прогнозирования, применимый в практической оперативной работе.

## Глава 3. Методическое прогнозирование.

### 3.1 Краткая характеристика используемых методов прогнозирования.

Для составления гидрометеорологических и рыбопромысловых прогнозов используется два подхода.

Первый подход: исходные числовые ряды прогоняются по всем статистическим моделям (АР-1, АР-2, Фурье, средняя, климатическая, инерционная, байесовская, динамико-статистическая, динамико-стохастическая) и среди них находим оптимальную модель для данного прогноза.

Второй подход: сложную структуру исходного числового ряда делим на несколько более простых с помощью полосовой фильтрации и производим расчеты простых структур.

Мы используем пакет программ Prisma. Этот метод основан на анализе структуры спектра исходных рядов, полосовой фильтрации основных энергонесущих частот и их экстраполяции на перспективу.

Для экстраполяции используется метод АСАП+ (автоматизированная система автоматического прогнозирования) с автоматическим выбором оптимального прогноза каждой составляющей и получением результирующего значения прогнозируемой величины.

Расчет первичных статистических характеристик необходим для того, чтобы составить общее представление об исследуемом процессе. В данной работе использовались следующие статистики: среднее, дисперсия, амплитуда колебаний, коэффициенты асимметрии и эксцесса. Результаты расчета первичных статистических показателей представили в табличном виде.

Для расчетов были даны следующие исходные данные:

1) Ряд ледовитости Баренцева моря в % от площади моря за период 1900-2010 гг.;

2) Ряд среднегодовой температуры воды на Кольском полуострове в слое 0-200м;

3) Ряд вылова сельди, составленный из ряда Крысова и ФИШСТАТ за период 1900-2013 гг.;

4) Ряд ежечасных значений уровня моря в поселке Ки-Вест;

5) Ряд индексов НАОзима 2021г.

6) Ряд температуры атмосферного воздуха в СПб апрель 2016г.

Для каждого исходного ряда составим прогноз последовательно при помощи программного обеспечения АСАП+ и программного обеспечения Prisma и далее сравним получившиеся прогнозы и выберем наиболее эффективный.

### 3.2 Расчетная часть исследуемых характеристик

1) Ряд ледовитости Баренцева моря в % от площади моря за период 1900-2010 гг.

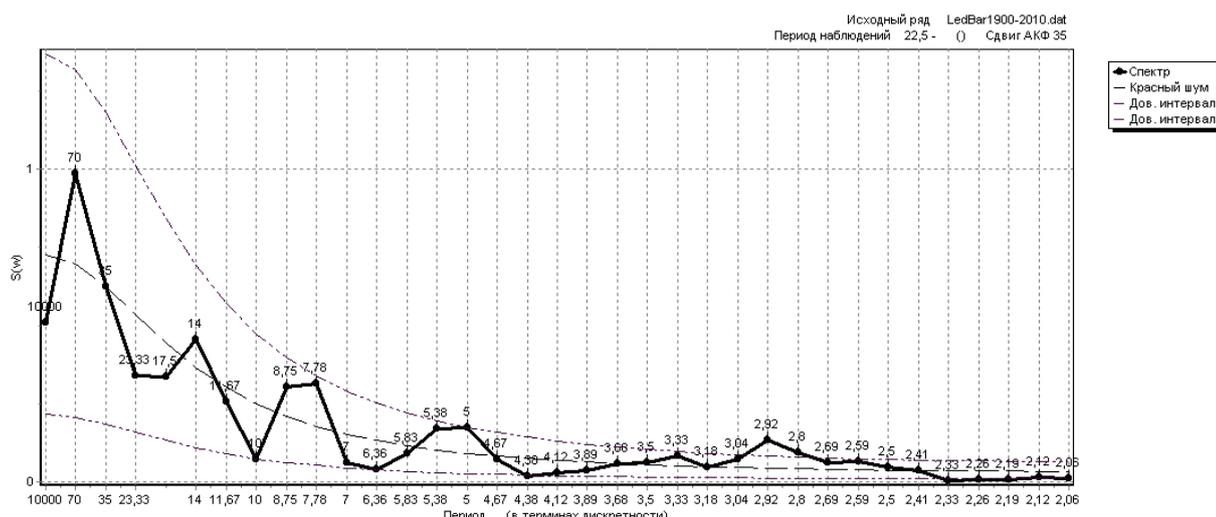


Рис. 3.1. График спектральной плотности исходного ряда №1.

