

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Сидоренко Артем Юсупович

**МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ НАВИГАЦИЕЙ
В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ РОССИИ**

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Е.П. Истомин

Научный консультант:
доктор технических наук,
профессор В.В. Новиков

Санкт-Петербург – 2021

Список сокращений и условных обозначений

ААНИИ – Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

АКС – Автоматизированные картографические системы

АРМ – Автоматизированное рабочее место

АСМП – Администрация Северного морского пути

БД – База данных

ГИС – Геоинформационная система

ГМД – Гидрометеорологические данные

ГМО – Гидрометеорологическая обстановка

ДДЗ – Данные дистанционного зондирования

ЕСИМО – Единая государственная Система Информации об обстановке в Мировом Океане

ИР – Информационный ресурс

ИС – Информационная система

ИТ – Информационная технология

МГИСУН – Модель геоинформационной системы управления навигацией

ПО – Программное обеспечение

РБД – Распределенные базы данных

РГГМУ – Российский государственный гидрометеорологический университет

РГМД – Распределенные гидрометеорологические данные

РФ – Российская Федерация

СМП (Севморпуть) – Северный морской путь

СУБД – Система управления базами данных

ЦОС – Цифровая обработка сигналов

ЭВМ – Электронная вычислительная машина

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений и условных обозначений	2
ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. Анализ обстановки и разработка требований к геоинформационному управлению навигацией в Арктическом регионе России	15
1.1 Анализ геополитической обстановки Арктического региона России.....	15
1.2 Стратегический план развития Северного морского пути и прибрежных территорий	26
1.3 Типовая структура современных географических информационных систем.....	34
1.4 Требования к геопространственному представлению Арктического региона на основе многопараметрического анализа характеристик геоинформационных систем	44
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ	48
Глава 2. Разработка моделей прогнозирования состояния обстановки Арктического региона на основе модифицированных алгоритмов рекурсивной фильтрации в сочетании с методикой представления геоданных.....	50
2.1 Составление методики представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния навигационной обстановки Арктического.....	63
2.2 Анализ составляющего компонента методики представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния обстановки Арктического региона	74
2.3 Алгоритм проверки исходного ряда на стационарность	82
2.4 Составление методики представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния навигационной обстановки Арктического региона	84
2.5 Разработка модели прогнозирования состояния навигационной обстановки Арктического региона на основе модифицированного алгоритма рекурсивной фильтрации Калмана-Бьюси	91
2.6 Разработка модели прогнозирования состояния навигационной обстановки Арктического региона на основе модифицированного алгоритма рекурсивной фильтрации Левинсона-Дарбина.....	101
2.7 Разработка модели универсального фильтра прогнозирования будущего состояния навигационной обстановки Арктического региона на основе совмещенного алгоритма Калмана-Левинсона.....	107
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ	112

Глава 3. Модель геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе Российской Федерации	114
3.1 Формирование модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе России	114
3.2 Структура модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе.....	117
3.3 Программная реализация и описание графического интерфейса пользователя модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе	125
3.4 Апробация сформированной модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе Российской Федерации	131
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ	134
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	136
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	138
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Результаты апробации моделей рекурсивной фильтрации	148
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Матрица сравнительных функций и типов ГИС.....	160
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Код программы МГИСУН на языке C#.....	163

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

Арктический регион на протяжении многих лет является одним из исключительных мест на планете, освоение и изучение которого по – прежнему находятся на достаточно ранней стадии. Несмотря на то, что по настоящее время общепризнанной границы Арктика не имеет, регион делится на пять условных секторов, каждый из которых, согласно международной конвенции по морскому праву, закрепляется за определенным государством, а именно: Российская федерация, Соединенные Штаты Америки, Королевство Дания, Канада и Королевство Норвегия. Международно-правовая проблема разграничения арктического региона не первый раз поднимается на рассмотрения научными деятелями [1, 2,3] и ведущими исследователями. Для каждого субъекта, имеющего юридически-правовые аспекты над территорией в арктическом регионе, открываются новые возможности: стратегические, экономические, а также направления социального характера.

Пять упомянутых государств не являются исключением, Арктика вызывает не малый интерес у других стран. Не считая территориальных споров, как стороны действующих договоренностей между странами близ Арктики, так и со стороны претендующих на арктические территории государства, наиболее востребованные, а также активно развивающиеся направления региона, проявляются в ряде областей – приоритетных направлений: добыча полезных ископаемых и природных ресурсов, экологическая составляющая, транспортные магистрали, гидрометеорологические и климатические особенности, военное назначение, политико-стратегические аспекты, научно-исследовательская деятельность, культурно-туристическое направление (так называемы северный туризм) и многие другие.

Одни из наиболее важных, перечисленных выше, с точки зрения стратегически-экономических направлений, являются транспортные магистрали и морская навигация (морские пути), наиболее известные из которых: кроссполярный авиамост (наикротчайший путь между Азией и Северной Америкой) и Северный морской путь (кратчайший морской путь между Европейской частью России и Дальним Востоком, а также кратчайший морской путь между Восточной Азией и Европой).

Северный морской путь (СМП или Севморпуть) ограничен на западе входами в Новоземельские проливы и меридианом, проходящим на север от мыса Желания, и на востоке в Беринговом проливе параллелью 66° с. ш. и меридианом 168°58'37" з., что фактически захватывает всю северную материковую часть Российской Федерации (РФ).

Таким образом СМП является стратегически важным транспортно-промышленным коридором, на законодательном уровне РФ имеет определение - «исторически сложившаяся национальная единая транспортная коммуникация России в Арктике». Значимость СМП, как транспортной артерии, получило весьма высокую востребованность во всем мире.

Не мало важной другой особенностью, в том числе связанной с СМП, является гидрометеорологическая (ГМО) и навигационная обстановка Арктического региона. Арктика – северная полярная область Земли, отсюда среднеклиматические показания зимой могут достигать от -40°C до -60°C , при этом средние температуры летнего периода в Арктическом бассейне варьируются от 0°C до -1°C .

Данные природные условия, в совокупности с рядом других климатических особенностей, создают немалый перечень трудностей для прокладки оптимального маршрута в морской навигации по СМП, особенно в зимний период года.

Существуют множество методов обработки гидрометеорологических данных (ГМД). Одним из выделяющихся методов обработки ГМД является прогнозирование будущего состояния исследуемой системы. На практике, все методы работают на ряду с геоинформационными системами (ГИС). В зависимости от классификации динамического объекта и требованием к маршруту существуют различные ГИС, как специализированные или узконаправленные, так и системы, ориентированные на широкий круг пользователей.

Традиционно, обработанные ГМД, с помощью достаточно известных методов, представляющие готовую базу данных (БД), импортируются в специализированную ГИС (система, работающая с определенным специфическим набором данных), либо чаще всего данные накладываются на один из картографических слоев, в финальной стадии также представленные в виде ГИС. Таким образом существующая модель представляется в виде совокупности отдельных уровней: исходные данные (полученные за счет измерений текущего и будущего состояния системы), методы их обработки, метод интеграции с информационной системой (ИС) и непосредственно сама ГИС.

Каждый уровень – трудоёмкий процесс, затрагивающий немалое количество времени и ресурсов. Стоит отметить точность получаемых исходных и прогнозируемых данных. Если к первым вопросов не возникает, то последние имеют значимую погрешность и требуют пристального внимания и дополнительной оценки, возможно прибегая к иному методу прогнозирования.

Учитывая вышеизложенное, актуальным становится вопрос по формированию новой модели геоинформационной системы управления навигацией, включавшей в себя все перечисленные уровни, при этом работающие под управлением единой ИС. Так как отмечено, что точность и достоверность используемых данных являются одним из важных факторов при

навигации в Арктике, необходимо реализовать в формируемой модели ранее не применяемые методики и технологии представления распределенных гидрометеорологических данных (РГМД). Одной из моделей подобной обработки данных может служить математический механизм, применяемый в обработке цифровых сигналов, а именно – линейная, рекурсивная фильтрация данных, в ходе которого используется инструмент под названием фильтр.

Ряд фильтров, представляющие математический алгоритм, применяемых в цифровой обработке сигналов (ЦОС), имеют уникальные свойства: обработка сигнала в реальном времени, а также предсказывание будущего поведения системы (прогнозирование), полагаясь на исходные значения.

Формирование и использование модели ГИС, построенной на базе рекурсивных алгоритмов фильтрации данных, поможет устранить недостатки в существующих моделях, тем самым обеспечит навигацию в Арктическом регионе более точными ГМД, что в свою очередь повысит безопасность мореплавания во льдах и сложных климатических условиях, минимизирует время прохода динамического объекта по маршруту, предоставит возможности продлить период навигаций, при этом ГИС будет являться гибким инструментом, совмещаая в себе узкоспециализированные модели технологий обработки пространственно-координированных геоданных.

Как результат, анализ современного состояния проблемы цифровизации управления мореплаванием в Арктической морской зоне России показал недостаточность автоматизации процессов навигационного и гидрометеорологического обеспечения морской деятельности, сезонность прогнозов, отсутствие единого центра хранения и управления распределенной гетерогенной информацией. При этом, современные методы прогнозирования имеют недостаточную точность обоснования долгосрочных прогнозов и требуют регулярного пополнения данными от различных источников информации. Таким образом, **актуальной является научная задача совершенствования моделей и методик геоинформационного управления навигацией в Арктическом регионе России.**

Степень разработанности проблемы. В процессе исследования были проанализированы труды отечественных и зарубежных ученых рассматриваемой предметной области, таких как Истомин Е.П., Берлянт А.М., Новиков В.В., Бескид П.П., Калман Р.Э., Левинсон Н., Дорофеев А.Н., Татарникова Т.М., Бурлов В.Г., Алексеев В.В., Малинин В.Н., Угрюмов А.И., Миронов Е. У., Егоров А.Г. и другие.

Проведено изыскание результатов научных исследований и трудов, нормативно-правовых документов, функционирования существующего программного обеспечения, касательно области обеспечения гидрометеорологическими и навигационными данными мореплавания в полярных водах, а также будущего развития всесторонней инфраструктуры Арктического региона.

На данный момент, недостаточно изучена проблема управления навигацией и прокладки маршрутов во льдах арктического сектора РФ, в частности на периоды сезонов с осени по весну. Не в полной мере разработаны и внедрены разносторонние методы, модели и технологии прогнозирования. Отсутствует единый центр хранения и управления распределенными пространственно-координированными геоданными морской поверхности Арктической зоны, с множественным удаленным доступом.

На рынке ИС не представлено ни одного программного продукта, в виде ГИС, позволяющей обеспечивать управление навигацией посредством активного прогностического модуля, работающего с цифровыми данными в реальном масштабе времени. Современные методы прогнозирования, в частности долгосрочные, имеют малый процент точности, а также требуют постоянного снабжения данными с разных источников для дальнейшего анализа. Таким образом, необходимость разработки и дальнейшего внедрения методик и моделей прогнозирования, а также управления навигацией в Арктическом регионе определяет объект, предмет, цель и задачи диссертации.

Объект исследования – навигационная обстановка в морской зоне Арктического региона России.

Предмет исследования – технологии и модели геоинформационного управления навигацией в Арктическом регионе.

Цель диссертационной работы – разработка моделей и методики геоинформационного управления навигацией в Арктическом регионе России.

Достижение поставленных целей в работе обеспечена решением следующих **основных задач**:

1. Анализ обстановки и разработка требований к геоинформационному управлению навигацией в Арктическом регионе России.
2. Составление методики представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния навигационной обстановки Арктического региона
3. Разработка универсальных моделей и методики прогнозирования на основе модифицированных алгоритмов рекурсивной фильтрации.
4. Формирование модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе Российской Федерации.

Теоретические и методические основы исследования. Теоретической основой диссертационной работы, являются исследования трудов отечественных и зарубежных ученых в области прогнозирования разнородных геоданных, цифровой обработки сигналов и оценки будущего состояния системы, моделирования геоинформационных систем и технологий, геополитической и территориальной обстановки Арктики, связанные с обеспечением навигации

в Арктическом регионе за счет построения информационных систем. Методической основой работы является системный анализ и аналитические исследования, а также обобщение существующих научных трудов, связанных с формированием модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе России, а также разработанных и используемых прогностических моделях.

Обоснованность и достоверность результатов исследования, выводов и рекомендаций обеспечивается:

- использованием для достижения цели работы нормативных документов, в том числе федеральных и региональных органов власти, касающихся развития Арктического региона страны, а также методик построения ИС;

- применением принципов системного анализа и концептуального моделирования, аналитических исследований, математического моделирования и других современных научных методов;

- внутренней непротиворечивостью результатов исследования и их соответствием теоретическими положениями и гипотезами фундаментальных исследований используемые автором, в области гидрометеорологического обеспечения и дальнейшего использования в компьютерном моделирование;

- апробацией результатов исследования на научно-практических конференциях и отражением основных результатов диссертации в открытой печати.

Положения и результаты, выносимые на защиту:

1. *Требования к геоинформационной системе управления навигацией в Арктическом регионе России*, основанные на анализе характеристики существующих ГИС в сопоставлении с актуальными функциями геоинформационного управления навигацией в Арктическом регионе Российской Федерации.

2. *Методика представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния обстановки Арктического региона, основанная на модифицированных алгоритмах рекурсивной фильтрации*, которая использует новые модели и методики оценки навигационной обстановки на маршрутах в Арктическом регионе, цифровую рекурсивную фильтрацию статистических данных для прогнозирования и оценки качества исходной информации, а также является независимым интегрируемым модулем ГИС. Это позволит повысить информативность решений и снизить геориски ошибочных решений, по предварительным оценкам на 30%.

3. *Модель прогнозирования состояния навигационной обстановки Арктического региона, основанная на модифицированных алгоритмах рекурсивной фильтрации*, отличающаяся тем, что она синтезирована путем совмещения рекурсивных фильтров и

использует методику представления геоданных, что дает возможность повысить точность прогнозов до 90 %.

4. Модель геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе Российской Федерации, которая отличается тем, что использует прогностические рекурсивные алгоритмы цифровой фильтрации, методику представления геоданных для поддержки принятия управленческих решений навигацией в Арктическом регионе РФ. Это позволяет реализовать геопространственное представление региона на основе многопараметрического анализа в кооперативном модуле геоинформационной системы управления и использовать данные дистанционного зондирования в реальном масштабе времени.

Научная новизна

1. Обоснованы требования к геопространственному представлению Арктического региона на основе многопараметрического анализа характеристик геоинформационных систем и выявлены приоритетные направления развития Арктики;

2. Разработана методика представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния навигационной обстановки Арктического региона;

3. Впервые, в рассматриваемой предметной области, применены универсальные модели прогнозирования данных дистанционного зондирования (ДДЗ) Арктического региона на основе модифицированных алгоритмов рекурсивной фильтрации, позволяющие проводить как краткосрочные, так и долгосрочные прогнозы системы с наибольшим процентом точности;

4. Впервые реализована и представлена модель универсального фильтра прогнозирования будущего состояния навигационной обстановки Арктического региона, основанная на совмещении линейных фильтров, что значительно сокращает ошибки внешних воздействий, при этом достигая максимального процента точности получаемых данных;

5. Сформирована модель комплексного пакета ГИС управления навигацией в Арктическом регионе России, включающая в себя компоненты картографии, как модели поддержки принятия управленческих решений в области навигации, цифровые линейные фильтры прогнозирования статистических данных, оценочный модуль анализа исходной информации и дальнейшей результативной модели.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Полученные научные результаты соответствуют пунктам 3, 4, 7 паспорта специальности 25.00.35 – «Геоинформатика».

Практическая и научная значимость работы заключается в том, что решена научно-техническая задача, имеющая существенное значение управления навигацией, за счет применения разработанных моделей и методик геоинформационного управления.

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что предложенные модели и методика, повышают эффективность навигации в Арктическом регионе России, снижая

риски принятия решений при перемещениях по труднодоступным территориально распределенным районам, повышая безопасность, что приводит к уменьшению затрат и сокращает время перемещения объекта по выбранному маршруту.

Апробация работы

1. Международная научно-практическая конференция «Инфогео 2013», секция «Геоинформатика» (26-28 ноября 2013г.), доклад по теме: «Защита распределенных баз данных в ГИС».

2. Международная научно-практическая конференция «Инфогео 2014», секция «Геоинформатика» (3-6 октября 2014г.), доклад с публикацией по теме: «Прогнозирование гидрометеорологической обстановки западного сектора Северного морского пути с применением линейного фильтра Калмана-Бьюси».

3. XI Санкт-Петербургская межрегиональная конференция «Информационная безопасность регионов России (ИБРР–2019)» Санкт-Петербург, 23-25 октября 2019 г., секция «Информационная безопасность геоинформационных систем», доклад на тему: «Методы обеспечения информационной безопасности пространственных данных, распределенных ГИС».

4. III Международная молодёжная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы лесного хозяйства» 06-08 ноября 2019 г., Санкт-Петербург, Россия, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, доклад с публикацией на тему: «Классификация подстилающей поверхности по данным спутниковых снимков».

5. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: IV scientific-technical conference "FORESTS OF RUSSIA: POLICY, INDUSTRY, SCIENCE AND EDUCATION" (22–24 May 2019, St. Petersburg, Russia), доклад с публикацией на тему: « Model of optimum integration of diverse geodata for the benefit of management of forestry»

6. Региональная информатика (РИ-2020): XVII Санкт-Петербургская международная конференция, секция 19 «Геоинформационные системы», (Санкт-Петербург, 28-30 октября 2020г.), доклад с публикацией на тему: «О некоторых аспектах защиты пространственных данных в ГИС»

7. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: All-Russian scientific-practical conference with international participation "ACTUAL ISSUES OF TRANSPORT IN THE FOREST SECTOR" (28-29 November 2019, St. Petersburg, Russia), доклад с публикацией на тему: «Study of intra-day dynamics of currents in the area of the navigable strait of Baltiysk to adjust the movement of water transport», «Application of Kalman-Bucy filter for vessel traffic control systems in the northern sea route».

8. Цифровые технологии в лесном секторе: материалы всероссийской научно-технической конференции. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, 26–27 марта 2020 г.), доклад с публикацией на тему: «About the methodology of geo-risk management in forestry».

9. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: All-Russian scientific-technical conference "Digital technologies in forest sector" (26 – 27 March 2020, Saint Petersburg, Russian Federation), доклад с публикацией на тему: «Monitoring forest fires and their consequences using MODIS spectroradiometer data».

10. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 5th International Conference "Arctic: History and Modernity" (18-19 March 2020, Saint-Petersburg, Russia), доклад с публикацией на тему: « Spatial-temporal variability of ice cover of the Bering sea», «Application of a remote sensing data processing method for assessment ice cohesion in the Arctic navigation».

11. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: V pan-Russian scientific - technical conference – webinar "FORESTS OF RUSSIA: POLICY, INDUSTRY, SCIENCE AND EDUCATION" (16-18 of June 2020, Saint Petersburg, Russian Federation), доклад с публикацией на тему: «Development of a conceptual GIS model to support management decision making».

12. GraphiCon 2020: Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision (22-25 September 2020, Saint-Petersburg, Russia). – 2020. – vol. 2744., доклад с публикацией по теме: «Determination of Internal Waves Off the Coast of Morocco According to Earth Remote Sensing Data (short paper)».

Личный вклад автора. Соискатель непосредственно занимался подготовкой и обработкой исходных материалов, разработкой требований, методики и моделей, в том числе геоинформационной системы, анализе и формировании полученных результатов.