На рисунке 3.1 изображен график спектральной плотности. На графике можно видеть 5 пиков (среднечастотные и низкочастотные). Из этого можно сделать вывод, что при помощи данного метода исследуемая характеристика будет плохо прогнозироваться.

| Эффективность |                |              |              |                |
|---------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Метод         | Уровень ошибок | ЗАБЛАГОВРЕМ. | Средн.ошибка | Дисперс.ошибк. |
| Факт          | 0              | 3000         | 0            | 0              |
| Климат        | 0,9722         | 0            | 3,2709       | 60,5486        |
| Инерция       | 0,6918         | 2,5513       | 0,0255       | 43,0817        |
| Байес         | 0,7106         | 2,4216       | 1,7093       | 44,2535        |
| Дин-Стат      | 0,9059         | 1,2701       | 0,9843       | 56,4164        |
| Дин-Сток      | 0,5813         | 3,4503       | 0,8174       | 36,1996        |
| АР-1          | 0,5839         | 3,425        | 1,4585       | 36,3669        |
| АР-2          | 0,6017         | 3,2629       | 1,8541       | 37,4702        |
| АР-3          | 0,5961         | 3,3126       | 1,3618       | 37,1256        |
| Фурье         | 0,7151         | 0            | 7,0239       | 44,5366        |
| Сред.компл.   | 0,6041         | 3,2413       | 2,0562       | 37,6218        |

Рис. 3.2. Таблица эффективности прогноза по АСАП+ для исходного ряда №1.

| Итоговый прогноз |         |
|------------------|---------|
| Значение         | Знак    |
| 40,1493          | 83,3333 |
| +/-              | 0,67 G  |
| Сигма            | 58,3333 |
| 9,4024           | 0,8 G   |
|                  | 75      |

Рис. 3.3. Итоговый прогноз для исходного ряда №1 по АСАП+.

Из приведенных выше таблиц (Рисунки 3.2 и 3.3) можно сделать вывод, что прогноз был выполнен с помощью динамико-стохастического метода. Его статистические характеристики более близки к исходному ряду.



Рис. 3.4. Экстраполяция и аппроксимация исследуемого ряда №1.

Из графика итогового прогноза (Рисунок 3.4) можно сделать вывод, что прогноз не полностью описывает исследуемую характеристику. Видно, что прогноз в общем и целом повторяет ход фактических значений, однако не показывает точные пиковые значения, а местами прогноз сильно завышает значения. Данный метод нельзя использовать для прогнозирования ледовитости Баренцева моря.



Рис. 3.5. Итоговая экстраполяция и аппроксимация исходного ряда №1 в программе Prisma.

Во втором способе прогнозирования была выполнена полосовая фильтрация исходного ряда. Из графика итоговой экстраполяции и аппроксимации (Рисунок 3.5) можно сделать вывод, что прогнозируемые значения (красная линия) хорошо описывают фактические значения (черная линия). Прогнозируемые значения полностью описывают ход фактических

значений и повторяют его пиковые значения. Данный метод можно использовать для прогноза исследуемой характеристики.

## 2) Ряд среднегодовой температуры воды на Кольском пол-ве в слое 0-200м.

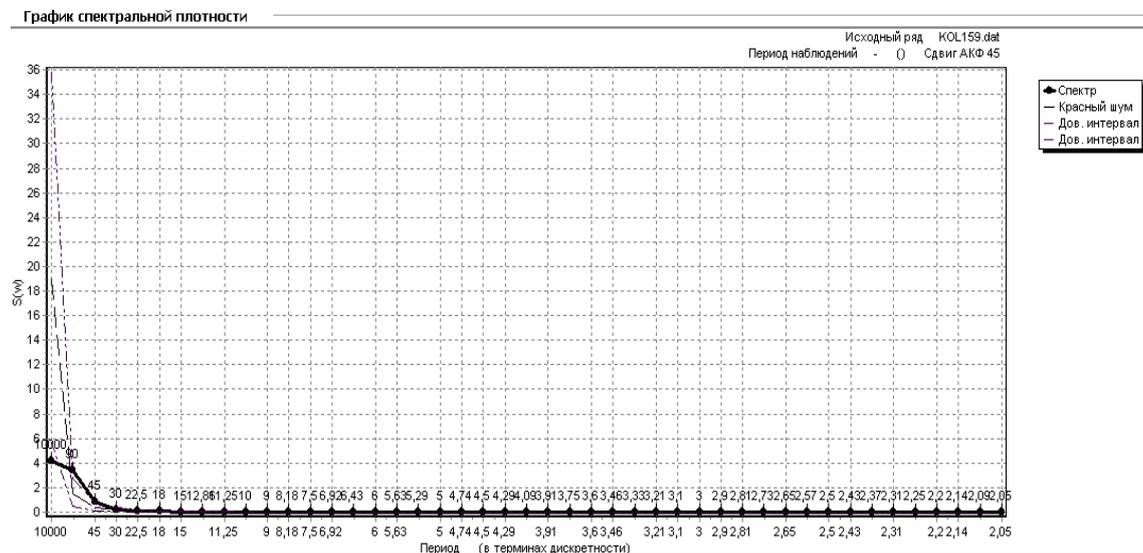


Рис. 3.6. График спектральной плотности исходного ряда №2.

На данном графике спектральной плотности (Рисунок 3.6) можно наблюдать только низкочастотные пики, и это нам говорит о том, что данная характеристика вновь будет плохо прогнозируема при помощи программы АСАП+.

| Эффективность |                |              |              |                |
|---------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Метод         | Уровень ошибок | ЗАБЛАГОВРЕМ. | Средн.ошибка | Дисперс.ошибк. |
| Факт          | 0              | 3000         | 0            | 0              |
| Климат        | 0,9722         | 0            | 3,2709       | 60,5486        |
| Инерция       | 0,6918         | 2,5513       | 0,0255       | 43,0817        |
| Байес         | 0,7106         | 2,4216       | 1,7093       | 44,2535        |
| Дин-Стат      | 0,9059         | 1,2701       | 0,9843       | 56,4164        |
| Дин-Стох      | 0,5813         | 3,4503       | 0,8174       | 36,1996        |
| АР-1          | 0,5839         | 3,425        | 1,4585       | 36,3669        |
| АР-2          | 0,6017         | 3,2629       | 1,8541       | 37,4702        |
| АР-3          | 0,5961         | 3,3126       | 1,3618       | 37,1256        |
| Фурье         | 0,7151         | 0            | 7,0239       | 44,5366        |
| Сред.компл.   | 0,6041         | 3,2413       | 2,0562       | 37,6218        |

Рис. 3.7. Таблица эффективности прогноза по АСАП+ для исходного ряда №2.

| Итоговый прогноз |        |
|------------------|--------|
| Значение         | Знак   |
| 1939             | 100    |
| +/-              | 0.67 G |
| Сигма            | 100    |
| 29,0115          | 0.8 G  |
|                  | 100    |

Рис. 3.8. Итоговый прогноз для исходного ряда №2 по АСАП+.

В данном случае прогноз был выполнен также при помощи динамико-стохастического метода, так как его характеристики (Рисунки 3.7 и 3.8) вновь были наиболее близки к фактическим значениям.

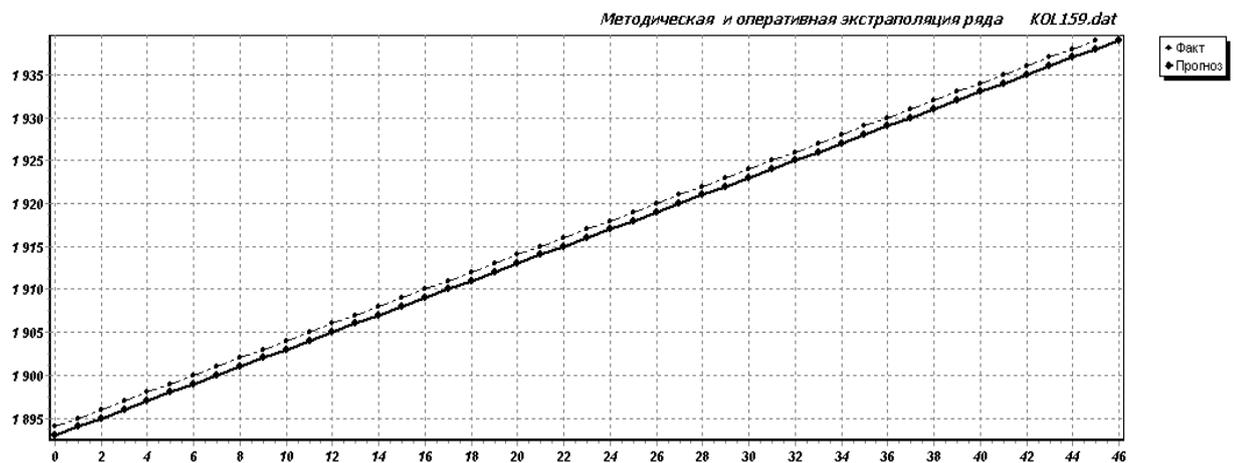


Рис. 3.9. Экстраполяция и аппроксимация исследуемого ряда №2.

Из данного графика (Рисунок 3.9) видно, что прогноз полностью повторяет ход фактических значений, однако он несколько занижает свои значения относительно реальных данных. В целом данный метод можно использовать для прогнозирования температуры воды на Кольском полуострове, однако он не до конца точен.



Рис. 3.10. Итоговая экстраполяция и аппроксимация исходного ряда №2 в программе Prisma.

На графике итоговой экстраполяции и аппроксимации (Рисунок 3.10) был применен метод полосовой фильтрации в программе Prisma. Из графика видно, что прогнозируемые значения довольно точно повторяют ход фактических значений. Также прогноз описывает практически все пиковые значения фактических значений температуры воды на Кольском полуострове. Данный метод полосовой фильтрации можно использовать для прогнозирования исследуемой характеристики.

3) Ряд вылова сельди, составленный из ряда Крысова и ФИШСТАТ за период 1900-2013 гг.

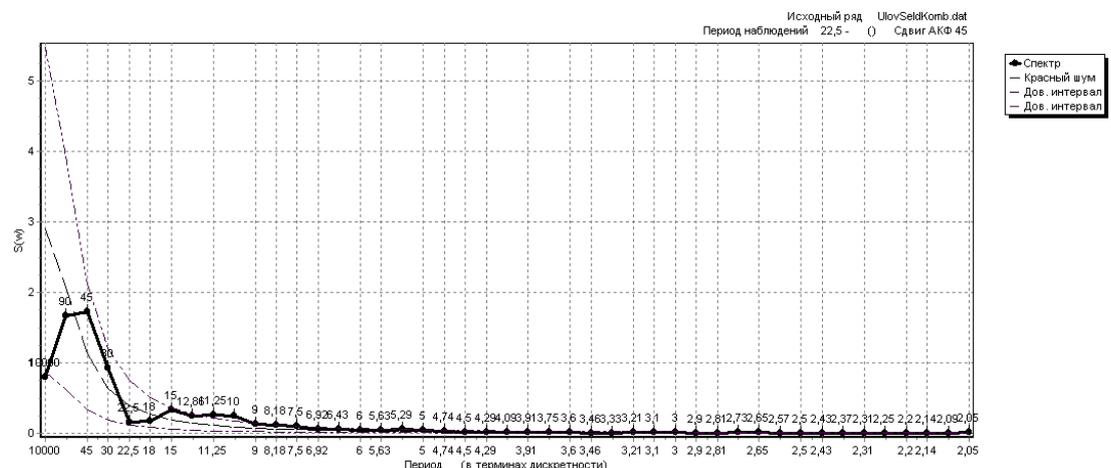


Рис. 3.11. График спектральной плотности исходного ряда №3.