Публикации. Научные результаты исследования опубликованы в 22 статье в научно-технических изданиях, в том числе 8 из рекомендованного перечня ВАК РФ и 14 публикаций изданиях, индексируемых в международных базах данных.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из списка используемых сокращений, введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем работы составляет 147 страниц, 63 рисунка, 6 таблицы, 47 формул. Список использованной литературы составляет 125 источников.

Во **введении** обозначена актуальность научной работы, определены объект, предмет, цели и задачи исследования, представлена теоретическая и практическая ценность работы, приведено краткое содержание диссертации по разделам, перечислены основные научные результаты, выносимые на защиту.

В **первой главе** «Анализ обстановки и разработка требований к геоинформационному управлению навигацией в Арктическом регионе России» рассматриваются результаты анализа геополитической и навигационной обстановки Арктического региона. Исследованы и обозначены стратегически приоритетных направлений развития Арктического сектора РФ, в таких областях как добыча минеральных ресурсов, энергетические запасы, биологические и водные ресурсы.

Представлен план стратегического развития главной артерии Арктики – Северного морского пути. Рассмотрена транспортно-логистическая система Северного морского пути, а также приведено разностороннее сравнение с существующими альтернативными вариантами морских магистралей. В ходе исследования определен перечень критериев, влияющих на инфраструктуру морской навигации. Отмечены основные организации управления переправами по СМП.

На основе изучения существующих геоинформационных систем разработана типовая структурная схема функционирования главных компонентов системы, рассмотрена возможность взаимодействия ГИС с пространственно-координированными геоданными дистанционного зондирования.

Опираясь на полученные результаты, в ходе исследования базовых принципов цифрового пространственного представления гидрометеорологической и навигационной обстановки в регионе, обоснованных требований к геопространственному представлению Арктического региона на основе многопараметрического анализа характеристик геоинформационных систем, результатом которых является разработка Многопараметрический анализ характеристик ГИС, ставится новая научная задача о необходимости формирования новой модели ГИС управления навигацией (МГИСУН) в Арктическом регионе России и требования предъявляемые к функциям такой ИС.

Во **второй главе** «Разработка моделей прогнозирования состояния обстановки Арктического региона на основе модифицированных алгоритмов рекурсивной фильтрации в сочетании с методикой представления геоданных» приведен обзор существующих методов прогнозирования ГМО в интересах обеспечения навигации, с указанием основных характеристик, недостатков и преимуществ.

Как результат изучения современных методов сбора и обработки ГМД, были представлены цифровые модели информационных систем и технологий обработки пространственно-координированных геоданных, с возможностью импортирования и экспортирования информации в цифровом виде.

Разработаны и интегрированы в ГИС модифицированные модели прогнозирования ГМО арктической зоны, на основе рекурсивных алгоритмов фильтрации. Представлена, ранее не

реализованная модель универсального, сращенного на двух алгоритмах, фильтра прогнозирования будущего состояния ГМО Арктики. Проведена апробация разработанных моделей и методики, а также проведена оценка качества и адекватности полученных моделей.

В **третьей главе** «Модель геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе Российской Федерации» формируется ГИС на основе разработанных модифицированных алгоритмов прогностических моделей и методики представления геоданных, описанных во второй главе.

Определены основные элементы ГИС. Представлены структурируемые схемы функционирования ГИС и отдельных компонентов.

Сформирована модель геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе России.

Проведена верификация метода обработки пространственно-координированных геоданных в ГИС на примере задачи прогнозирования ледовой обстановки в акваториях Северного морского пути. Проанализированы результаты апробации, разработанной ГИС.

В **заключении** обосновываются выводы и предложения, вытекающие из результатов диссертационной работы, определены будущие направления дальнейших исследований.

Глава 1. Анализ обстановки и разработка требований к геоинформационному управлению навигацией в Арктическом регионе России

Процесс формирования модели ГИС управления навигацией (МГИСУН) в Арктическом регионе России на основе прогнозирования ДДЗ, требует тщательного и детального изучения всех составляющих исследуемой области. Формирование модели должно включать как ряд теоретических аспектов и объемную базу знаний, так и непосредственно практическую часть разработки самой модели на основе математического аппарата, включая раздел апробации, сформированной ГИС, с учетом реальных статистических данных. Рассмотрим теоретические аспекты исследуемой предметной области.

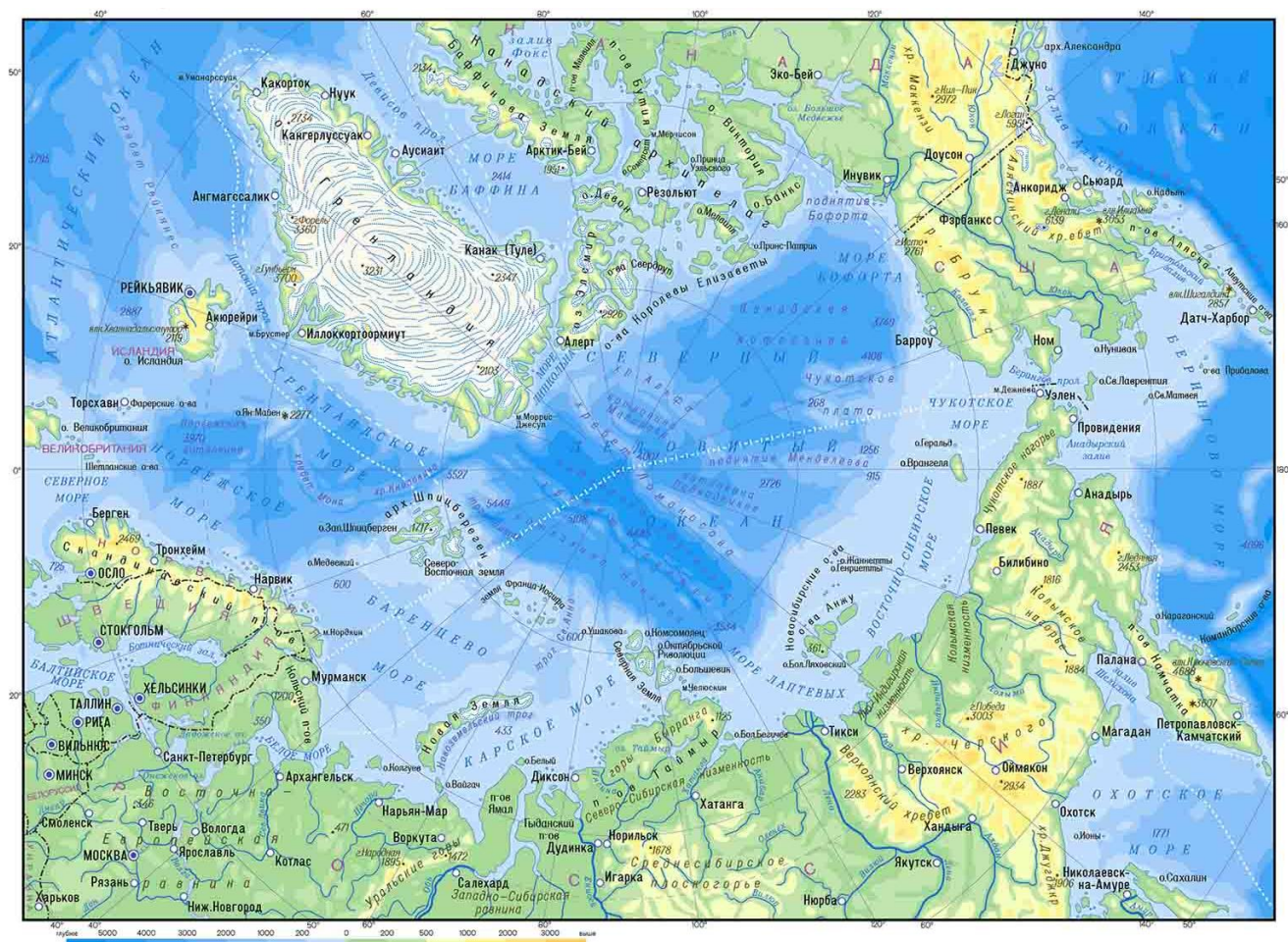


Рисунок 1. Территориальная карта. Северный Ледовитый океан и Арктика

1.1 Анализ геополитической обстановки Арктического региона России

Арктика является уникальным регионом на Земле, связывающая между собой ряд государств, территория которой в полтора раза больше Российской Федерации. Приблизительная площадь Арктики равна 21 миллиону квадратных километров. К арктической зоне относятся

северные части Тихого и Атлантического океанов, Северный Ледовитый океан с окружающими его морями (Гренландское, Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно – Сибирское, Чукотское, Бофорта, Баффина), островами и рядом архипелагов (Канадский Арктический архипелаг, Гренландия, Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля, Новосибирские острова, остров Врангеля), а также граничащие территории таких государств как Россия, США, Канада, Норвегия, Дания (рисунок 1). Первые упоминания исследований и экспедиций по изучению арктического региона датируются практически тысяча летней давностью. Более значимые экспедиции получили начало с середины семнадцатого века, после чего, арктический регион по сегодняшний день, непрерывно развивается во всех направлениях сфер деятельности.

В последние десятилетия Арктика является пристальным объектом многих государств, как граничащих непосредственно с регионом, так и странами претендующие на определенные части. Стоит отметить, что морская акватория является свободной экономической зоной, то есть не принадлежит ни одному из государств. Каждая страна имеет экономический контроль в пределах 200 миль от своей береговой границы. Как ранее упомянуто несмотря на то, что по настоящее время общепризнанной границы Арктика не имеет, регион условно делится на 5 секторов, каждый из которых, согласно международной конвенции по морскому праву, закрепляется за 5 странами (рисунок 2). Государственные границы проходят по внешнему пределу территориальных вод приполярных государств, который определен в 12 морских миль. Отсчет проводится от линии наибольшего отлива как на материке, так и на островах, принадлежащих государству, или от прямых исходных линий, соединяющих точки, географические координаты которых утверждаются правительствами [5].

По мнению российских ученых исчерпывающими основаниями для определения границ Арктики являются несколько взаимосвязанных междисциплинарных подходов [4].

Тем не менее, на данный момент, не смотря на все точки зрения, принято считать, что Арктическая зона содержит в себе территории, а также континентальный шельф (не мало важный аргумент) и экономические районы восьми государств, которые можно классифицировать по географическому положению как российскую, североамериканскую и западноевропейскую часть. Это государства – США, Канада, Россия, Исландия, Норвегия, Швеция, Дания, Финляндия [6, 7].

Если говорить об Арктическом секторе Российской Федерации, то выделяется ряд положений. Согласно указу президента от 2 мая 2014 года о "О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации", указу от 27 июня 2017 года, а также с изменениями в указе от 5 марта 2020, сектор страны включает:

- Мурманскую область;
- Ненецкий автономный округ;
- Чукотский автономный округ;

- Ямало-Ненецкий автономный округ;
- Муниципальное образование городского округа "Воркута" (Республика Коми);

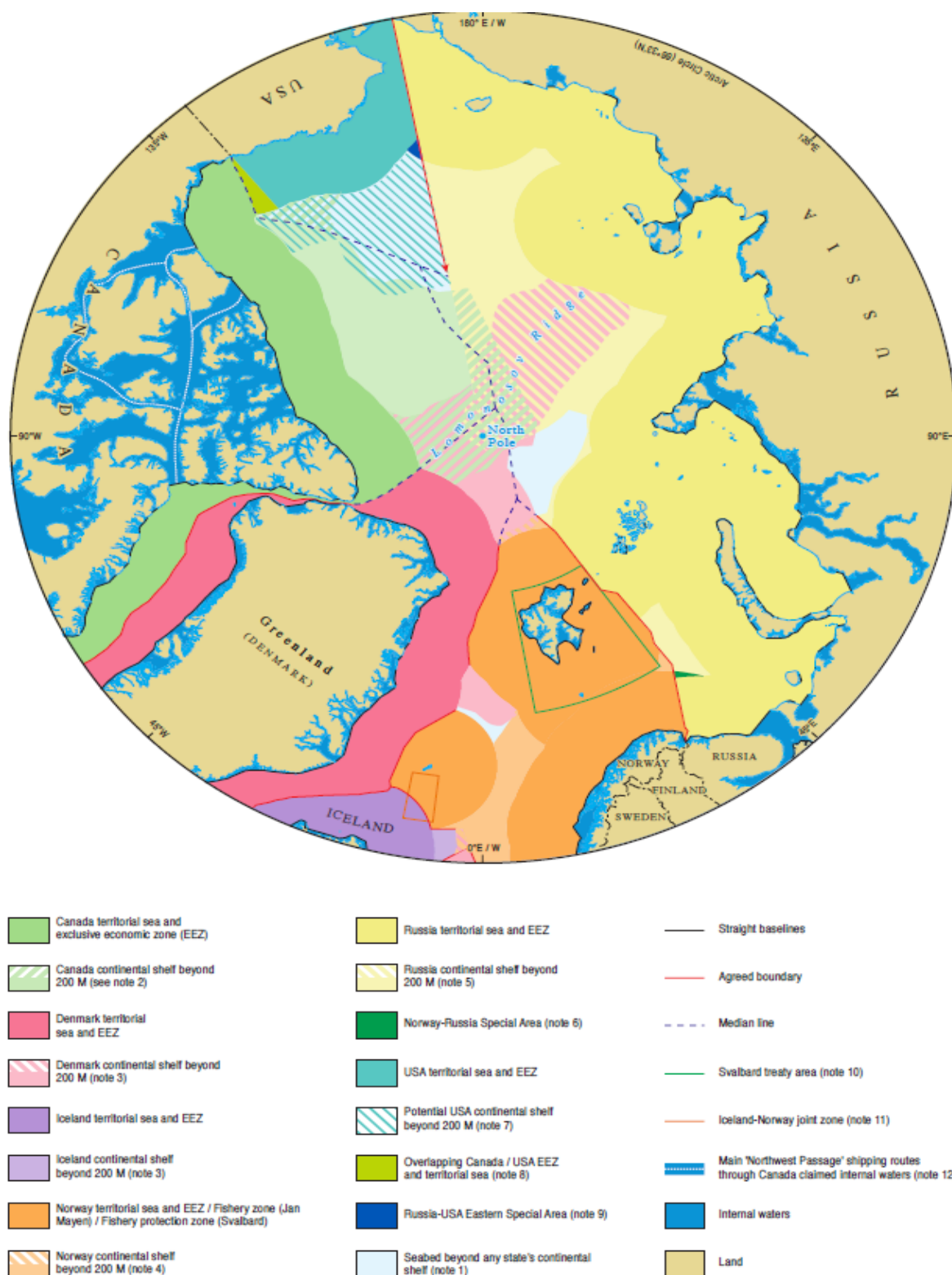


Рисунок 2. Морская юрисдикция и границы в Арктическом регионе

- Территории Абыйского улуса (района), Аллаиховского улуса, Анабарского национального (Долгано-Эвенкийского) улуса, Булунского улуса, Верхнеколымского улуса (района), Верхоянского района, Жиганского национального эвенкийского района, Момского

района, Нижнеколымского района, Оленекского эвенкийского национального района, Среднеколымского улуса (района), Усть-Янского улуса (района), Эвено-Бытантайского национального улуса (района) (Республика Саха (Якутия));

– Территории городского округа города Норильска, Таймырского (Долгано-Ненецкого) муниципального района, Туруханского района (Красноярский Край);

– Территории муниципальных образований "город Архангельск", "Мезенский муниципальный район", "Новая Земля", "Город Новодвинск", "Онежский муниципальный район", "Приморский муниципальный район", "Северодвинск" (Архангельская область);

– Земли и острова, расположенные в Северном Ледовитом океане, некоторые улусы Якутии. Эти географические объекты были объявлены территорией Советского Союза Постановлением Президиума ЦИК СССР от 15 апреля 1926 года;

– Беломорский, Лоухский, Кемский муниципальные районы Республики Карелия.

– Площадь владений РФ оценивается порядка в 3 млн км², что составляет 18% от всей территории РФ, в том числе 2,2 млн км² суши, где проживает около 2,4 млн человек (менее 2% населения страны и около 40% от общего населения всей Арктики).

Приоритетные направления устойчивого развития Арктической зоны

Наиболее приоритетными интересами Арктики считаются добыча полезных ископаемых и использование природных ресурсов, а также транспортная навигация, в частности по морским артериям – коридорам.

Особенности климатической и гидрометеорологической обстановки заставляют дополнительно делить интересы государств по отношению к территориям Арктики, так как для ведения деятельности в арктической зоне необходимо иметь обособленные возможности, которыми не все страны обладают. Можно утверждать, что это вопрос времени, но на данный момент соперничать с природой получается не во всех областях. На рисунке 3 представлен анализ данных, проведенный Дойче Банком, с целью демонстрации возможной привлекательности государств к арктическим секторам.

Как видно из представленного анализа, наиболее благоприятные условия ведения деятельности в арктических регионах имеют два государства – Россия и США. Это говорит о том, что большая часть экономически выгодных ресурсов будет условно поделена между данными странами. Несомненно, ряд других претендующих стран на арктические ресурсы сохранится, но ведущие объемы достанутся именно США и России.

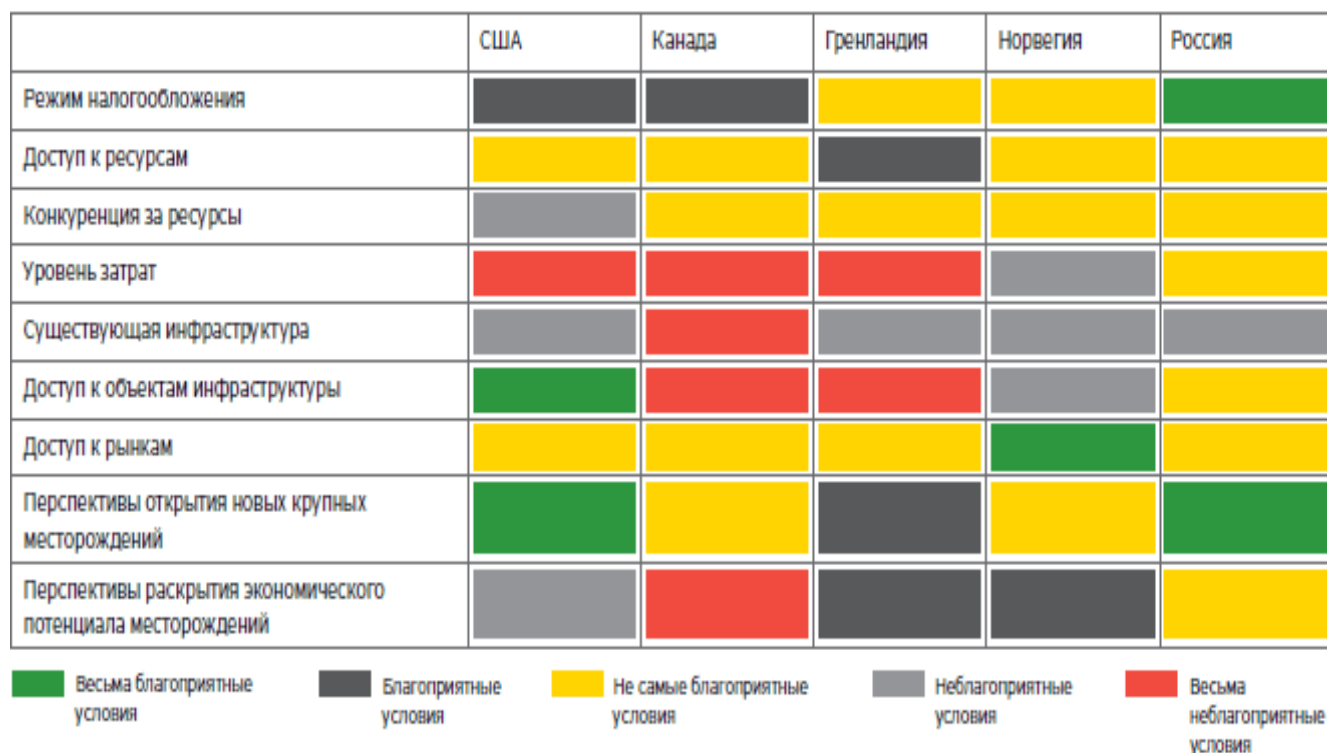


Рисунок 3. Анализ данных возможностей освоения арктических регионов

Рассмотрим статистические данные, касающиеся природных ценностей Арктики, указывающие на целесообразность многолетних споров и борьбы за арктические территории, как и в целом интереса к самому региону:

– *Минеральные ресурсы*

По мере таяния арктического льда и освоения новых технологий обширные природные и минеральные ресурсы региона стали более доступными. Наибольший интерес мирового сообщества представляют редкоземельные элементы, играющие важнейшую роль в переходе к цифровой и низкоуглеродной экономике [8]. Согласно анализу источников [11, 12], в таблице 1 приведены данные по распределению минеральных ресурсов относительно территорий ряда государств.