На графике спектральной плотности (Рисунок 3.11) наблюдается несколько пиков (один среднечастотный и пара низкочастотных), что нам говорит о том, что прогноз вылова сельди с помощью данного метода будет не совсем точен.

| Эффективность |                |              |              |                |
|---------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Метод         | Уровень ошибок | ЗАБЛАГОВРЕМ. | Средн.ошибка | Дисперс.ошибк. |
| Факт          | 0              | 3000         | 0            | 0              |
| Климат        | 0,9783         | 0            | -207,8281    | 341645,6       |
| Инерция       | 0,237          | 11,1293      | -2,6522      | 82785,58       |
| Байес         | 0,249          | 10,5133      | 45,9837      | 86961,29       |
| Дин-Стат      | 0,352          | 6,9315       | 78,503       | 122919         |
| Дин-Стох      | 0,2385         | 11,0513      | -52,7151     | 83291,89       |
| АР-1          | 0,2266         | 11,7209      | -36,5959     | 79135,68       |
| АР-2          | 0,2981         | 8,4983       | -66,3593     | 104119,4       |
| АР-3          | 0,3246         | 7,6649       | -53,2732     | 113349,5       |
| Фурье         | 0,5052         | 4,2698       | -418,076     | 176435,2       |
| Сред.компл.   | 0,2652         | 9,7679       | -79,2237     | 92610,24       |

Рис. 3.12. Таблица эффективности прогноза по АСАП+ для исходного ряда №3.

| Итоговый прогноз |         |
|------------------|---------|
| Значение         | Знак    |
| 1220,462         | 95,6522 |
| +/-              | 0.67 G  |
| Сигма            | 84,7826 |
| 487,6129         | 0.8 G   |
|                  | 86,9565 |

Рис. 3.13. Итоговый прогноз для исходного ряда №3 по АСАП+.

В данном прогнозе использовался метод прогноза авторегрессии 1-го порядка. Это можно понять по вышеприведенным таблицам (Рисунки 3.12 и 3.13). Этот вид прогноза наиболее близок к фактическим значениям.



Рис. 3.14. Экстраполяция и аппроксимация исследуемого ряда №3.

Из графика экстраполяции и аппроксимации (Рисунок 3.14) можно сделать вывод о том, что значения, которые были получены с помощью прогноза, описывают общий ход фактических значений, однако прогноз не совсем точен в пиковых значениях исследуемой характеристики. Данный вид прогноза невозможно использовать для прогноза вылова сельди.



Рис. 3.15. Итоговая экстраполяция и аппроксимация исходного ряда №3 в программе Prisma.

Из графика итоговой экстраполяции и аппроксимации (Рисунок 3.15), построенным при помощи программы Prisma, можно сделать вывод, что спрогнозированные значения довольно точно описывают фактический ход характеристики, но местами не совпадает в локальных максимумах и

минимумах. В общем и целом, можно сказать, что данный метод можно использовать для прогнозирования вылова сельди.