Таблица 1 – Данные по минеральным ресурсам на территориях Арктики

Государство	Минеральный ресурс
Дания	Золото, молибден, никель, элементы платиновой группы, редкоземельные металлы (тантал, ниобий)
Канада	Алмазы, золото, гипс, железная руда, свинец, уран, цинк
США	Цинк (67 млн т), свинец (67,6 млн т)

Продолжение таблицы 1 – Данные по минеральным ресурсам на территориях Арктики

Швеция	Железная руда (2413 млн т)
Норвегия	Железная руда (1000 млн т)
Россия	Апатиты, керамические сырье, уголь, кобальт, медь, алмазы, золото, гипс, железная руда, молибден, никель палладий, платина, серебро, драгоценные камни, редкоземельные металлы, олово, титан, цинк

Приведенные данные не являются конечным. Перечислены наиболее экономически – основополагающие минеральные ресурсы на территории того или иного государства. Исходя из представленных сведений отчетливо складывается понимание о наиболее богатом минералами регионе Арктики, каковым является Россия, именно в данном секторе располагается больший объем и количество разновидностей минеральных ресурсов.

– Энергетические запасы нефти и газа

Вопросы, связанные с воспроизводством минерально-сырьевой базы актуальны как на сегодняшний день, так и на много десятилетий вперед, о чем говорят уже проведенный анализ и прогнозирование будущих территорий залежей нефти и газа. Нефть и газ играют неоспоримую роль как в жизни страны, так и на мировой экономической арене, оказывая влияние на жизни людей. С начала 80-х годов по настоящее, существенно возросло потребление нефти, практически в 2 раза, с 3 млрд. т. до почти 6 млрд. т. в год [15]. Мировая необходимость в освоении энергетических запасов Арктики обусловлена многими факторами от цен на энергоресурсы до восстановления социально-технологической инфраструктуры как Арктического региона в целом, так и в частности для России (модернизация портовых зон СМП).

Существует множество организаций (государственных и частных), которые занимаются активном изучением арктических зон (шельфовые зоны, материковые части и непосредственно ресурсы в мировом океане). Данные организации предоставляют весьма исчерпывающую информацию, по действующим и возможным месторождениям энергетических ресурсов, для дальнейшей обработки. Благодаря одному из таких ресурсов проанализируем действующую обстановку по месторождениям в Арктике (рисунок 4).

Картографический ресурс, снабженный распределенными данными, предоставлен ведущем североевропейским исследовательским центром регионального развития и планирования, учрежденный Советом министров северных стран (Nordregio).

Опираясь на данные Nordregio, имеются как уже действующие или в процессе освоения месторождения, так и возможные территории залежей углеводородов. Согласно изображенным на карте территориям, большую часть таковых занимает Российская Федерация, обособленная область которых находится в акваториях и открытых морях Северного Ледовитого океана.

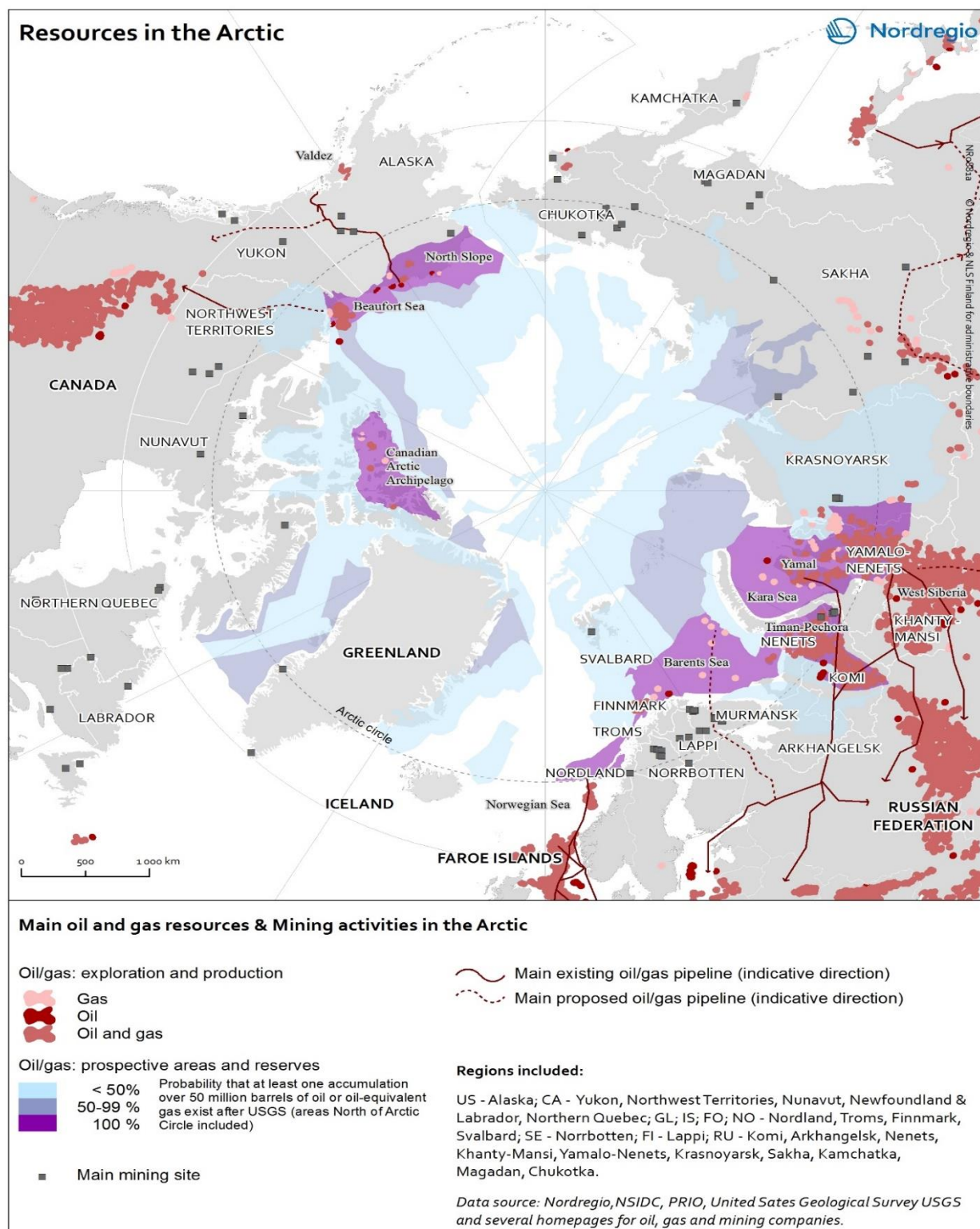


Рисунок 4. Основные месторождения нефти, газа и минеральные ресурсы

Согласно статистике [9; 10] на территории Арктики 13% мировых вероятных запасов нефти и 30% природного газа, половина из которых принадлежит России. Разведанные запасы нефти в регионе составляют 90 млрд баррелей, или 6% мировых. Это эквивалентно 52% запасов Канады, 110% запасов России, 340% запасов США и 1677% запасов Норвегии. Разведанные запасы природного газа в Арктике составляют 1669 трлн куб. футов, или 24% мировых разведанных запасов, что эквивалентно 99% запасов России, 500% запасов США, 2354% запасов Норвегии и 2736% запасов Канады. Более 80% запасов углеводородов находится на шельфе.

Проведем анализ данных энергетических ресурсов, сравним их категоризируя значения относительно стран и видам энергоресурса.

Таблица 2 – Энергетические ресурсы Арктики

Тип ресурса		США		Канада		Россия		Дания		Норвегия		Всего
		Суша	Шельф	Суша	Шельф	Суша	Шельф	Суша	Шельф	Суша	Шельф	
Нефть, млрд. барр.	неоткрытые	9,9	21,9	1,4	11,3	12,6	17,9	0,8	15,3	0,1	4,5	96
	открытые	1,4	0,7	0,4	1,5	4,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,9	10
Всего, млрд. барр.		11,3	22,6	1,8	12,8	17,2	18,4	0,8	15,3	0,1	5,4	106
Природный газ, трлн куб. ф.	неоткрытые	91,3	138,8	11,9	76,5	166,2	977,8	6,2	129,0	1,2	112,2	1712
	открытые	99,7	28,1	12,3	11,1	183,7	177,4	0,0	0,0	0,0	7,9	520
Всего, млрд. барр.		191,0	166,8	24,2	87,5	349,9	1155,3	6,2	129,0	1,2	120,1	2232
Конденсат, млрд барр	неоткрытые	2,4	3,4	0,2	1,3	4,4	23,1	0,4	8,8	0,0	1,0	45
	открытые	0,0	0,7	0,0	0,0	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	2
Всего, млрд. барр.		2,4	4,1	0,2	1,3	5,4	23,6	0,4	8,8	0,0	1,1	47
Ресурсы, всего млрд. барр. н.э.	неоткрытые	27,5	48,4	3,7	25,3	44,7	203,9	2,2	45,8	0,3	24,2	426
	открытые	18,1	6,1	2,4	3,3	36,2	30,6	0,0	0,0	0,0	2,3	99
Всего, млрд. барр. н.э.		45,6	54,5	6,1	28,6	80,9	234,5	2,2	45,8	0,3	25,4	525

Анализируя данные, приведенные в таблице 2, можно с уверенностью заверять, что Россия является лидирующим государством по объему энергетических ресурсов в Арктической зоне. Единственный показатель, по которому из всех стран только США может вести конкурентную гонку – это нефть. Все остальные страны и близко не подходят к показателям, демонстрирующие Российской Федерацией. Важным замечанием является источник предоставления данных (умышленно выбранный, дабы занижить показатели РФ), коим являются американские эксперты из Национального нефтяного Совета (National Petroleum Council), что лишний раз подтверждает ведущую роль РФ в освоении Арктики.

В качестве аргумента несомненного преобладания России над другими странами в арктической зоне рассмотрим статистический прогноз прироста запасов и добычи нефти-газовых энергоресурсов, прирост которых обусловлен разведывательными операциями и открытием новых месторождений начиная с 2011 года (рисунок 5, 6).



Рисунок 6. График прироста ресурсов газа в том числе и добыча



Рисунок 5. График прироста ресурсов нефти в том числе и добыча

Показания графиков наглядно демонстрируют уверенный прирост энергоресурсов в Арктической зоне России. Исходя из данных: за последние 5 лет прирост запасов нефти составляет более 10%, прирост газа в районе 60% от ежегодного прироста нефти и газа РФ.

– Природные и биологические ресурсы

Природные ресурсы Арктики включают в себя следующие составляющие: земляные, водные, лесные, биологические, климатические и рекреационные.

В силу географического положения и суровыми климатическими условиями, Арктический регион подразделяется на несколько природных зон: таежная, лесотундровая, тундровая, тайга, арктические пустыни. Наполнением этих зон, с точки зрения экономического аспекта (основой немалой части арктического региона РФ приходится на лесной промысел), составляют леса хвойных пород (лиственницы, ель, сосна, кедр, пихта), береза, тополя, чозения, густые кустарники (ива, ольха, смородина, малина, шиповник) и другие. Не стоит забывать, что Арктика по большей части является не материковой зоной, а морской и океанической составляющей, преобладающей частью которой являются толщи льда.

На данный момент времени биоресурсы как политико-стратегический фактор отодвинут на второе место, уступая при этом энергетической и минеральной сфере. Тем не менее, для ряда стран, непосредственное влияние на интерес в Арктике оказывают биоресурсы, из которых можно выделить множество уникальных рыб и животных: белый медведь, песец, нарвал, касатка, волки, северные олени, тюлени, морж, белуха, киты. Более 150 видов рыб являются промысловыми: треска, форель, лосось, сельдь, пикша, камбала [13]. Для северных стран рыбный промысел составляет немалую часть экономики государства. Флора и фауна Северного Ледовитого океана насчитывает более 3000 различных видов. Конечно, если говорить о территориальных водах РФ, как о рыбном промысле, то можно сделать вывод, что данная отрасль в располагающих морях менее продуктивна. Наиболее преуспевающие области – моря: Баренцево, Берингово и Охотское. Рыбный промысел испытывает явные трудности [14].

Немало важную роль в природных ресурсах играют водные запасы Арктической зоны.

– Водные ресурсы Арктического региона

Около 23% от территории РФ составляет Арктический регион. Водные ресурсы Арктики содержат более 2,5 млн водоемов, равное 2/3 всех водоемов страны [16], разнообразие из которых представляют реки, озера, бассейны Северного Ледовитого океана. Общая площадь водосборных бассейнов морей Баренцева, Белого, Карского, Лаптевых, Восточно – Сибирского и Чукотского равна 13,286 млн. км² [17].

Именно за Северным полярным кругом сосредоточены гигантские запасы пресной воды на Земле, часть из которых условно зарезервирована в ледяной шапке Арктики, при этом мировой запас воды в количественном соотношении равном 69% содержится во льдах Арктики и

Антарктики – порядка 24 млн км³. Кроме того, водные ресурсы, расположенные в Арктической зоне России, являются стратегически-экономическим объектом. В целом водные запасы Арктики составляют пятую часть мировых запасов пресной воды.

На Рисунке 7 представлен глобальный обзор стран, испытывающих разный уровень водного стресса (соотношение общей пресной воды, ежегодно забираемой всеми основными секторами, включая экологические потребности в воде, до общего количества возобновляемых ресурсов пресной воды, выраженное в процентах).

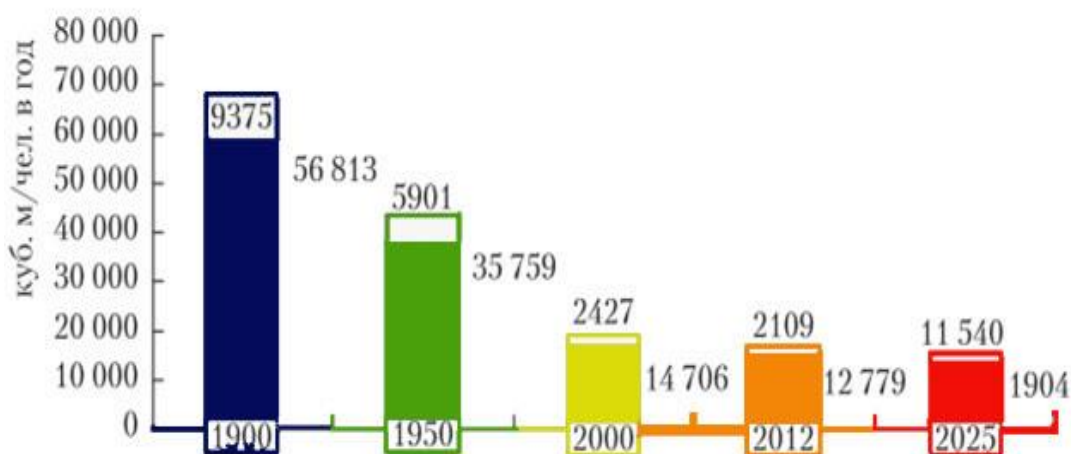


Рисунок 7. Уровень водного стресса в мировых масштабах

Более 2 миллиардов человек живут в странах, испытывающих дефицит воды. Последние оценки показывают, что 31 страна испытывают водный стресс от 25% (который определяется как минимальный порог водного стресса) до 70%. Еще 22 страны имеют более 70% и поэтому испытывают серьезный дефицит воды [19].

По прогнозам, недостаток в пресной воде, в ближайшие пять – семь лет, может коснуться 2/3 населения планеты, при этом стоит учитывать статистический ежегодный прирост человечества на Земле, непосредственно влияющий на составляющую водного ресурса.

На рисунке 8 представлены данные [18] за последние 125 лет по изменению уровня обеспечения пресной водой населения планеты. На графики учтены все источники водных ресурсов. Анализируя представленные фактические данные допустимо утверждать, что с 1980-х годов водопотребление во всем мире увеличивается примерно на 1% в год. Ожидается, что спрос будет продолжать расти такими же темпами до 2050 года, что приведет к увеличению на 20–30% выше текущего уровня водопользования.

Как итог, все имеющиеся данные доказывают необходимость и актуальность развития Арктического региона, исследование ледниковых пород и других водных ресурсов.

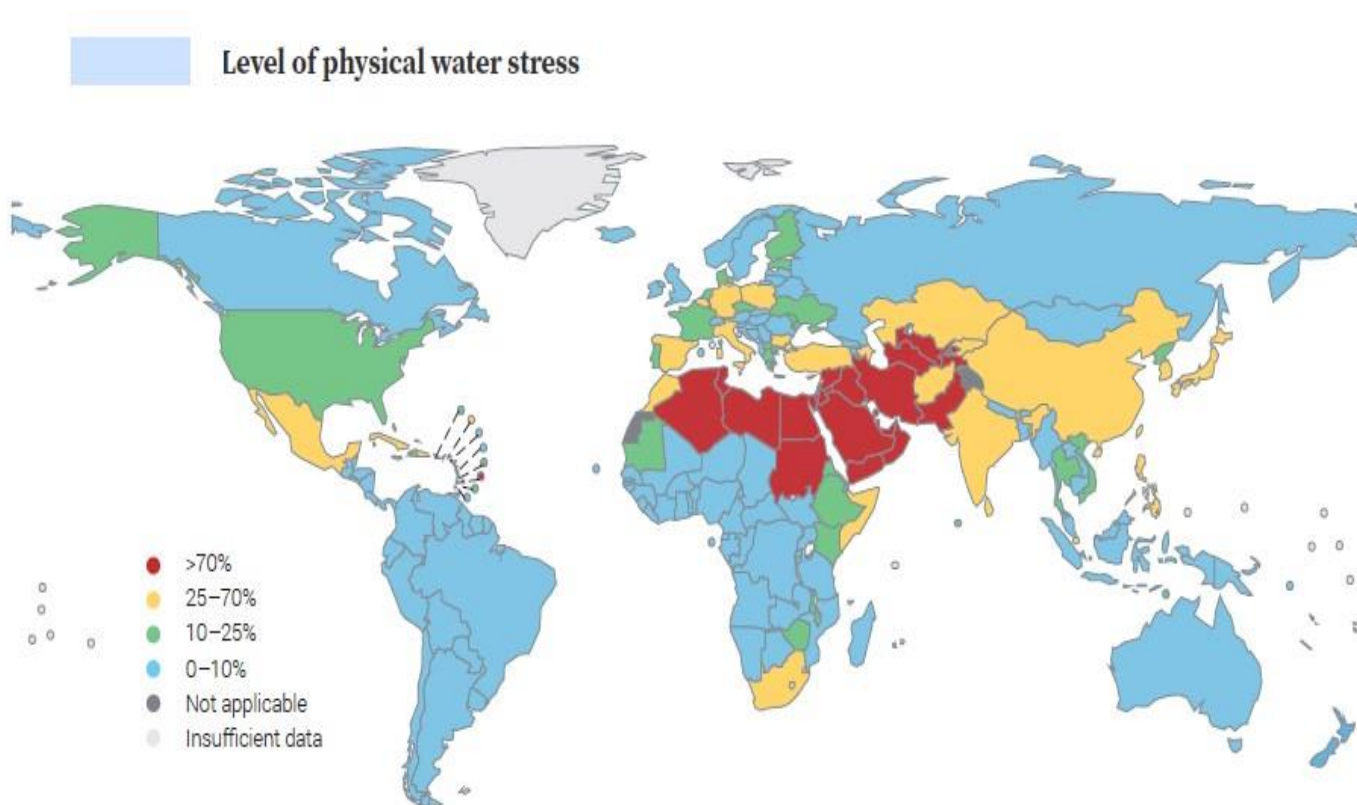


Рисунок 8. Показатели обеспеченности водой населения Земли

1.2 Стратегический план развития Северного морского пути и прибрежных территорий

Транспортно-логистическая система Северного морского пути

Проанализировав Арктику, как один из самых богатых и перспективных регионов Земли относительно природных ресурсов и энергетических запасов, а также учитывая его геополитическую обстановку, возникает не мало важный вопрос: как и каким способом осуществляется транспортная логистика, навигация и доступ к перечисленным в предыдущем разделе ресурсам в арктических зонах Российской Федерации и на международном пространстве?

В регионе ведётся активная деятельность по добыче углеводорода, рыбный промысел, туризм, научно – следовательская работа, а также стоит не забывать о материковой части Арктики. Все сферы деятельности нуждаются в транспортной доступности, как на территории РФ, так и в международных отношениях.

В силу своего географического положения и климатических условий, строительство крупных воздушных портов на арктических территориях не предоставляется возможным несмотря на то, что Арктика имеет свои воздушную магистраль, как подмечено ранее - кроссполярный авиамост (наикротчайший путь между Азией и Северной Америкой).

Большая часть Арктики покрыта льдами и водными ресурсами, будучи являясь международным проводником, разграничивающая страны между собой по соседству в Северном Ледовитом океане. Отсюда напрашивается максимально быстрое и короткое сообщение между странами.

Экономическое развитие Арктики нельзя рассматривать без транспортных артерий, в частности, если рассматривать Арктику как будущий, ведущий экономический (с точки зрения мировых запасов энергетических ресурсов) мировой регион, кем он уже является.

На сегодняшний день существуют две ведущие водные транспортные артерии, соединяющие Западно – Европейскую часть материка и Восточно – Азиатскую (рисунок 9).

Таковыми артериями являются:

- Северный морской путь (СМП);
- «Южный морской путь» – артерии, проходящая через Суэцкий или Панамский каналы.

Несмотря на неоспоримую историческую значимость, водный транспортный путь, проходящий через Суэцкий канал, значительно проигрывает своему конкуренту – СМП.

Приведем обобщенные сравнительные критерии [20] двух мировых артерий на планете:

Северный морской путь:

- Протяженность пути (Мурманск – Япония) – 6010 миль
- Протяженность пути (Роттердам – Азия) – 7610 миль
- Время в пути (Мурманск – Япония) – 18 дней
- Время в пути (Роттердам – Азия) – 23 дня
- Ограничения по габаритам – отсутствует
- Затраты на топливо – 625 тонн мазута (Европа - Япония)
- Затраты на проводку судов – около 380 000\$ + 70 000 (страховка) (из Европы в Азию); 600 000\$ (Норвегия – Япония)
- Стоимость фрахта – 450 000\$
- Затраты на проход судов – отсутствует
- Оснащение судов – специальное, навигация в ледовой обстановке
- Загруженность – отсутствует
- Сезон судоходства – 5 – 6 месяцев в году

Суэцкий канал:

- Протяженность пути (Мурманск – Япония) – 12291 миль
- Протяженность пути (Роттердам – Азия) – 10600 миль
- Время в пути (Мурманск – Япония) – 37 дней
- Время в пути (Роттердам – Азия) – 33 дня

- Ограничения по габаритам – присутствуют
- Затраты на топливо – 875 тонн мазута (Европа - Япония)
- Затраты на проводку судов – около 120 000\$ (страховка от пиратов)
- Затраты на проход судов – около 250 000\$ (из Европы в Азию); 1 000 000\$ (Норвегия – Япония)
- Стоимость фрахта – 700 000\$
- Оснащение судов – отсутствует
- Длина канала – 193 км
- Загруженность – одна из самых загруженных артерий в мире
- Сезон судоходства – круглогодично



Рисунок 9. Сравнение маршрутов – морских артерий из Европы в Азия

Таким образом, рассмотренные данные показывают о превосходстве СМП над использованием в навигации Суэцкого канала. Основными преимуществами являются:

- существенно более короткий путь, тем самым уменьшаются временные затраты и энергоресурсы;
- отсутствует угроза пиратства;
- круглогодичное маршруты в приоритетах на ближайшее будущее;

- малая загрузка маршрутов;
- общая стоимость использования СМП значительно дешевле.

Стоит учитывать, что СМП является не только единичным маршрутом (расстояние – отрезок от пункта А в пункт Б), это сеть маршрутов – транспортных и логистических артерий (рисунок 10) в пределах обозначенных границ, как дополнение имеющий международное сообщение, что доказывают исследования Центра Северной логистики и Северного университета.

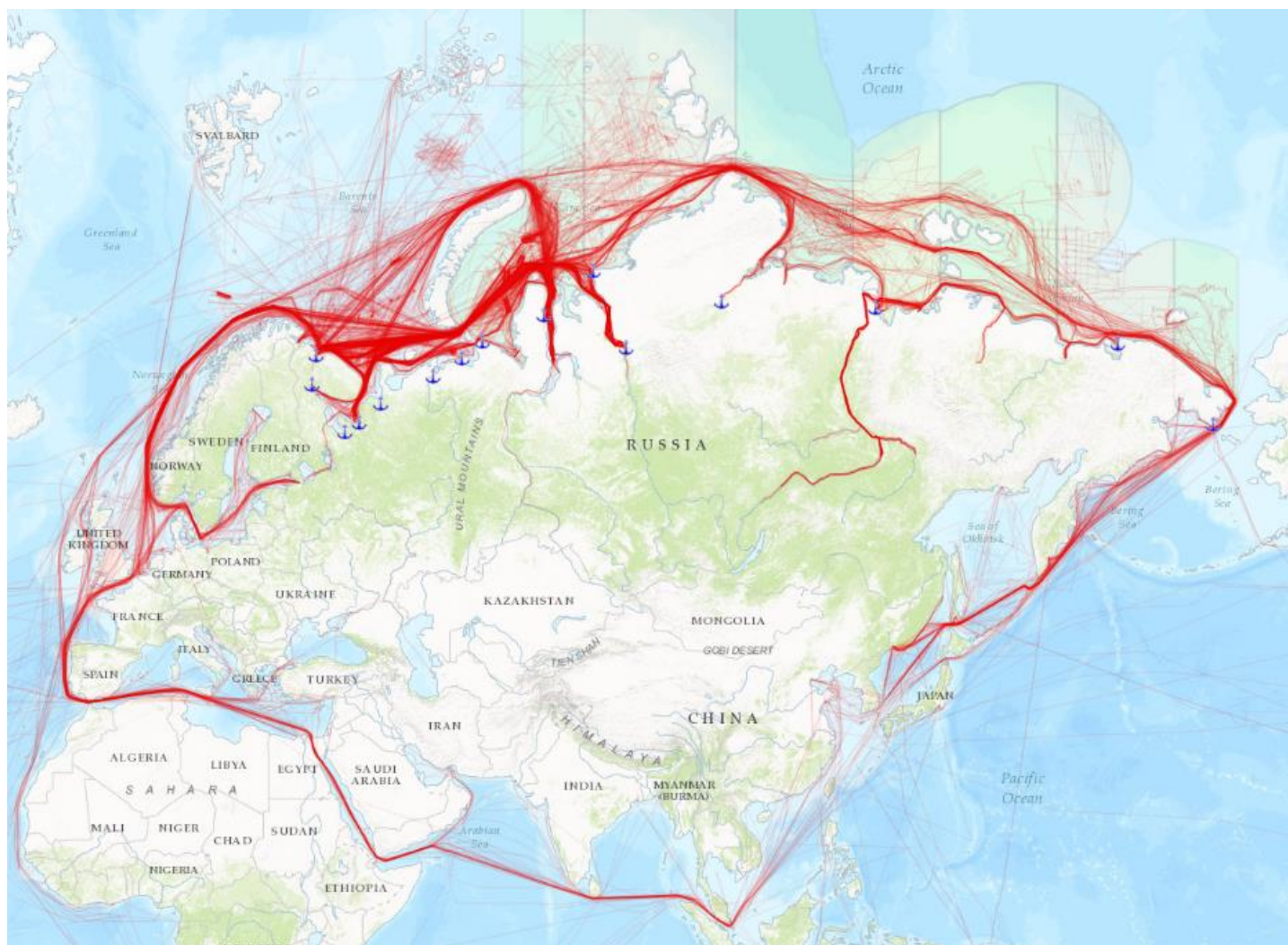


Рисунок 10. Логистические артерии на Северном морском пути

В качестве дополнительных аспектов подчеркнем ряд геополитических особенностей. СМП – это главная судоходная артерия Арктической зоны Российской Федерации, растянувшись между меридианом мыса Желания (на архипелаге Новая Земля) и Беринговым проливом, протяженностью до 3 тысяч морских миль (рисунок 11).

С точки зрения административной организации СМП делиться на:

– Западный сектор Арктики — от Мурманска до Дудинки (обслуживается ледоколами Росатомфлота).

– Восточный сектор Арктики — от Дудинки до Чукотки (обслуживается ледоколами Дальневосточного морского пароходства).

Согласно указу президента РФ, В. В. Путина от 7 мая 2018 года, ежегодные объёмы перевозок по СМП должны достичь 80 млн тонн к 2024 году. В качестве основы роста грузопотока предполагается использовать экспортные поставки угля с Таймыра в Индию.

15 марта 2013 года распоряжением Правительства РФ № 358-р на основании пункта 3 статьи 5.1 Федерального закона от 30 апреля 1999 г. № 81-ФЗ «Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации» для обеспечения безопасности мореплавания и защиты морской среды от загрязнения, в акватории Северного морского пути, было создано Федеральное государственное бюджетное учреждение «Администрация Северного морского пути» (АСМП). АСМП ведет деятельность: по выдаче разрешений навигации в акваториях СМП; проводит мониторинг гидрометеорологической, ледовой и навигационной обстановки на участках Северного морского пути; предоставляет услуги по ледокольной, ледовой лоцманской проводке (выдача удостоверений надлежащего образца); обеспечивает связь с объектами, находящиеся в акватории СМП, предусмотренной Правилами плавания на Северном морском пути.

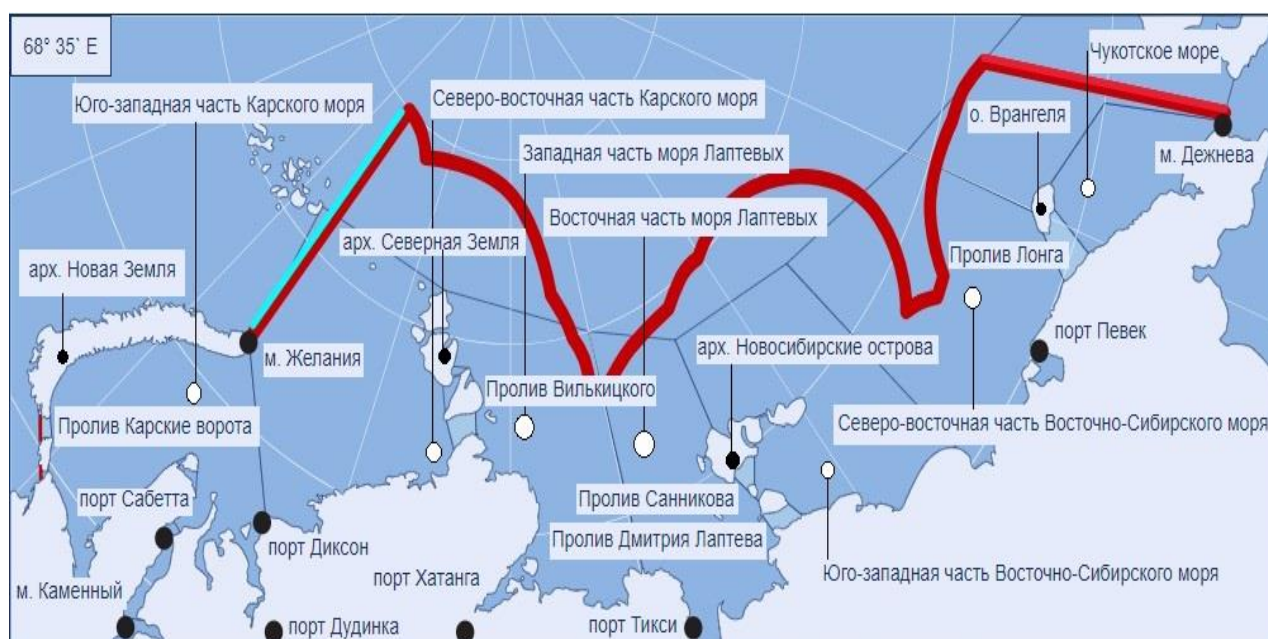


Рисунок 11. Границы Акватории Северного морского пути (граница выделена красной линией)

Столь весомые аргументы достоинств СМП и окружающего его Арктического региона, делают эту уникальную транспортную магистраль ведущим объектом исследования как со стороны непосредственно Российской Федерации, так и мирового окружения в целом.

Именно СМП, а точнее определенный сектор коридора, является одним из главных аспектов затрагиваемый в научном исследовании. Распределенные данные дистанционного

зондирования (ДДЗ), применяемые в МГИСУН, анализируются и обрабатываются исключительно на участке в пределах границ СМП.

Прежде чем приступить к работе с данными, необходимо пояснить целесообразность выбора и использования тех или иных данных. Ранее, поднимался вопрос о критериях, зависящие с МГИСУН в Арктическом регионе. То есть, необходимо выделить основные звенья модели, без которых работоспособность не представляется возможным, либо адекватность и качество модели ставится под вопрос. *Из наиболее актуального перечня критериев можно выделить:*

- влияния на навигацию, тесно связанное с гидрометеорологической обстановкой;
- непосредственно гидрометеорологическая обстановка;
- существующие модели и методы гидрометеорологического прогнозирования;
- действующие геоинформационные системы относительно поставленной задачи;
- модели обработки гидрометеорологических ДДЗ;
- известные математические аппараты в целях исследования;
- пакеты прикладного программного обеспечения, применяемые при разработке, анализах и оценке в соответствующей области;
- детальное описание рассматриваемого участка СМП.

Перечисленные критерии требуют тщательного рассмотрения, дальнейшего анализа и апробации.

Анализ навигационных критериев, влияющих на инфраструктуру СМП

Динамические объекты, перемещающиеся в Арктической зоне, постоянно подвергаются большому количеству рисков и опасностей. Непосредственная удаленность полярных районов (территории, располагающиеся за границей северного полярного круга) и отдельных арктических регионов делает спасательные миссии, а также ряд операций по ликвидации последствий экологических бедствий, чрезвычайно затруднительным и дорогостоящими, порой не всегда возможными.

Основными целями гидрометеорологического обеспечения, как часть навигационной составляющей, являются [106]:

- обеспечение морской деятельности информацией и прогнозами;
- предупреждение об проявлениях опасных и неблагоприятных условий (ОЯ и НЯ);
- обеспечение к доступу с данными по Мировому океану, с целью предоставления потребителям высококачественных данных и прогностической продукции;

Определение обеспечения обобщённой безопасности мореплавания в полярных водах,

пожалуй, является главным критерием, главной скрытой задачей всего исследования. Допустимо утверждать, что любые существующие и разрабатываемые модели, методики и системы (в том числе ГИС) по арктической навигации, в конечном итоге нацелены на безопасность, ведь если не обеспечить соответствующую защищённость мореплавания, то навигация становится невозможной. Именно по этой первостепенной причине совершенствуются технологии ГИС.

Существуют основополагающие факторы, от которых прослеживается явная зависимость мореплавания в полярных регионах, к таким относятся:

- гидрометеорологическая обстановка;
- обеспеченность надежными морскими картами на основе навигационно-гидрографических данных (обеспеченность выполнения соответствующих функций в высоких широтах, в районах с ограниченной инфраструктурой);
- обеспеченность системами связи и другими средствами навигационного назначения;
- экологическая обстановка на маршруте (загрязнение окружающей среды при должно быть сведено до минимума посредством подбора оборудования и хорошей морской практики);
- отдельного рассмотрения требует фактор (пожалуй, единственный наиболее серьезный фактор в полярном плавании) ледовой обстановки на пути следования судна;
- человеческий фактор (наличие на перемещающихся объектах специального обученного персонала, в частности ледового штурмана - Ice Navigator);
- особые требования к динамическим объектам (соответствие системе классов: полярный, балтийский, ASPPR, Российский регистр);
- аварийно-спасательная готовность;
- инфраструктура СМП на маршруте следования (основной элемент инфраструктуры – атомный ледокольный флот);
- всесторонняя законодательная база и нормативно-правовое регулирование;

К отдельным условиям мореплавания судов стоит отнести сезонную зависимость территориальных вод по отношению к ледокольной и ледово лоцманской проводке (рисунок 12).

На рисунке 12 изображен схематический анализ районов доступный для плавания ледоколов в тот или иной период года. Красной линией выделена область плавания атомных ледоколов, желтой – дизель-электрических; с левой стороны – летний период, справа – зимний соответственно.

Анализирую все перечисленные аспекты, не вдаваясь в терминологию, выделяется ряд взаимосвязанных факторов, которые можно представить в виде некоторой ведомой совокупности. *Этой совокупностью являются следующие пункты:*

1. ДДЗ гидрометеорологической обстановки, из которых явно выделяются данные по ледовой обстановке на маршруте;
2. Навигационно-гидрографическое обеспечение, совокупность, зависящая от пункта 1;
3. Классифицированность судна, также прослеживается зависимость от пункта 1.