#### 4) Ряд ежечасных значений уровня моря в поселке Ки-Вест.

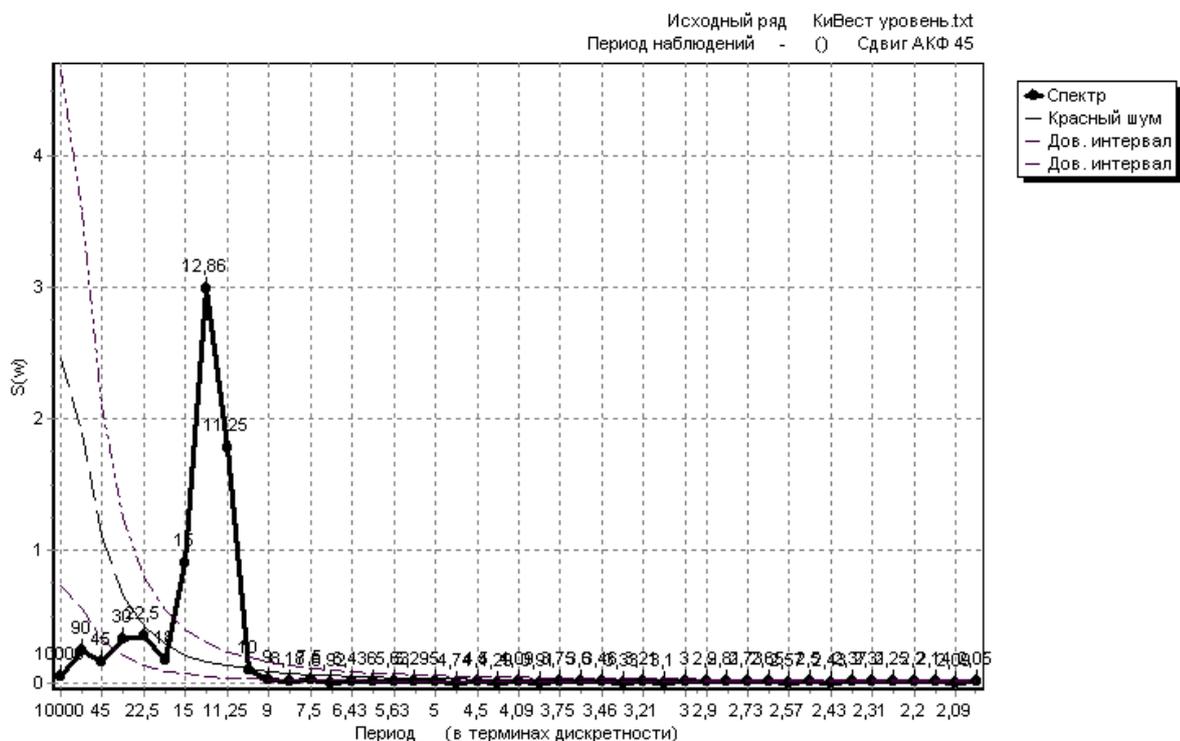


Рис. 3.16. График спектральной плотности исходного ряда №4.

Выше приведен график спектральной плотности ряда ежечасных значений уровня моря в поселке Ки-Вест (Рисунок 3.16). Из графика мы видим один четко выраженный пик спектра (среднечастотный). Отсюда можно сделать вывод, что данная характеристика будет хорошо прогнозироваться при помощи программы АСАП+.

| Эффективность |                |              |              |               |           |                |
|---------------|----------------|--------------|--------------|---------------|-----------|----------------|
| Метод         | Уровень ошибок | ЗАБЛАГОВРЕМ. | Средн.ошибка | Дисперс.ошибк | Опр. ЗНАК | Опр. 0.67 Сигм |
| Факт          | 0              | 3000         | 0            | 0             | 100       | 100            |
| Климат        | 0,9783         | 0            | 0,0098       | 0,0105        | 50        | 50             |
| Инерция       | 0,2222         | 11,9887      | 0,0013       | 0,0024        | 82,6087   | 93,4783        |
| Байес         | 0,2099         | 12,7901      | 0,0033       | 0,0022        | 82,6087   | 89,1304        |
| Дин-Стат      | 0,0918         | 31,4666      | -0,0035      | 0,001         | 95,6522   | 100            |
| Дин-Стох      | 0,252          | 10,3692      | 0,0044       | 0,0027        | 82,6087   | 80,4348        |
| АР-1          | 0,2106         | 12,7408      | 0,0024       | 0,0023        | 82,6087   | 91,3043        |
| АР-2          | 0,7141         | 0            | 0,0082       | 0,0077        | 65,2174   | 45,6522        |
| АР-3          | 0,3604         | 6,7277       | 0,0057       | 0,0039        | 91,3043   | 67,3913        |
| Фурье         | 0,442          | 0            | 0,1768       | 0,0047        | 50        | 8,6957         |
| Сред.компл.   | 0,2453         | 10,7001      | 0,0232       | 0,0026        | 84,7826   | 76,087         |
| Регр.компл.   | 0,0506         | 58,9396      | -0,001       | 0,0005        | 93,4783   | 100            |

Рис. 3.17. Таблица эффективности прогноза по АСАП+ для исходного ряда №4.

| Итоговый прогноз |         |
|------------------|---------|
| Значение         | Знак    |
| 1,505            | 93,4783 |
| +/-              | 0.67 G  |
| Сигма            | 100     |
| 0,1156           | 0.8 G   |
|                  | 100     |

Рис. 3.18. Итоговый прогноз для исходного ряда №4 по АСАП+.

Далее были рассчитаны таблицы эффективности прогноза и итоговый прогноз для исходного ряда в программе АСАП+ (Рисунки 3.17 и 3.18). Из таблиц можно сделать вывод, что наиболее лучшим методом прогноза для данной характеристики будет регрессионно-комплексный. Характеристики данного прогноза наиболее близки к фактическим значениям.



Рис. 3.19. Экстраполяция и аппроксимация исследуемого ряда №4.

Из графика экстраполяции и аппроксимации (Рисунок 3.19) видно, что прогноз довольно точно повторяет ход фактических значений и близок в максимальных и минимальных значениях. Данный вид прогноза можно использовать для ряда ежечасных значений уровня море в поселке Ки-Вест. Однако данный вид прогноза необходимо сравнить с прогнозом методом полосовой фильтрации.



Рис. 3.20. Итоговая экстраполяция и аппроксимация исходного ряда №4 в программе Prisma.

На Рисунке 3.20 приведен график итоговой экстраполяции и аппроксимации исходного ряда в программе Prisma. В данном прогнозе был применен метод полосовой фильтрации. Из графика видно, что рассчитанные прогнозом значения хорошо повторяют фактические значения. Данный метод прогнозирования можно успешно использовать для расчета данных ежечасного уровня моря в поселке Ки-Вест.

### 5) Ряд индексов НАОзима 2021г.

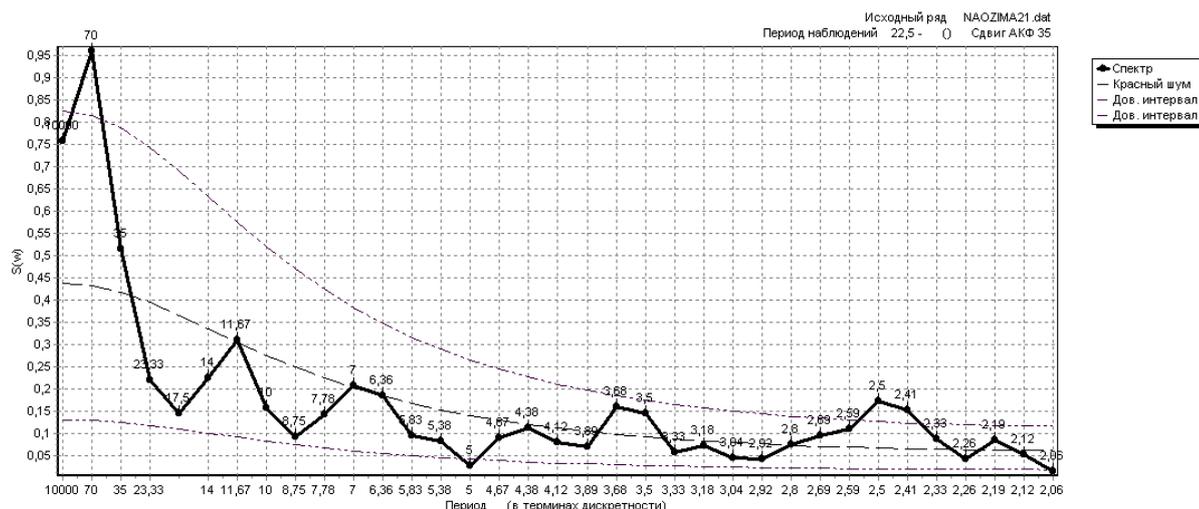


Рис. 3.21. График спектральной плотности исходного ряда №5.

На Рисунке 3.21 приведен график спектральной плотности для ряда данных НАОзима 2021 года. На графике можно выделить большое количество пиков (основная их часть – низкочастотные). Из этого графика можно сделать вывод, что данная характеристика будет плохо прогнозируема данным способом.

| Эффективность |                |              |              |                |
|---------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Метод         | Уровень ошибок | ЗАБЛАГОВРЕМ. | Средн.ошибка | Дисперс.ошибк. |
| Факт          | 0              | 3000         | 0            | 0              |
| Климат        | 0,9722         | 0            | -0,3123      | 0,3242         |
| Инерция       | 1,479          | 0            | -0,0111      | 0,4932         |
| Байес         | 0,9893         | 0            | -0,1574      | 0,3299         |
| Дин-Стат      | 1,6529         | 0            | -0,1417      | 0,5512         |
| Дин-Стох      | 1,1695         | 0            | -0,0846      | 0,39           |
| АР-1          | 0,9517         | 0            | -0,2116      | 0,3174         |
| АР-2          | 0,9859         | 0            | -0,1921      | 0,3288         |
| АР-3          | 1,0049         | 0            | -0,1939      | 0,3351         |
| Фурье         | 0,8803         | 0            | -0,2778      | 0,2936         |
| Сред.компл.   | 0,9601         | 0            | -0,1758      | 0,3202         |

Рис. 3.22. Таблица эффективности прогноза по АСАП+ для исходного ряда №5.

| Итоговый прогноз |         |
|------------------|---------|
| Значение         | Знак    |
| -0,2866          | 75      |
| +/-              | 0.67 G  |
| Сигма            | 55,5556 |
| 0,6128           | 0.8 G   |
|                  | 63,8889 |

Рис. 3.23. Итоговый прогноз для исходного ряда №5 по АСАП+.

Из представленных выше таблиц (Рисунки 3.22 и 3.23) видно, что прогноз в программе АСАП+ был выполнен методом статистического прогнозирования Фурье. Характеристики данного метода наиболее близки к фактическим значениям. Однако стоит отметить, что прогноз будет плохим (вследствие того, что значения малозначимы).



Рис. 3.24. Экстраполяция и аппроксимация исследуемого ряда №5.

Из графика экстраполяции и аппроксимации (Рисунок 3.24) видно, что выбранная характеристика крайне плохо прогнозируется данной программой. Спрогнозированные значения местами повторяют ход фактических, однако в остальном полностью не соответствуют фактическим значениям.



Рис. 3.25. Итоговая экстраполяция и аппроксимация исходного ряда №5 в программе Prisma.

Из графика экстраполяции и аппроксимации (Рисунок 3.25), который построен методом полосовой фильтрации в программе Prisma, видно, что спрогнозированные значения практически полностью соответствуют фактическим. Прогноз полностью повторяет ход фактических и его максимумы с минимумами. Данный вид прогнозирования можно использовать в исследовании выбранной характеристики.