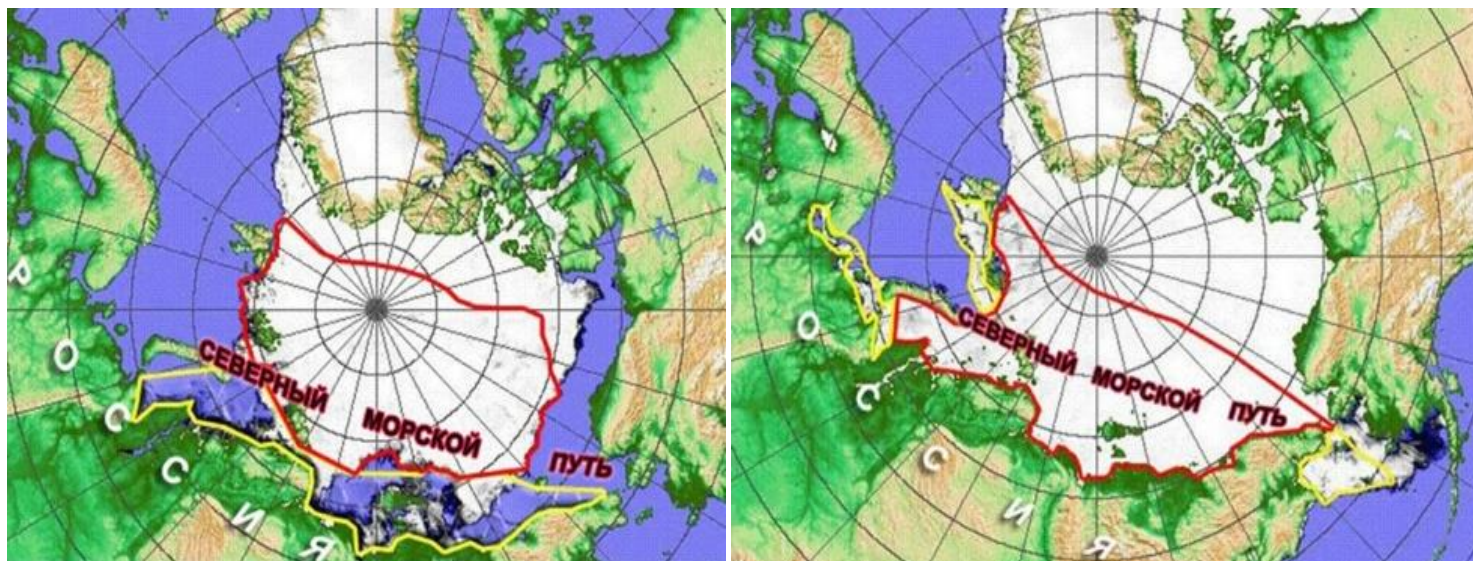


Рисунок 12. Доступные районы плавания различных типов ледоколов в зависимости от сезонности

Именно эти три совокупности являются первостепенной особенностью, которую необходимо учитывать в арктическом мореплавании. При этом прослеживается зависимость всех особенностей от одной – ДДЗ гидрометеорологической обстановки [93].

Активное участие во взаимодействии навигации в арктических регионах (в частности, на артериях СМП) предоставляет администрация СМП. Помимо упомянутых выше полномочий, АСМП тесно сотрудничает с ведущими Российскими и зарубежными научными институтами в области исследования Арктики, среди которых выделяется государственный научный центр Российской Федерации «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ААНИИ).

ААНИИ является одной из ведущих организаций по исследованию Арктики. Что не мало важно, ААНИИ занимается обработкой предоставления как фактических данных гидрометеорологической обстановки, так и прогнозируемых данных, в том числе долгосрочные прогнозы.

Существует ряд исключений, например, корабли военного назначения. В связи со спецификой, военные корабли получают информацию по закрытым каналам, так как местонахождение таковых является стратегически секретной информацией. Подобного рода объекты обслуживают специализированные организации, тем не менее сотрудничающие с ведущими научно-исследовательскими институтами в особом режиме, в частности с ААНИИ.

В большинстве случаев, открытые обработанные (структурированные) гидрометеорологические данные (в том числе картографические) на ресурсах обеспеченные ААНИИ представлены в визуальной форме с определенным уровнем слоев (картография, точки, векторы, показатели льда, территориальные и географические показатели).

В целях исследования будут учтены данные лаборатории ААНИИ, которые помогут провести прогностический анализ (сравнение двух прогнозов, работа с исходными данными института), получить актуальную и архивную информацию о наличии и отсутствии ледовой обстановки в необходимом районе исследования, а также ряд других не мало важных данных.

Проанализировав область полярного мореплавания, очевидно, что в существующей системе обеспечения гидрометеорологическими и навигационными данными, в том числе и прогностическими, имеется множество недостатков и изъянов, в свою очередь, влияющие на безопасность прохождения маршрута, скорость движения объектов, экологическую обстановку, а также на развитие инфраструктуры СМП. Данные критерии негативно влияют на будущее транспортных артерии и, несомненно, требуют научных нововведений.

1.3 Типовая структура современных географических информационных систем

Как несколько веков назад, так и в современное время морскую навигацию невозможно представить без картографических методов. Разница во времени обуславливается лишь представлением той или иной информации (картографии). Если в прошлые века использование термина картография означало его прямое определение, то есть от греческого *χάρτης* «бумага из папируса» + *γράφειν* «рисовать» [45], что в простом понимании трактуется как проектирование, изучение, использование географических карт на бумажном носителе, то в настоящее время основная деятельность картографии вдется в цифровом виде на электронных носителях посредством ЭВМ. Согласно Международной картографической организации, определение картографии – это наука о картах как особом способе изображения действительности их создание и использование. По сути, географическая карта – это модель земной поверхности с определенными объектами, в дальнейшем верифицированы для анализа.

Обуславливаясь современным уровнем развития технологий, картография получила новый механизм или инструмент реализации в цифровом виде. В качестве непосредственного представления цифровой картографии на ЭВМ используются Автоматизированные картографические системы (АКС), разработанные на базе специального направления программного обеспечения (ПО). АКС – производственный и/или научно-исследовательский комплекс автоматических картографических приборов, компьютерных технологий, программных средств, логико-математическое моделирование, функционирующих как единая

система с целью создания и использования карт и других картографических произведений [47]. Примерами таких систем являются: Intergraph MGE, ESRI ArcGIS, GeoMedia, Панорама, Mapinfo и ряд других. Несомненно, большая часть перечисленного ПО также относится к категории геоинформационных систем. Между ГИС и АКС существуют очень тонкая грань, а если точнее – взаимосвязь. АКС – ядро любой ГИС. АКС состоит из ряда подсистем ввода\вывода и обработки информации.

Анализ научных трудов [46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53] показывает, что на сегодняшний день узкоспециализированной области картографии практически не существует. Методы картографии применяются в более универсальных моделях, таких как ГИС.

Из источников [46, 47, 51, 54, 55] следует, что географические информационные системы (ГИС) – особые автоматизированные системы сбора, систематизации, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информацией о необходимых объектах. Основополагающая ГИС есть геосистема, то есть некое физико-географическое образование от географической оболочки планеты. Обобщая, ГИС – это комплекс автоматизированных программно-аппаратных средств (в том числе распределенных БД и СУБД), используемые с целью сбора, анализа, хранения, обработки, отображения, передачи пространственно-географических координированных данных, для дальнейшей визуализации и моделирования картографической информации с помощью человека или ЭВМ. При этом некая технологическая основа, на которой разрабатываются и реализуются географические информационные системы, со всеми присущими функциями, именуется как ГИС-технология.

Исходя из термина ГИС, одной из составляющих является понятие информационной системы (ИС). Действительно ИС является базовой сердцевиной, на основе которой строится будущая географическая модель. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 года № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» даёт следующее определение: «информационная система — совокупность содержащейся в базах данных информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий и технических средств». Классифицирует же ИС по ряду признаков:

- по архитектуре: настольные (desktop) – все компоненты устанавливается на локальное автоматизированное рабочее место (АРМ); распределённые (distributed) – компоненты базируются на разных (возможно географически территориально рассредоточенных) АРМ, при этом используется технологии архитектур «файл-сервер» и «клиент-сервер».

- по сфере применения: экономические ИС (управление предприятием); медицинские ИС (лечебные учреждения); географические ИС, научные ИС (АСНИ); ИС САПР; и другие.

– по уровню автоматизации: ручные – обработка информации производится человеком; автоматизированные – обработка информации производится частично ЭВМ; автоматические – все процессы обеспечиваются ЭВМ и сопутствующими электронными средствами.

Для дальнейшего сопоставления ИС и ГИС рассмотрим предложенную [57] структуру ИС (рисунок 13). Как видно ИС состоит из множества сопряженных компонентов. Анализируя позже структуру ГИС, будет прослеживаться равенство между двумя декомпозициями, в связи с чем более подробное описание сделаем при рассмотрении последней.

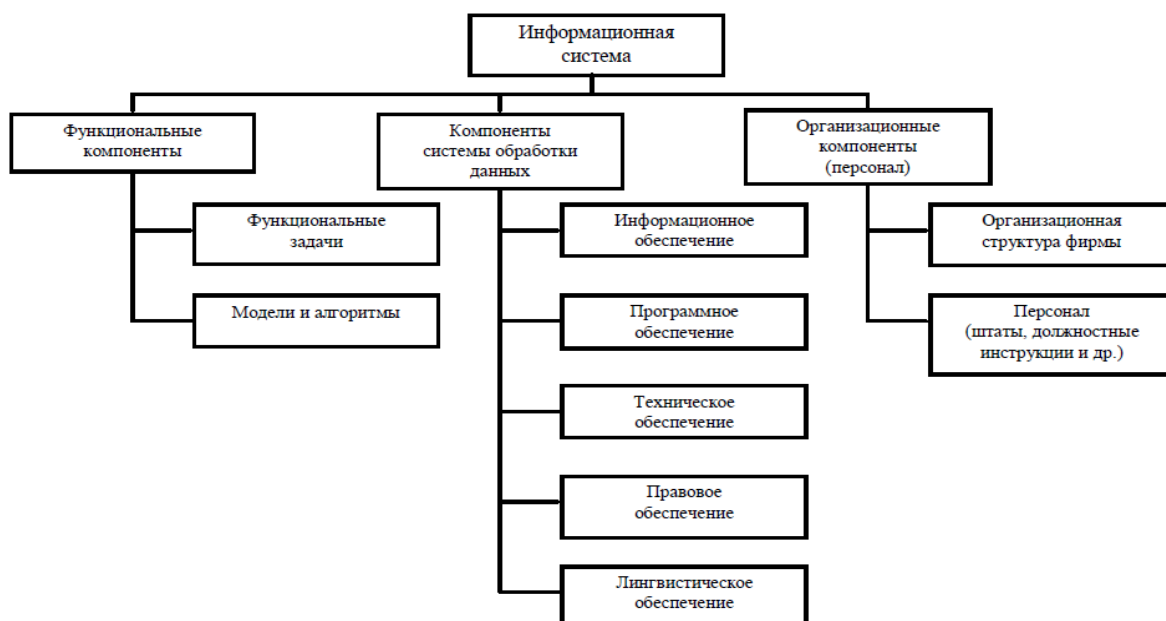


Рисунок 13. Структурная модель обобщенной ИС

В целом, определений понятия ГИС существует большое множество, но все они имеют общий базовый корень – работа с БД, картография, пространственно-координатное представление, визуализация данных. Опираясь на данное определение, возникает вопрос – почему нельзя использовать графические редакторы, которые достаточно хорошо работают с распределенными данными, имеют широкий спектр визуализации и многие другие механизмы, даже такие, которых лишены передовые ГИС. Ответ достаточно прост! Да, действительно современные графические редакторы, как растровые, так и векторные имеют широкий функционал, но есть ряд проблем, опишем. Представьте, что, воспользовавшись любым редактором вы получаете допустим схематическую визуализацию улицы (разработка будущего плана улицы). Затем складывается понимание того, что на эта улица должны быть нанесена на определенную область – район, город, территорию, причем эти данные из совершенного другого источника. Подобного рода операция требует совмещения двух визуализированных источников данных в одной плоскости. Для этого потребуется единое координатное пространство, на которое в дальнейшем будут наноситься объекты атрибуты и тому подобное. Если к существующей модели добавить систему запросов, скажем отобразить на улице только кирпичные дома

определённой высоты, то подобного рода задачи в совокупности сформируют ГИС, в свою очередь графические редакторы лишены столь узконаправленного функционала.

Параллельно с появлением и становлением новой области картографирования, зарождалась новое направление науки – геоинформатика. Определений геоинформатики, как и ГИС существует множество, одно из них [54, 64] – наука, технология и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем; разработке геоинформационных технологий; прикладным аспектам или приложениям ГИС для практических или геонаучных целей.

Синтез типовой структуры геоинформационной системы

В целях разработки новой ГИС необходимо проанализировать базовые компоненты и функции классических ГИС, а также выявить проблемные элементы, недостатки как аппаратной, так и программной части. Немаловажным аспектом анализа является взаимосвязь интегрируемых данных, дальнейшая обработка и вывод результата – визуализированных данных, с дальнейшей возможностью выгрузки статистической информации. Проведем анализ структурно-функциональных возможностей и выявим актуальность применимости к поставленным задачам в исследование.

Построим типовую структурная модель ГИС (рисунок 14), состоящая из ряда подсистем и базовых модулей. *В состав системы функционирования [58, 61] входят:*

- модуль управления базами данных (служит для организации хранения и обновления баз данных с помощью систем управления, при этом СУБД позволяет хранить географические данные в структурированной форме, что помогает решать множество проблем);
- блоки накопления и обработки (создание целостного информационного цифрового образа исследуемого объекта или явления на основе преобразования графической информации в цифровой вид и ввода ее в ЭВМ);
- блок анализа (манипулирования пространственными и семантическими данными, осуществляемых при отработке пользовательских запросов, например: поиск данных в памяти; установление размерности отдельных исследуемых областей; проведение логических операций над данными территориальных единиц исследуемого региона; статистические расчеты; специальные математические расчеты в соответствии с требованиями пользователя).

В составе подсистемы функционирования содержатся такие элементы как:

- информационный блок (обработка всей информационной области, циркулирующая по ГИС, а также служит основой информационной связи с внешней средой);

- математический блок (методы, методики, алгоритмы обработки пространственных данных);
- лингвистический (включает совокупность формализованных языковых средств и средств управления ГИС, обеспечивающих взаимодействие ее подсистем и оператора);
- блок технического обеспечения (совокупность технических средств, направленных на обработку, хранение, передачу картографической информации).

Подсистема функционирования является одним из важных звеньев в работе ГИС, в свою очередь обеспечивающая связь и циркуляцию между всеми потоками данных и информации внутри ИС. Представленная типовая схема ГИС имеет незначительно модифицированную форму. Причиной тому является технологический прогресс и доступность новых аппаратных и программных средства рядовому пользователю.

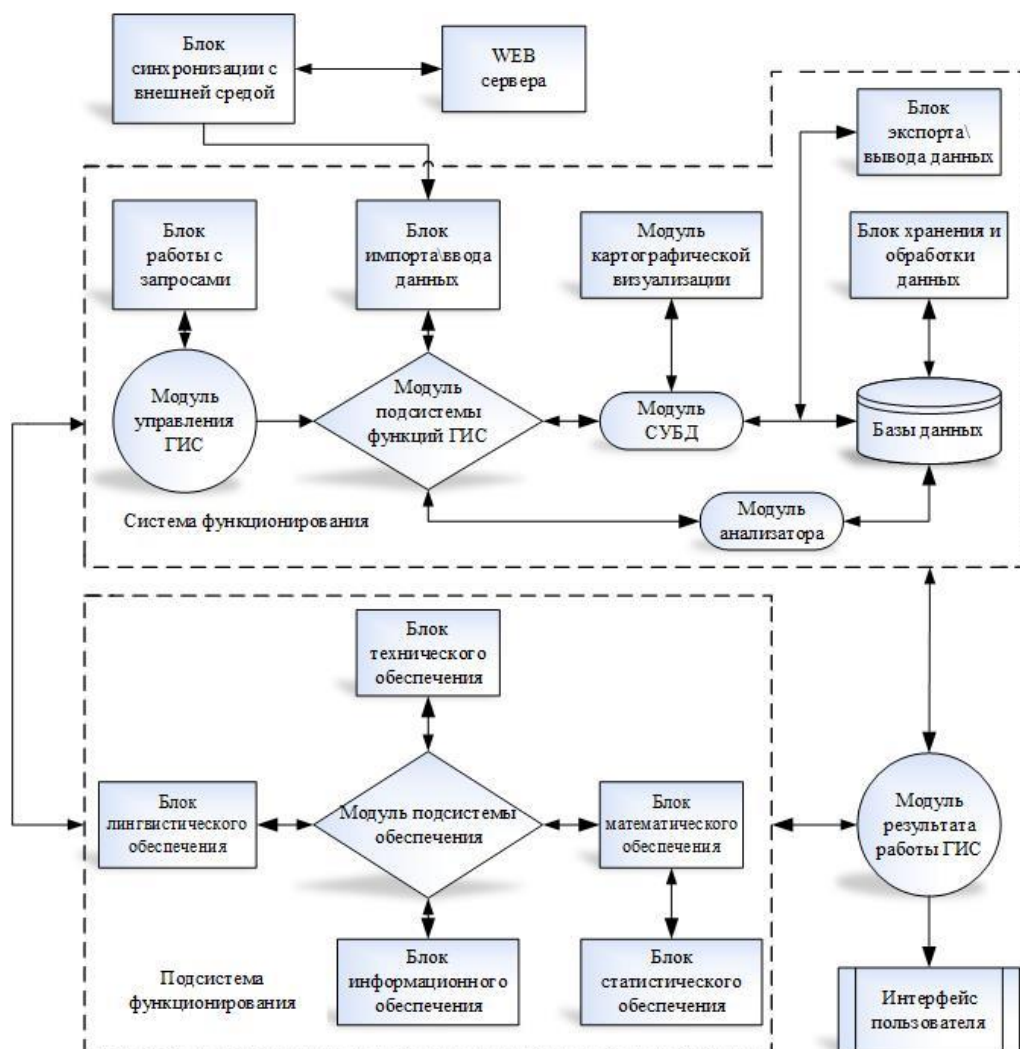


Рисунок 14. Типовая структура геоинформационной системы

Разобравшись с базовыми аспектами структуры ГИС, проанализируем более детально объекты ИС.

Состав и базовые компоненты ГИС:

- Аппаратные средства (hardware) – ЭВМ, носители хранения информации, устройства ввода и вывода (в том числе периферийные устройства);
- Программные средства (software) – СУБД, средства ввода данных, инструменты работы с пространственными запросами, интуитивно понятный интерфейс взаимодействия со всеми компонентами.
- Данные (data) – один из приоритетных компонентов ГИС, представляющие информацию о пространственном положении (географические данные) и связанные с ними табличные или атрибутивные объекты [57].
- Исполнители, специалист-аналитик, операторы ИС, разработчики, пользователь;
- Методики – зависимость от области применения и конкретизированных задач ГИС.

Обобщенные функции ГИС и сопутствующего ПО [54, 56]:

ввод данных в машинную среду путем импорта из существующих наборов цифровых данных или с помощью оцифровки источников; анализ информации и её визуализация в виде карт; обработка информации, технологиями используемые в системах управления базами данных (СУБД); визуализация графических данных в системах автоматизированного проектирования и машинной графики (САПР); автоматизированное производство карт; пространственный анализ; преобразование данных, включая конвертирование данных из одного формата в другой, трансформацию картографических проекций, изменение систем координат; картометрические операции; оверлейные операции; преобразование пространственных данных; хранение, манипулирование и управление данными во внутренних и внешних базах данных; картометрические операции; средства персональных настроек пользователей.