б) Ряд температуры атмосферного воздуха в СПб апрель 2016г.

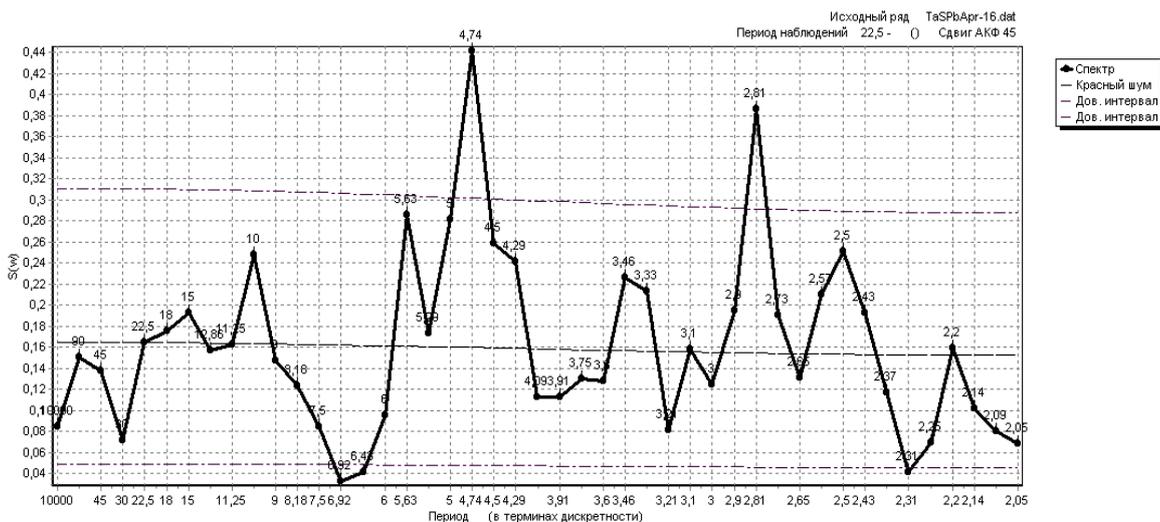


Рис. 3.26. График спектральной плотности исходного ряда №6.

Выше приведен график спектральной плотности (Рис. 3.26) для моей последней исследуемой характеристики в данной работе – температуры атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге за апрель 2016 года. Из этого графика видно, что наблюдается большое количества пиков спектра (как среднечастотные, так и низкочастотные). Из этого можно сделать вывод, что данная характеристика будет плохо прогнозироваться при помощи программы АСАП+.

| Эффективность |                |              |              |                |
|---------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Метод         | Уровень ошибок | ЗАБЛАГОВРЕМ. | Средн.ошибка | Дисперс.ошибк. |
| Факт          | 0              | 3000         | 0            | 0              |
| Климат        | 0,9783         | 0,7838       | -0,2165      | 10,3532        |
| Инерция       | 1,791          | 0            | 0,1196       | 18,9542        |
| Байес         | 1,5227         | 0            | 0,7186       | 16,1147        |
| Дин-Стат      | 1,6384         | 0            | 0,3169       | 17,3393        |
| Дин-Стох      | 1,408          | 0            | 0,0376       | 14,9018        |
| АР-1          | 0,9928         | 0            | -0,2031      | 10,5066        |
| АР-2          | 0,9758         | 0,8063       | -0,2734      | 10,3272        |
| АР-3          | 1,0484         | 0            | -0,2287      | 11,0951        |
| Фурье         | 1,1584         | 0            | -1,4233      | 12,2594        |
| Сред.компл.   | 1,0398         | 0            | -0,128       | 11,0042        |

Рис. 3.27. Таблица эффективности прогноза по АСАП+ для исходного ряда №6.

| Итоговый прогноз |         |
|------------------|---------|
| Значение         | Знак    |
| 3,5495           | 69,5652 |
| +/-              | 0.67 G  |
| Сигма            | 63,0435 |
| 3,576            | 0.8 G   |
|                  | 65,2174 |

Рис. 3.28. Итоговый прогноз для исходного ряда №6 по АСАП+.

Далее были рассчитаны статистические характеристики для разных видов прогнозов и выбран наилучший из всех (Рисунки 3.27 и 3.28). Из таблиц видно, что наиболее лучшим видом прогноза будет авторегрессия второго порядка. Однако прогноз все равно не будет точен в связи, с тем, что характеристики данного прогноза незначительны.



Рис. 3.29. Экстраполяция и аппроксимация исследуемого ряда №6.

Выше приведен график экстраполяции и аппроксимации (Рисунок 3.29) для ряда значений атмосферного воздуха города Санкт-Петербурга за апрель 2016 года. Из графика можно отметить то, что прогнозируемые значения плохо описывают фактические значения. Прогноз сильно сглаживает и занижает фактические значения, также занижает максимальные и минимальные значения. Данный вид прогноза невозможно использовать в прогнозировании выбранной мною характеристики.



Рис. 3.30. Итоговая экстраполяция и аппроксимация исходного ряда №6 в программе Prisma.