Пространственно-координированные данные дистанционного зондирования в ГИС

Геоинформационные системы классифицируют по ряду признаков:

По специализации и назначению:

- ГИС общего назначения и информационно-справочные системы;
- ГИС специального назначения – ориентированы на конкретной предметной области (например, ГИС военного назначения);

По территориальному признаку:

- глобальные (информация планетарного характера);
- региональные;
- субконтинентальные и океанические;

- локальные (городско и муниципальное управление);
- общенациональные.

По тематическому характеру:

- географические;
- экологические;
- отраслевые (водных ресурсов, лесопользования, геологические).

По визуализированному представлению данных:

- растровые;
- векторные;
- гибридные (векторно-растровые).

По аппаратной платформе:

- профессиональные ГИС (клиент – серверная архитектура);
- desktop или настольные ГИС (устанавливаются на локальные места для широкого круга пользователей);
- веб – ГИС (взаимодействие с ГИС инструментальным сервером посредством браузеров или «лёгкого ПО»).

По программно-функциональному направлению:

- ГИС-вьюеры (ПО предназначенное только для просмотра, чтения, а также наипростейших картографических операций);
- универсальные ГИС (широко распространяемые ГИС, с большим перечнем функционала, направленные на объемный круг пользователей);
- специального назначения (для решения задач узкого профиля, работа с определенным набором данных);

Неотъемлемым компонентом любой ГИС являются данные и то, как они представляются и взаимодействуют внутри системы. Относительно ГИС, любые объекты реального мира, которые возможно привести к дискретной форме и описать в виде набора геоданных, называют реальные пространственные объекты (Spatial Entity Object) или географические объекты (Geographic Entity) [62]. Все схожие объекты ГИС, именуемые географическими, должны быть представлены в виде пространственных и атрибутивных данных, в совокупности, называемые географическими данными (Geographic data).

Как источник данных, ГИС используют разные технологии получения информации. Наиболее распространёнными источниками данных могут служить: топографические данные (все виды карт), данные дистанционного зондирования (ДДЗ) (топографические снимки со

спутников) и с систем спутникового позиционирования (GPS, Глонасс), измерительные данные, радиолокационная информация), социально-экономические, данные аэросъемки, и другие виды.

ДДЗ являются наиболее важным источником данных для любой современной ГИС [105]. Анализ показывает целесообразность использования, в ходе исследования и достижения поставленных в работе задач, именно подобного рода данные. В нашем случае ДДЗ будут применяться для оценки навигационной обстановки, составления маршрута и в качестве создания тематических слоев, а также актуализации топографических данных.

Географические данные состоят из следующих компонентов:

- географическое положение в пространстве (объекты могут размещаться в 2 – х, 3 – х, 4 – х мерных координатах);
- временная зависимость (определение местоположения и признаков пространственных данных относительно времени);
- атрибуты (свойство, описывающие пространственные объекты);
- пространственные отношения (связь между пространственными объектами).

В качестве цифрового описания пространственных данных (объектов) используют две модели визуального представления: векторная (точки, линии, полигоны), растровая (ячейки, сетки), в дальнейшем сочетающиеся с GRID (геореляционная модель) и TIN (триангуляционная нерегулярная сеть) моделями (рисунок 18). Не исключено, даже можно сказать распространено использование гибридных моделей представления пространственной информации в ГИС.

Векторная модель данных (vector data model) – представление пространственных объектов набором координатных пар, представленная в виде базовых примитивов (отрезки, дуги, точки, линии), в дальнейшем описывающие геометрическую суть объекта в пространстве.

Растровая модель [52] – представление, аппроксимирующее пространственные объекты и их непрерывные географические изменения совокупностью ячеек конечного размера — растром. В машинном понимании, растровые и векторные модели представлю в виде графических форматов: растровые (jpeg, bmp, img, grid, png, tiff, gif, raw и другие); векторные (shp, dwg, dx90, dlg, f1m, sxf, gen, tab, dxf, cdr, ai, fla, svg, cmx, wmf и другие).

Анализируя представление данных в области геоинформационных систем [59, 65, 60], стоит отметить, что общая терминология управления базами данных и системами применима к ГИС технологиям. Именно на фундаментальных законах построения БД строится любая работа с данными и информацией, также данное утверждение применимо к любой ИС.

Интерпретируя данные в ГИС, не мало важным понятием является система координирования этих данных, ведь все импортируемые данные должны быть привязаны друг с другом, особенно учитывая оверлейность модели, к определённой системе координат, а если

говорить о реальных масштабируемых топографических системах, то такая привязка равна привязке к географической системе координат.

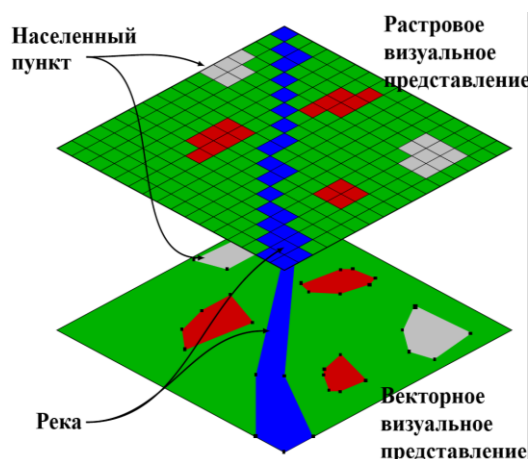


Рисунок 15. Модели визуального представления данных в ГИС

Обозначение геометрической фигуры Земного шара в геодезии и картографии принято называть геоидом. Такой термин представлен немецким физиком И. Листингом. Согласно ГОСТУ РФ, геоид [66] – фигура Земли, образованная уровенной поверхностью, совпадающей с поверхностью Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия и продолженной под материками. Точное понимание параметров геоида позволят вести координатные отсчеты относительно уровня моря. В дальнейшем на базисе геоида появились его модифицированные модели (наиболее известная – референц-эллипсоидная) с более точными параметрами.

Определение географических координат осуществляются по следующему принципу [55]:

Положение любой точки М, лежащей на поверхности земного шара – геоида (рисунок 16), определяется ее географической широтой φ и географической долготой λ , которые получают из астрономических наблюдений. При этом координаты φ λ определяются следующим образом. Пусть МО – отвесная линия (нормаль к уровню поверхности); φ - угол между отвесной линией и плоскостью экватора (на север берется со знаком «+», на юг – со знаком «-»); а λ - двугранный угол между меридианом данной точки М и начальным меридианом (Гринвичским). Счет долготы ведется от Гринвича на 180° на запад со знаком «-», а на восток со знаком «+». P_N , P_S - обозначение точек полюсов, соответственно северного и южного. QQ_1 - линия экватора. Существует ряд других методик определения координат (геодезическая система, система прямоугольных координат, полярная система, зональная и другие) местоположения точек, большинство из которых базируется на описанной.

Так как картографические атрибуты, как и сами карты, требует отображения на плоскости, необходима реализация системы проекций. Картографическая проекция – механизм отображения поверхности эллипсоида (геоид) на плоскости, по средствам математического аппарата.

С математической точки зрения данная зависимость в географической системе выражается двумя уравнениями (уравнения картографической проекции):

$$x = f_1(\varphi, \lambda)$$

$$y = f_2(\varphi, \lambda),$$

где x и y – прямоугольные координаты, φ и λ – координаты точки в географической системе исчисления.

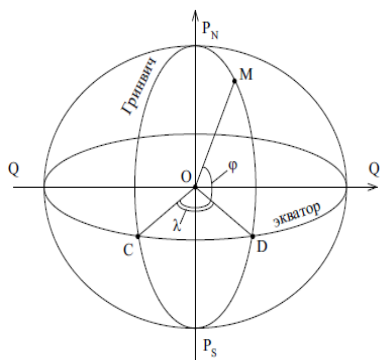


Рисунок 16. Определения положения точки в

Проекции классифицируют по ряду признаков [55, 67]: характер искажений (равноугольные, равновеликие, равнопромежуточные, произвольные проекции); вид ориентировки (нормальные, поперечные, косые проекции); дополнительные поверхности (азимутная, цилиндрическая, коническая проекция); картографическая сетка (азимутальные, конические, цилиндрические); метод использования (многогранные, многополосные).

Исследование основных истоков проектирования и реализации ГИС, помогло реализовать объединение математической модели адаптивной фильтрации, с рядом атрибутов в единой координатной плоскости. В качестве векторно-растровой модели, в МГИСУН используются подгружаемые слои известных ведущих разработчиков ГИС, атрибуты в виде точек и соединяющих их линии составляют отдельный гибридный слой, за счет импорта прогностических данных выбранной математической модели, в конечном итоге синхронизованная известной [55, 74] географической системой координат.

Главный принцип визуализации данных заключается в использовании послойном представлении пространственных данных. Слои имеет много плюсов, главным из которых – это возможность можно формировать в отдельный слой одинаковы типы данных. Отсюда, термин слой – элемент, предназначенный для отображения географических пространственных объектов, относящихся к одной тематике в пределах некоторой территории и в системе координат, общих для набора слоев. Операция обработки набора слоев со своими геоданными называется оверлей. *К оверлейным операциям можно отнести [69]:* определения принадлежности точки полигону; определения принадлежности линии полигону; определения принадлежности полигона полигону; наложения двух полигональных слоев; удаление границ одноименных классов

полигонального слоя с порождением нового слоя; определения линий пересечения объектов; объединения (комбинирования) объектов одного типа; определения точки касания линейного объекта. Одна из востребованных в исследовании операций операций – наложения двух полигональных слоев и объединения объектов одного.

1.4 Требования к геопространственному представлению Арктического региона на основе многопараметрического анализа характеристик геоинформационных систем

Необходимость разработки новой модели ГИС для полярных районов Арктики требует анализа существующих систем. Несмотря на то, что ГИС по платформенному признаку делятся на настольные, аналитические, вьюверы, конструкторы и веб ПО – этот фактор будет упрощен, в силу необходимости поиска ГИС, аналогичной поставленным задачам исследования. В ходе анализа выдвинут ряд критериев – функциональных признаков присущие каждой ГИС. Исследуются следующие типы ИС: ГИС с конструктивно профессиональной ориентацией, либо ГИС специального назначения; содержащие в себе многочисленные функциональные возможности (в частности ГИС – конструкторы); имеющие возможность подключать (методом плагина или штатного механизма) технологии, сопоставимые с целью и задачами настоящего исследования. Так же, системы выбраны по критерию – производитель продукта, исключением является ряд ИС – передовые в представленной линейке. В силу отсутствия широкого функционала, а также необходимого механизма, не рассматриваются массово-известные ГИС общедоступного пользования, такие как: Google map, Google Earth, Yandex карты, 2ГИС, OpenStreetMap и другие.

Определим требования и функциональные возможности, предъявляемые к существующим ГИС, исходя из поставленных задач и цели диссертационного исследования:

1. Прогностическая оценка навигационной обстановки арктической морской зоны.
2. Геомоделирование (в том числе слои мировых океанов), включая составление прогностических карт маршрута, с целью принятия управленческих решений в навигации.
3. Оценка поведения модели ГИС, анализ и обработка с помощью фильтров ЦОС импортируемых ёмких геоданных (многолетние архивные данные).
4. Синхронизация ГИС с распределенными базами и банками геоданных, ведущих мировых научных институтов и организаций.
5. Высокая производительность при использовании минимальных ИТ ресурсов.
6. Интегрирование внешних компонентов к ГИС (источники РБД, ПО, плагины и другое).
7. Гибкая многопараметрическая настройка компонентов ГИС.
8. Работа с ГИС в автономном режиме (без подключения к Глобальной сети).

9. Экспорт обработанных геоданных (в частности прогностические оценки) навигационной обстановки в графическом и табличном виде.

10. Степень удобства использования (usability), понятный графический интерфейс.

11. Взаимодействие с информационными системами безопасности (ИСБ).

Для выявления ИС отвечающей поставленным требованиям, синтезируем в виде матрицы данных сравнительные функции и типы современных ГИС. Для ознакомления с матрицей смотрите ПРИЛОЖЕНИЕ Б настоящей работы.

Синтезировав обширную матрицу сравнительных характеристик, типов и функций современных ГИС, проведем анализ, с целью выявления опциональных возможностей применимых для поставленных задач диссертационного исследования и сопоставим с предъявляемыми требованиями. Результат анализа представлен в таблице 3.

Таблица 3. Многопараметрического анализ характеристик ГИС

№	Степень удовлетворенности предъявляемым требованиям к функциональным возможностям ГИС	Grass	QGIS	GeoDa	ERDAS	uDig	gvSIG	Idrisi	Geomatic	OSSIM	SAGA	JUMP	ILWIS	KOSMO	ESRI ArcGIS	GDAL	Панорама	ГИСИнГео
1.	Прогностическая оценка навигационной обстановки арктической морской зоны	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	-	±	-
2.	Геомоделирование (в том числе слой мировых океанов), включая составление прогностических карт маршрута, с целью принятия управленческих решений.	-	±	±	-	±	±	±	-	-	-	±	-	-	±	-	±	-
3.	Оценка поведения модели ГИС, анализ и обработка с помощью фильтров ЦОС импортируемых ёмких геоданных (архивы БД).	-	±	-	-	±	-	-	±	-	-	±	-	-	±	-	±	-
4.	Синхронизация ГИС с распределенными базами и банками геоданных, ведущих мировых научных институтов и организаций	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.	Высокая производительность при минимальных ИТ ресурсах	-	+	±	±	+	+	-	±	-	±	±	-	-	±	-	±	-
6.	Интегрирование внешних компонентов к ГИС (РБД, ПО и др.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7.	Гибкая многопараметрическая настройка компонентов ГИС	±	+	±	±	+	+	±	±	±	±	±	±	±	+	±	±	-
8.	Работа с ГИС в автономном режиме (без подключения к сети Интернет)	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
9.	Экспорт обработанных геоданных навигационной обстановки в графическом и табличном виде	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
10.	Степень удобства использования (usability), графического интерфейса	±	±	-	-	-	-	±	-	-	-	±	-	-	-	-	±	-
11.	Взаимодействие с ИСБ	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±

В ходе анализа, по мимо представленных ГИС, были рассмотрены ИС (Российского производства), входящие в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных в соответствие с Постановлением Правительства РФ от 16.11.2015 г. № 1236 «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд». Несмотря на то, что качественный анализ Российских ГИС полностью не удалось провести, в силу закрытости систем, тем не менее, удалось ознакомиться с регламентированной документации ПО.

В таблице 3 используются следующие обозначения: знаком «плюс» - обозначается полное соответствие требованиям, знаком «минус» - обозначается отсутствие удовлетворения требованиям, знаком «плюс-минус» - обозначается частичное удовлетворение поставленным требованиям. Все обозначения градируются наглядной цветовой палитрой.

Стоит отметить выделенную синим цветом область требований с 1 по 9 пункт. Данные требования будут удовлетворены в ходе исследования, в части разработки модели ГИС.

Результаты анализа показывают, что на сегодняшнее время не существует ГИС направленной на узкоспециализированное изучение Арктического региона, использующее навигационный функционал формирования маршрутов следования динамических объектов в полярных льдах, в зависимости от прогностических данных гидрометеорологической обстановки на основе ДДЗ. Более того, из представленных ведущих ГИС разработчиков, крайне мало ПО, поддерживающее работу, в базовой комплектации, с мировыми океанами и навигацией в них.

Наиболее актуальные разработчики ГИС, подходящие, как канва, для поставленных задач исследования – это Esri, КБ Панорама, ГИС Метео, Quantum GIS, uDig. Данные разработчики получают заказы на формирования отдельных закрытых ИС, с целью решения определенных задач, в том числе по работе с мировыми океанами. Работа с таким ПО производится в основном по надстраиваемыми, специально разработанными плагинами, либо в специализированной версии. Чаще всего пользуются услугами иностранной Esri (её известным ArcGIS) и отечественной КБ Панорма, которая также получает заказы на разработку ГИС арктического назначения.

Исследовав всевозможные, ГИС и ИС, стоит отметить технологию гидрометеорологического обеспечения морской деятельности в Арктике, в той или иной мере удовлетворяющая потребностям поставленных задач. Таковой системой мореплавания по СМП является «Автоматизированная ледово-информационная система для Арктики» (АЛИСА) или система центр «Север», основным пунктом управления которой является вышеупомянутый научно-исследовательский институт ААНИИ. Система центра «Север» содержит в себе уникальные централизованные данные, позволяющие обеспечивать такой продукцией как:

долгосрочные, краткосрочные метеорологические и ледовые прогнозы по арктическим морям, бюллетени погоды полярных морей и другой немало важной информацией для мореплавания.

На данный момент система «Север» работает как центр ледовой гидрометеорологической информации, как структурное подразделение ААНИИ. Система охватывает Северный Ледовитый океан и устьевые участки северных рек. Основными задачами системы являются регулярный оперативный мониторинг всех видов морской деятельности в Арктике, в том числе судоходства по СМП. Система состоит [72] из четырех подсистем: подсистема импорта гидрометеорологической и ледовой информации (обеспечения за счет зарубежных и отечественных центров); подсистема обработки информации (обеспечение мировыми спутниковыми данными, глобальной сети интернет); подсистема передачи и распространения обработанных данных; подсистема хранения данных (гидрометеорологической и ледовой информации).

В задачи системы «Север» входят [72]: составление заявок в региональные центры на прием спутниковой информации; прием, обработку и архивацию спутниковой информации; прием информации автоматических дрейфующих буев; составление обзорных комплексных ледовых карт по всей акватории Северного Ледовитого океана; составление детализированных ледовых карт по районам проведения морских операций; производство расчетов, разработку среднесрочных и долгосрочных ледовых, метеорологических и гидрологических прогнозов; разработку навигационных рекомендаций руководителям морских операций.

Центр «Север» не представляется как отдельная ГИС, а лишь является общей составляющей структуры ААНИИ. Несомненно, общая базовая структура и функционал ААНИИ как системы, содержат в себе практически все необходимые механизмы исследования. Утверждать, что ИС ААНИИ является геоинформационной – с определённой стороны возможно, если рассматривать по-отдельности разные составляющие системы.

Плюсами системы являются: централизованное импорт\экспорт разнородных данных [79]; максимальная достоверность гидрометеорологической обстановки; уникальность системы в своём классе научных исследований; обширная многофункциональность; анализ качества; взаимодействие с ведущими центрами мира; наличие адаптируемого комплекса мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы для обеспечения морской деятельности в арктических и замерзающих морях России (АКМОН);

Минусы системы: закрытость системы; сложный и мало функциональный интерфейс для рядового пользователя; отсутствие единого интерфейса, как программного обеспечения; опциональная закрытость (доступ к большинству опций и настроек есть только у сотрудников ААНИИ, в том числе прогностического модуля); нет возможности работать с открытой картой (представлены только определенные районы); нет адаптации к мобильным устройствам;

отсутствует возможность автоматизированного расчета навигационного маршрута, опираясь на объемное количество представленных данных (как и в целом, отсутствует функции навигации по арктическим морям); довольно «тяжелая» платформа (с точки зрения ИТ), часть которой находится в веб – интерфейсе (доступной конечному пользователю); низкий процент точности долгосрочных прогнозов; отсутствие возможности импорта данных пользователя; крайне ограниченный набор экспорта данных; и ряд других, не менее важных недостатков.

Несмотря на постоянные обновления существующих ГИС и реализации новых, на сегодняшний день ни одна ГИС из проанализированных систем не отвечает поставленным узкоспециализированным требованиям. Рассматривать функциональные возможности ААНИИ как ГИС инструмента, также не предоставляется возможным в виду ряда недостатков и причин, указанных выше. Таким образом, вопрос о создания новой модели ГИС является актуальным.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

Арктическое пространство Российской Федерации является уникальным ресурсом страны, который закладывает колоссальные перспективы на будущее, при этом не только на международном уровне, но и в планетарных масштабах.

Согласно указа президента РФ В. В. Путина от 26 октября 2020 года № 645 «О стратегии развития арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» в целях социально – экономического развития и обеспечения национальной безопасности в Арктике причислены критерии будущих направлений исследования Арктики. *Основными факторами, влияющие на достижение поставленных задач, связывающие настоящее исследования, являются [104]:*

- экстремальные природно-климатические условия, крайне низкие плотность населения и уровень развития транспортной и социальной инфраструктуры;
- устойчивая географическая, историческая и экономическая связь с СМП;
- неравномерность промышленно-хозяйственного освоения отдельных территорий Арктической зоны, ориентированность экономики на добычу природных ресурсов, их вывоз в промышленно развитые субъекты Российской Федерации и экспорт;
- отсутствие системы государственной поддержки завоза в населенные пункты, расположенные в отдаленных местностях, топлива, продовольствия и других жизненно необходимых товаров, обеспечивающей возможность их реализации населению и хозяйствующим субъектам по доступным ценам;
- снижение доли добавленной стоимости высокотехнологичных и наукоемких отраслей экономики в валовом региональном продукте Арктической зоны, слабое взаимодействие сектора

научных исследований и разработок с реальным сектором экономики, разомкнутость инновационного цикла;

Исследование в области формирования прогностической модели ГИС мореплавания в Арктической зоне является актуальным решением многих поставленных задач. В соответствии с чем был проведен многосторонний анализ Арктического региона.

В ходе анализа и получения фактических данных, выявлена потребность в углеводородных, биологических, водных и других видах ресурсов. Объемы стратегических запасов подобного рода ресурсов Арктики могут обеспечить потребности многих государств планеты на протяжении десятилетий.

Анализ показывает востребованность развития транспортных артерий в рамках Северного морского пути. Рассмотренные навигационные маршруты и исследования финансовой составляющей подтверждают данный факт.

В главе выявлена взаимосвязь суровых климатических условий, данные о которых получены методом ДДЗ поверхности арктических регионов, с морской навигацией и требованиям, предъявляемым к ГИС.

Фактические данные подтверждают, что отсутствие единой многофункциональной геоинформационной системы для полярных вод, что *отрицательно сказывается на:*

- увеличении временных рамок транспортной логистики, которые влекут за собой задержки в развитие обширного спектра деятельности арктических зон, а также несут немалые финансовые издержки;

- безопасности мореплавания, что в свою очередь обязывает введение различных страховых сборов, а также присутствие фактора ледокольной проводки, требующие дополнительных затрат и являющиеся обязательными согласно условиям страховых компаний, вне зависимости от чистоты водного покрытия;

- экологической составляющей региона;

- росте международного конфликтного потенциала в регионе.

В ходе исследования отмечено, что большинство методов навигации во льдах Арктики, в том числе военного назначения, основываются на расшифровке картографических данных о ледовой обстановке и на опыте численного состава, в совокупности с ИТ базой, что в свою очередь сказывается отрицательно на выше приведенных аспектах.

Аналізу подверглись более 50 ГИС, включая все отечественные. Исследованы основные функциональные возможности базовой составляющей ИС, в частности географических. На основе полученных данных реализована типовая структура ГИС. Сформирован перечень наиболее актуальных ГИС, чей функционал соответствует требованиям и критериям поставленной цели, и задачам исследования.

В ходе анализа была разработана масштабная аналитическая матрица сравнения существующих ГИС по многометрическим параметрам, в соответствие с чем, были сформированы требования, предъявляемые к формируемой ГИС. Результатом столь детального анализа является отсутствие на сегодняшний день ГИС удовлетворяющих поставленным требованиям.

Предложенная в главе совокупность методов, принципов и подходов, образующие новую модель ГИС, позволит одновременно в одной универсальной системе реализовывать прогнозирование навигационной обстановки и получать прогностические ДДЗ, на основе которых строится оптимальный маршрут мореплавания в арктических льдах на артериях СМП.

Глава 2. Разработка моделей прогнозирования состояния обстановки Арктического региона на основе модифицированных алгоритмов рекурсивной фильтрации в сочетании с методикой представления геоданных

Анализ современных методов прогнозирования навигационной и гидрометеорологической обстановки в интересах обеспечения навигации

Прогнозирование – разработка прогноза; в узком значении — специальное научное исследование конкретных перспектив дальнейшего развития какого-либо процесса [24].

Исходя из ряда источников [21, 22, 23] под прогнозом гидрометеорологической обстановки понимается некая составляющая параметров (оценок) будущего состояния системы (атмосфера, водная среда и другое), полученные в результате аналитической обработки.

Прогноз - предзнание (М.В. Ломоносов), предсказание, предвидение, основанное на научных наблюдениях, на жизненном опыте или на оценке вероятности событий или получение математических выводов о будущем состоянии или изменениях на основе анализа условий в настоящем и прошлом, также являющийся результатом процесса прогнозирования, выраженный в словесной, математической, графической или другой форме.

Определение, терминология прогноза и прогнозирования встречается в многих отраслях и сферах деятельности, в точных и гуманитарных науках.

Классифицируя прогнозирование как объекты, выделяют основные группы [25, 28]:

- Научно – технические;
- Естественствоведческие;
- Экономические;
- Обществоведческие (социальные).

Чаще, научно-технические прогнозы являются одной из сфер естественных, а экономические – сферой общественных.

К общественным (в том числе экономическим) относятся прогнозы областей деятельности согласно источникам [25, 28].

К научно-техническим (в том числе естественным) относятся прогнозы следующих областей [25, 22, 26, 27], касающиеся тематики настоящего исследования:

- метеорологические прогнозы (климатические и атмосферные явления);
- гидрологические (морские волнения, замерзания и вскрытия акватории, и другие);
- геологические прогнозы (запасы полезных ископаемых, катастрофические события);
- биологические, агрометеорологические, фенологические прогнозы (явления в биосфере);
- медико-биологические прогнозы (социально – медицинское направление);
- экологическое прогнозирование;
- социально-космологические прогнозы (состояние и движение небесных тел и другие);
- физико-химические прогнозы явлений микромира.

Объект прогнозирования – процессы, явления и события, на которые направлена деятельность субъекта прогнозирования.

Под гидрометеорологическими прогнозами [28] понимаются прогнозы, в задачу которых входит прогнозирование на заданные интервалы времени развития процессов и явлений, происходящих в атмосфере и гидросфере – в реках, водохранилищах, озерах, морях и океанах, а также развития сельскохозяйственных культур в зависимости от сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий.

Таким образом, гидрометеорологический прогноз состоит из ряда перечисленных областей входящие в сферу научно-технического (естественный) прогнозирования.

Прогноз гидрометеорологической обстановки тесно связан с понятием метеорологического прогноза.

Гидрометеорологические прогнозы условно подразделяются на две группы [106, 41]:

- прогнозы явлений – прогнозы опасных явлений (цунами, отбойное течение в портах), сгоннонагонные явления, обледенения судов, туман и другие;
- прогнозы величин – все прогнозы, которые можно выразить количественно (градусы, метры, уровень, время).

Непосредственную сферу интересов исследования в наибольшей степени составляют прогнозы ледовой обстановки Арктики (морские гидрологические прогнозы) и в наименьшей метеорологические прогнозы.

Прогнозирование гидрометеорологической обстановки (ГМО) основывается на известных закономерностях возникновения и развития физических процессов и явлений на границе двух сред морской и воздушной. Именно эти процессы в дальнейшем определяют оценки ГМО.

Существует ряд факторов, связанный с изменениями характеристик природной среды:

- циркуляционные процессы (развития циклонов, перемещение воздушных масс и атмосферных фронтов);
- трансформационные процессы (изменения, связанные с энергией Солнца);
- местными особенностями подстилающей поверхности (морские течения, влияющие на климатические особенности, устройство заливов, бухт и другие).

На данный момент существует более 200 методов и подходов прогнозирования, среди которых чаще всего используют с десяток. Под методикой прогнозирования понимается совокупность методов и регламентов разработки прогноза относительно конкретного объекта.

Выделяют три метода прогнозирования:

1. Синоптический:

Метод основан на анализе карт погоды (рисунок 25). На таких картах определяются: барическое поле, положение барических центров, воздушных масс и состояние атмосферных фронтов, полей температуры, облачности, осадков и изаллобарическое поле. Далее выявляются тенденции в развитии синоптических объектов и после определения будущего местоположения синоптических объектов, определяется состояние факторов ГМО. *Синоптический метод прогнозирования базируется на трёх основных подходах [32]:* подход формальной экстраполяции; подход физической экстраполяции; оценивание синоптика о развитии атмосферных процессов.

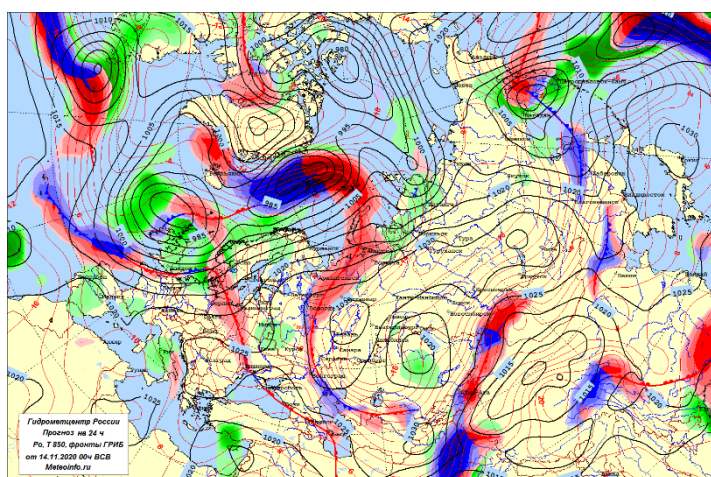


Рисунок 17. Синоптическая прогностическая карта. Приземный прогноз на 24 часа

Под интерполяцией понимается определение промежуточного значения характеристик метеорологических данных по значениям этих данных на двух или нескольких

метеорологических станциях. Экстраполяция – нахождение предполагаемого значения характеристики за пределами области известных ее значений.

Наиболее распространённое применение синоптический метод имеет в краткосрочных прогнозах погоды (до двух суток). Поскольку не все явления погоды попадают в поле зрения метеорологических станций, синоптический метод дает возможность наиболее хорошо прогнозировать явления крупномасштабных атмосферных процессов, то есть синоптического положения [36].

2. Численный (гидродинамический):

Данный метод основан на математическом аппарате, включающий решения систем полных уравнений гидродинамики и термодинамики с целью вычисления трансформации метеорологических величин. Точность расчетов зависит от скорости вычислительных информационных и аппаратных систем, а также от количества вспомогательной информации (чем больше данных, тем выше точность). Уравнения определяют физические свойства и возможности модели описывать физические процессы, в том числе процессы различных пространственных масштабов. Гидродинамический метод прогнозирования действует по следующему принципу: основа – исходное состояние атмосферы, над которым в дальнейшем рассчитывается изменения давления в будущем промежутке времени (скажем, через 7-10 минут), что в свою очередь генерирует новый блок данных, который будет задействован при расчете условий в следующий промежуток времени и так процесс повторяется до результата прогноза.

Основой уравнений численного метода прогнозирования (Гидродинамический метод) являются фундаментальные физические законы: закон сохранения количества движения; закон сохранения массы; закон сохранения энергии.

В качестве примера [33, 34] рассмотрим, как каждый из фундаментальных законов применим к атмосферным явлениям.

– Закон сохранения количества движения представлен уравнением движения в изобарической системе координат (x, y, p , где p – атмосферное давление):

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial v}{\partial p} = -g \frac{\partial H}{\partial y} - lu, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial u}{\partial p} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + lu, \quad (1.1)$$

где u, v, w – составляющие полного вектора скорости движения частицы;

$\tilde{w} = \frac{\partial p}{\partial t}$ – эквивалент вертикальной составляющей скорости $w = \frac{\partial z}{\partial t}$, взятой с обратным знаком;

g – ускорение свободного падения;

H – геопотенциальная высота изобарической поверхности;

$l = 2 \omega \cdot \sin \varphi$ – параметр Кариолиса;

ω – угловая скорость вращения Земли;

φ – географическая широта.

Левые части уравнений (1) и (1.1) – есть ускорения частицы с единичной массой.

Правые части уравнений (1) и (1.1) – силы, действующие на эту частицу.

В данных выражениях допустимо пренебречь малыми и вертикальными составляющими $\tilde{w} \frac{\partial v}{\partial p}$ и $\tilde{w} \frac{\partial u}{\partial p}$.

Тогда уравнения (1) и (1.1) получают следующий вид:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} - lu \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + lv \quad (1.3)$$

Так как в крупномасштабных атмосферных процессах ускорения по вертикали достаточно низки, уравнение, использующие закон сохранения количества движения по оси p , упрощается, трансформируясь в уравнения статики, отсюда появляется выражение температуры воздуха.

Уравнения температуры воздуха выражается:

$$T = - \frac{g p}{R} \cdot \frac{\partial H}{\partial p} \quad (1.4)$$

Модель прогноза атмосферных процессов, использующая уравнение статики, является квазистатическим. Все прогнозы крупномасштабных процессов базируются на квазистатическом приближении. Выражения (1.2) – (1.4) являются квазистатической системой уравнений.

– Закон сохранения массы выражается в виде уравнения неразрывности (при этом в системе координат x, y, p пропадает слагаемое, описывающее изменение плотности):

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{w}}{\partial p} = 0 \quad (1.5)$$

Согласно этому уравнению (в системе координат x, y, p) атмосферный воздух представлен несжимаемыми жидкостями.

– Закон сохранения энергии выражается первым началом термодинамики, следовательно, уравнение притока тепла принимает вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} - \frac{RT(\gamma_a \gamma)}{g p} \tilde{w} = 0 \quad (1.6)$$

Модель уравнение (1.6), называется адиабатической моделью. Условия адиабатичности упрощает решение задачи прогнозирования, при этом количество ошибок минимально.

Уравнения (1.2 – 1.6) состоят из пяти выражений, в которых содержатся пять неизвестных функций, в том числе три производные по времени:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial v}{\partial t}, \frac{\partial T}{\partial t}\right), \quad (1.7)$$

более того, неизвестен параметр H (высоты изобарических поверхностей) и параметр $\tilde{w}$ (вертикальная скорость).

Обобщая - получаем замкнутую систему уравнений относительно функций $u, v, T, H, \tilde{w}$, которая решается численными методами. Непосредственное решение моделей уравнений численным методом предполагает запись выражений в виде узлов прогностической сетки (рисунок 26) (с равномерными шагами по горизонтали и неравномерным распределением уровней по вертикали) [34] с дальнейшим анализом полученных данных.

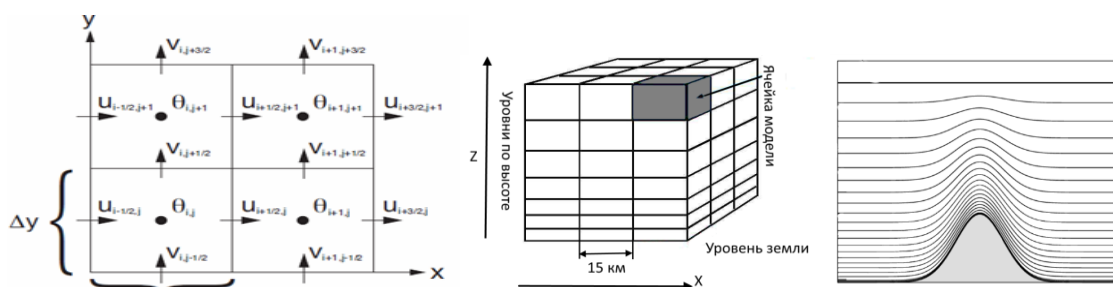


Рисунок 18. Прогностическая сетка: горизонтальное представление, трехмерное изображение, вертикальная структура (слева на право).

Все модели отличаются [34]: системы уравнений и их методы решений; пространственный охват с шагом; физическое наполнение; описание физических процессов.

Анализируя рассмотренные примеры складывается понимание того, что все современные методы краткосрочного прогнозирования погодных условий, элементов и явлений основываются на информации, получаемой в результате расчета численных моделей атмосферы [34]. К сожалению, пока не все метеорологические элементы можно надежно прогнозировать численными методами. Причина заключается не столько в математических трудностях решения прогностических уравнений, сколько в сложности правильного описания физических процессов, протекающих в атмосфере, с помощью математических уравнений [36].

3. Физико- статистический (эмпирико-статистический):

Метод основан на механизме осреднения архивных, накопленных за продолжительное время данных синоптических процессов. При этом данный метод позволяет вести расчеты, не беря во внимание принципы действия синоптических процессов. Чаще всего данный метод используют для долгосрочных прогнозов.

Все существующие физико-статистические методы прогнозов можно раз делить на четыре группы [35]:

– Методы, учитывающие климатическую изменчивость природных параметров,

основанные на статистическом анализе ряда наблюдений (вероятностный прогноз).

– Методы, учитывающие предшествующие прогнозу параметров и метеорологические условия (количество льда или сумма градус дней мороза, накопленные в предыдущую зиму или в предшествующий прогнозу период текущего сезона; температура воздуха или воды, повторяемость той или иной формы атмосферной циркуляции в предшествующий прогнозу период и другие).

– Методы, в которых используются фактические параметры объекта в качестве начальных данных и прогноз метеорологических элементов.

– Методы, основанные на возможности использования для определённых прогнозов существующих в природе циклических колебаний с различными периодами (циклы солнечной активности, макроциркуляционные эпохи атмосферных процессов).

Сущность методов заключается в применении методов теории вероятностей и математической статистики для выявления закономерностей атмосферных процессов. Если говорить о методе как об обработке архивных данных (из определения выше), то стоит упомянуть статистическую связь с составлением уравнений регрессии типа:

$$A_e = \sum_{i=1}^n a_i \times B_i ,$$

где A_e - значение прогнозируемой метеорологической характеристики (предиктанта) на момент времени t ; B_i - значения метеорологических характеристик (предикторов) в исходный момент времени; a_i - весовые коэффициенты, определяющие весовой вклад каждого предиктора.

Именно выбор уравнения регрессии является основной задачей, при условиях недостаточно явной физически природы факторов, влияющих на изменения предиката.

Под предикатом понимается величина или метеорологический элемент, значение которого в будущий момент времени определяется благодаря предикторам. Предиктор – прогностический параметр, являющийся инструментом прогнозирования.

Сложность прогноза метеорологических элементов статистическим методом состоит в том, что точность прогноза зависит не только от средних значений предикторов, но и от разброса этих величин от средних значений, характеризуемого их среднеквадратичными отклонениями коэффициентов предикторов или дисперсиям [36]. В большинстве случаев статистические методы используются наряду с численным прогнозом.