Выше представлен график итоговой экстраполяции и аппроксимации (Рисунок 3.30) для выбранной характеристики. На данном графике: красная линия – спрогнозированные значения; черная линия – фактические значения. Проанализировав график можно отметить, что прогноз довольно хорошо повторяет ход фактических значений, а также повторяет все минимумы и максимумы. Прогноз в программе Prisma был выполнен методом полосовой фильтрации. Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что данный вид прогноза можно успешно использовать для значений температуры атмосферного воздуха в городе Санкт-Петербург.

## **Заключение.**

В данной работе я использовал данные 6 видов: ледовитость Баренцева моря; среднегодовая температура вода на Кольском полуострове; вылов сельди; ежечасные значения уровня моря в поселке Ки-Вест; индексы НАОзима; температура атмосферного воздуха в городе Санкт-Петербурге. Данные крайне разнообразные, разных видов и за кардинально разные периоды. Это было сделано для обеспечения широкого спектра исследования и разнообразия полученных выводов.

Все выбранные данные были рассчитаны в двух программах (АСАП+ и Prisma), для проверки на возможность прогнозирования определенной гидрометеорологической или биолого-промысловой характеристики. В ходе работы были выполнены все поставленные задачи и необходимые расчеты.

По итогу, после выполнения мною расчетов и анализа полученных данных, я могу сделать вывод, что статистико-временное прогнозирование возможно применять на представленные в работе характеристики. Однако не всегда прогноз возможен в одной программе. Зачастую в АСАП+ прогноз был не точен и использовать его было нельзя. Однако по большей части, в программе Prisma прогноз получался корректным и его можно было считать успешным.

Эффективность методического прогноза в программе Prisma выше, чем в АСАП+. Однако вторая иногда тоже может составить точны прогноз той или иной гидрометеорологической характеристики. После выполнения работы я могу сделать вывод, что выбранные мною гидрометеорологические и биолого-промысловые характеристики можно, а что самое главное, нужно прогнозировать методическим способом. Ведь это может снизить или вовсе предотвратить ущерб для разных отраслей экономики. А также, кому-то это может помочь спасти свое здоровье или жизнь.

## Список литературы.

- 1) Угрюмов, А.И. Учебное пособие "Долгосрочные метеорологические прогнозы" / А.И. Угрюмов. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2006. – 84 с.
- 2) Вайновский, П.А. Учебный практикум "Статистическое прогнозирование гидрометеорологических временных рядов", курса дисциплины "Теория прогнозирования океанологических процессов" / П.А. Вайновский, Д.В. Густоев. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2019. – 240 с.
- 3) Густоев, Д.В. Методическое руководство к дежурству Статистико-вероятностное прогнозирование гидрометеорологических характеристик лекционного курса дисциплины "Теория прогнозирования" / Д.В. Густоев. – Санкт-Петербург: кафедра ПОиОПВ, РГГМУ, 2019. – 73 с.
- 4) Густоев, Д.В. Методическое руководство пользователя Комплекс программ прикладного анализа частотной структуры временных серий и их экстраполяции статистико-вероятностными моделями "ПРИЗМА-ПРО" лекционного курса дисциплины "Теория прогнозирования" / Д.В. Густоев. – Санкт-Петербург: кафедра ПОиОПВ, РГГМУ, 2019. – 44 с.
- 5) Лобанова, В.А. Особенности и причины современных климатических изменений в России / В.А. Лобанова, Г.Г. Тоцакова // Географический вестник. – 2016. – № 3. – С. 23-34.
- 6) Бедрицкий, А.И. Результаты исследований изменений климата России / А.И. Бедрицкий. – Москва: Росгидромет, 2005. – 180 с.
- 7) Лобанов, В.А. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений / В.А. Лобанов, А.Е. Шадурский // Ученые записки. – 2013. – № 14. – С. 73-88.
- 8) Виноградов, Ю.Б. Современные проблемы гидрологии / Ю.Б. Виноградов. – Москва: "Академия", 2008. – 320 с.
- 9) Карпова, И.П. Об оценке оправдываемости долгосрочных прогнозов гидрометеорологических элементов в Северном промышленном бассейне / И.П. Карпова, Д.В. Густоев, А.С. Аверкиев // РГГМУ. – 2017. – № 49. – С. 73-81.

- 10) Бурков, В.А. Долгосрочные гидрометеорологические прогнозы / В.А. Бурков. – Москва: Гидрометеоиздат, 1960. – 165 с.
- 11) Серяков, Е.И. Долгосрочные прогнозы тепловых процессов в Северной Атлантике / Е.И. Серяков. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1979. – 163 с.
- 12) Леонов, Е.А. Космос и сверхдолгосрочный прогноз / Е.А. Леонов. – Санкт-Петербург: Алетейя, 2010. – 352 с.
- 13) Морские прогнозы / З.К. Абузьяров, К.И. Кудрявая, Е.И. Серяков, Л.И. Скриптунова. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1988. – 319 с.
- 14) Поляк, И.И. Многомерные статистические модели климата / И.И. Поляк. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1989. – 183 с.
- 15) Вайновский, П.А. Методы обработки и анализа океанологической информации (одномерный анализ) / П.А. Вайновский, В.Н. Малинин. – Ленинград: ЛГМИ, 1991. – 136 с.