Несомненно, современные методы прогнозирования могут использовать все три метода в одной ИС, тем самым получая некий гибридный метод. Такие методы называются смешанными (синоптико-статистические, синоптико-гидродинамические).

Метеорологический прогноз или прогноз погоды принято делить на [29]:

– прогнозы общего назначения – направлены на широкий круг пользователей, главным образом на население;

– прогнозы специализированные – с учетом специфики деятельности различных отраслей (авиационные, морские, лесного хозяйства, энергетической промышленности и другие).

По времени действия, прогнозы разделяются на:

Таблица 4 – Виды метеорологических прогнозов по временному признаку

№	Вид прогноза	Описание
1	«Наукастинг»	Описание текущей погоды и прогноз метеорологических параметров на срок от 0 до 2 час.
2	Сверхкраткосрочный	Прогноз метеорологических параметров на период до 12ч
3	Краткосрочный прогноз погоды	Прогноз метеорологических параметров на период от 12 до 72 час. (3 сут.)
4	Среднесрочный прогноз погоды	Прогноз метеорологических параметров на период от 72 (3 сут.) до 240 час. (10 сут.)
5	Прогноз погоды с расширенным сроком	Прогноз метеорологических параметров на период от 10 до 30 суток, обычно осреднённых и выраженных в виде отклонений от климатических величин для этого периода
6	Долгосрочный прогноз	Прогноз на период от 30 сут до 2-х лет
6.1	Месячный ориентировочный прогноз	Описание осреднённых метеорологических параметров, выраженных в виде отклонений (аномалий) от климатических величин для этого месяца (не обязательно для предстоящего месяца)
6.2	3-х месячный или 90-суточный ориентировочный прогноз	Описание осреднённых метеорологических параметров, выраженных в виде отклонения от климатических величин для этого 90-суточного периода (не обязательно для предстоящего 90-суточного периода)
6.3	Сезонный ориентировочный прогноз	Описание осреднённых метеорологических параметров, выраженных в виде отклонения от климатических величин для этого сезона
7	Прогнозирование климата	На срок свыше 2-х лет (Описание будущего климата с учётом влияния естественных и антропогенных факторов)
7.1	Прогнозирование изменчивости климата	Описание ожидаемых параметров климата, связанных с изменением межгодовых, декадных и внутривековых климатических аномалий

В морских гидрометеорологических прогнозах, используются следующие временные характеристики [106]: краткосрочные прогнозы (от нескольких часов до 3 суток); среднесрочные прогнозы (от 3 до 15 суток); долгосрочные прогнозы (от 15 суток до 6 месяцев); сверхдолгосрочные прогнозы (свыше 6 месяцев).

Сверхдолгосрочные и долгосрочные прогнозы необходимо для разработки генеральные планы грузоперевозок по СМП, а также расстановки ледокольного и транспортного флота. Среднесрочный прогноз предназначен для планирования и практического проведения специализированных морских операций. Краткосрочный прогноз применяется в арктической навигации, выборе маршрутов и далее.

Точность любого прогноза обусловлена:

- объёмом истинных (верифицированных) исходных данных и периодом их сбора;
- объёмом неверифицированных исходных данных, периодом их сбора;
- свойствами системы, объекта, подвергающихся прогнозированию;
- методиками и подходами прогнозирования.

Степень эффективности прогнозов и предупреждений зависит не только от их точности и заблаговременности, но и от того, насколько способны потребители правильно интерпретировать и использовать эту информацию в своих целях. Важной частью работы по повышению эффективности гидрометеорологического обеспечения морской деятельности (ГМОМД) является систематическое проведение разборов неудачных прогнозов.

За 50 лет истории точность моделей поднялась от 40% до современных 96%. В настоящее время практическая предсказуемость прогноза – 5 дней. Точность прогноза на предстоящие сутки составляет в среднем 96%, на месяц – около 70%. Для каждого последующего дня успешность снижается на 2-3% [29].

Как было отмечено выше, количество методов прогнозирования, как и их авторов, с каждым днём вырастает. Можно выделить такие системные модели как: модель WRF (Weather Research and Forecasting) и её разновидности; система AIRS (Atmospheric InfraRed Sounder) - позволяющая создавать трехмерные карты прогнозов температуры воздуха и поверхности, водяного пара и свойств облаков; модели ECMWF (Европейская) и GFS (Американская) - моделирующие атмосферу всего земного шара и предсказывающие как она будет изменяться со временем; UKMET у Англии, EUMETSAT у Франции, CMC у Канады, JMA у Японии, ПЛАВ (SLAV) у России. Лидером на сегодняшний день, в области разработок моделей прогнозирования, является European Centre for medium-range weather forecasts (ECMWF).

Создание некой аналитической базы (возможно, представленную в виде таблиц), содержащую в себе все известные методы, методики, подходы прогнозирования и их характеристики (в том числе положительные и отрицательные аспекты) не целесообразно из – за

ряд причин: не каждый метод применим в той или иной сфере; объекты методов и их параметрическое описание отличаются друг от друга; количество существующих методов не поддается единой сравнительной оценке; зависимости внешних (в том числе природных стохастических процессов) факторов слишком разнородны; общая структура подобной базы многомерна и массивна для интуитивного понятия, а также ряд других причин. Единственный правильный подход – создание распределённой базы данных методов прогнозирования в информационно технологическом понятии [37].

Все новые методы и методики базируются на фундаментальных законах, рассмотренные выше. Обобщению подлежит разве что система формирования прогноза (рисунок 20), алгоритм которой описывается следующей зависимостью: на входе вводится задание для прогнозирования, затем выбирается или разрабатывается метод будущего прогнозирования, далее реализуется непосредственно сам прогноз, в ходе которого формируются данные результатов. Результаты и метод прогнозирования оцениваются на целесообразность их использования, возможно уточнение параметров метода прогнозирования, и на финальной стадии, перед формированием результатов, выдаются рекомендации о предпочтительности выбранного метода. Непосредственно на шаге формирования базы данных прогностических результатов, данные сравниваются с исходными и направляются к блоку рекомендации при необходимости.

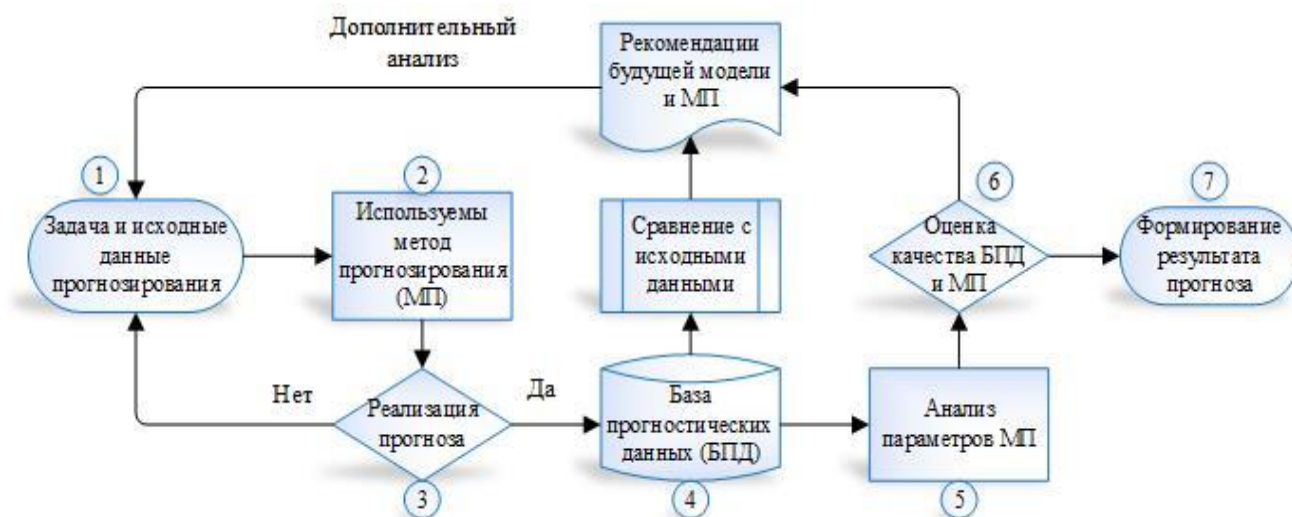


Рисунок 19. Обобщенная структурная схема алгоритма методов прогнозирования

Так как контактные наблюдения за состоянием атмосферы, как правило, распределены в пространстве недостаточно плотно, они не всегда способны обеспечить желаемую степень детализации для оценки параметров перемещения погодообразующих структур и зон отдельных климатических явлений. По этой причине помимо контактных метеорологических наблюдений для подготовки прогнозов текущей системы и сверхкраткосрочных прогнозов активно

привлекаются площадные данные дистанционного зондирования атмосферы (радарные, спутниковые).

Требования, предъявляемые к исследованию ледяной обстановки

В задачах исследования одним из основных факторов навигации в Арктическом регионе, является ледовая обстановка и все процессы, составляющие совокупность фактора. Для прогнозирования ледовых и океанографических условий чаще всего используют ДДЗ.

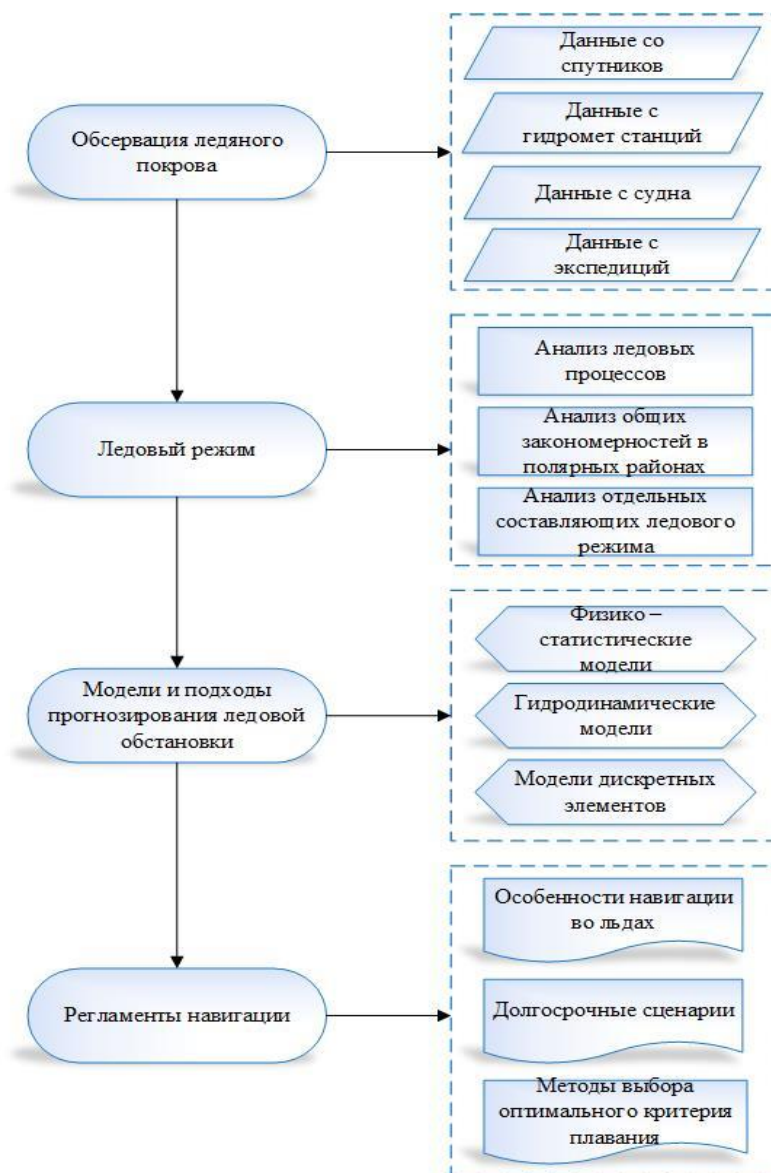


Рисунок 20. Алгоритм основных требований к исследованию ледяной обстановки

Ледяной покров является главной особенностью гидрометеорологической обстановки, сохраняющуюся круглогодично в акваториях Северного Ледовитого океана, что в свою очередь формирует основную климатическую систему Арктики.

С целью получения наиболее точных и полных прогностических данных необходимо вести мониторинг ледяного покрова, собирать и обрабатывать данные, полученные методом дистанционного пассивного микроволнового зондирования, исследовать новые области секторов и методы, технологии ледовых прогнозов, в том числе и разрабатывать новые модели. Данный алгоритм [27] можно представить в виде схемы (рисунок 21).

К ледовой обстановке или ледовой фазе относятся такие явления как: появления льда, замерзания моря, стратификация вод, колебания уровня моря, турбулентный теплообмен с атмосферой и эффективность излучения вскрытия и очищения, учет потерь (или притока) тепла на поверхность моря, теплозапас деятельного слоя моря, толщины льда, образовавшейся за зиму и другие. Также на процесс образования и таяния льдов оказывают влияние следующие факторы динамического характера: ветер, течения, волнение [43].

Мониторинг ледяной обстановки разбивают на основной и дополнительный. К основным наблюдениям относятся [35]: дальность видимости поверхности моря; скорость и направление ветра; температура воздуха и поверхностного слоя воды; положение границы и ширины припая; количество неподвижного льда; положение границы дрейфующего льда; сплоченность дрейфующего льда; количество дрейфующего льда; количество чистой воды; форма льда; возрастные виды льда; торосистость льда; разрушенность льда; загрязненность льда; заснеженность льда; сжатие и разрежение дрейфующего льда; направление и скорость дрейфа льда; ледяной покров в постоянной точке (толщина и глубина погружения льда, высота и плотность снежного покрова).

В состав дополнительных ледовых наблюдений входят [35]: профильные наблюдения; маршрутные съемки ледяного покрова; наблюдения за температурой и стаиванием снега и льда; измерение размеров дрейфующего льда; изменение параметров торосов и стамух; исследование физико-механических свойств льда.

Прогнозирование ледовой обстановки включает в себя множество факторных прогнозов, одни из которых: сезонные прогнозы ледовых явлений; прогнозы появления льда в открытом море; прогноз положения кромки льда; прогноз перераспределения, льдов в арктических морях; прогноз заприпайных полыней и разрежений; прогноз дрейфа льда; прогноз толщины льда.

Основным направлением прогнозирования ледяной обстановки являются физико-статистические методы долгосрочных ледовых прогнозов и численный подход.

Направления [27] по которым реализуется прогнозирование:

- создание методов выбора информативных предсказателей и построения статистических или вероятностных прогностических схем с учетом быстрого развития компьютерных технологий;

- изучение физической природы крупномасштабных и региональных изменений ледовых

условий и их взаимосвязи с процессами в атмосфере и океане;

– использование типизации ледовых условий, созданной на базе анализа многолетних рядов и диагноза типа развития ледовых процессов на основе сочетания различных определяющих факторов, а также оценки вероятности типа процессов.

Физико-статистические и численные методы прогнозирования ледового состояния получили распространение в качестве программного обеспечения (ПО) на электронно-вычислительных машинах (ЭВМ). На сегодняшний день такое ПО реализовано в виде ГИС.

Таким образом, качество модельных прогнозов зависит от: модели: системы уравнений и её численной реализации; пространственного разрешения (горизонтального и вертикального); физического наполнения (перечня физических процессов, включенных в параметризацию модели); способов описания физических процессов (параметризаций), в которые, как правило, входят физические константы, полученные статистически; заблаговременности прогнозов; качества начальных данных, то есть степени соответствия начальных данных реальному состоянию атмосферы в начальный момент времени.

Благодаря применению технологий ГИС, удалось кардинально усовершенствовать процесс подготовки ледовых данных. Эксперт, дешифрирующий спутниковый снимок, работает непосредственно в среде ГИС и составляет ледовую карту сразу в виде векторного шейп-файла, содержащего информацию о границах ледовых зон и о характеристиках льда в каждой зоне [44].

Исходя из ряда гидрометеорологических факторов существует определённое число типов ледовых условий, в свою очередь прослеживается фактор сезонности и района Арктики. Тем не менее, исследования [38] показывают обоснованность ледовых условий в летний период. В связи с чем разработан метод локально-генетической типизации, который обеспечивает выделение внутри однородного района устойчивых типов ледовых условий по определенным сочетаниям аномалий природных предикторов. На основе этой методологии был разработан метод прогноза распределения сплоченности льда во всех арктических морях в летний период с декадной дискретностью с заблаговременностью от 1 до 2 месяцев [38].

Разработаны методы прогнозов сроков разрушения и взлома припая во всех арктических морях [39], прогноза ледовитости и площади ледяных массивов на основе прогностической системы «Пегас» [40]. Реализован принципиально новая прогностическая методика типа ледовых условий в летний период в отдельных районах арктических морей, необходимые АСМП для выдачи разрешений плавания судов в акватории СМП, а также методика прогноза типов ледовых условий для зимнего периода с месячной заблаговременностью был разработан только для Карского моря [41].

Анализируя исследованные источники очевидно, что ведущие разработки в области прогнозирования гидрометеорологических (в частности, ледовые условия) ведутся и внедряются

благодаря ААНИИ. Точность долгосрочных прогнозов от ААНИИ составляют порядка 80 – 85 %, краткосрочных – 90 – 95%. Подобного рода показатель не уступает методам и методикам зарубежных научных институтов и организаций. Именно благодаря столь успешным результатам методологии ААНИИ используются на международной арене, в том числе на уровне ВМО (Всемирная метеорологическая организация).

Очевидно, что для максимально высокой вероятностной оценки прогноза необходимо использовать как ДДЗ [95], так и показания морских станций наблюдений, экспедиций, метеостанции и зондов.

Большинство современных моделей прогнозирования сочетаются совместно с ГИС, но не являются их составляющей частью или компонентом библиотеки.

2.1 Составление методики представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния навигационной обстановки Арктического

Данные, согласно источнику [78] – переинтерпретируемое представление информации в формализованном виде, подходящем для передачи, хранения, интерпретации или обработки. Обработка данных подлежит людьми, ЭВМ, либо гибридным путем. Стоит отметить, что понятие и термин «данные», очень тесно связано с понятием «информация». Два данных термина как теоретически, так и на практике имеют отличия. Но если более детально провести анализ терминологии, то становится очевидно, что информация является единственным источником данных, только в конечном итоге представленная в определенной форме, в случае работы с ЭВМ – в формализованной или дискретной, в свою очередь такая форма служит неким мостом или особым языком общения между машиной, человеком и представлением окружающего мира. Отсюда можно сделать заключение, что понятия терминов «информация» и «данные» являются синонимами, в связи с чем, в исследовании, данные определения могут нести одинаковую смысловую нагрузку.

Анализ и определение априорной составляющей геоданных

Прослеживается определенная зависимость [86] разнородных данных, формы и форматы представления информации, методов их получения, хранения и обработки непосредственно в среде ГИС. *В целях формирования ГИС, стоит ряд функциональных вопросов касательно работы с разнородными [109] геоданными и информацией:*

- критерии выбора данных;
- исходные источники данных;

- подходы, методы и методики обработки данных, в том числе преобразование;
- возможности экспорта\импорта существующих данных;
- формирование данных из разных источников в единый формат;
- интеграция с внешними БД и СУБД;
- интеграция со сторонними ГИС, ИС и АКС;
- визуализация данных и полученных результатов;
- представление обработанных данных статистическим методом;
- анализ достоверности и критерии оценки разнородных данных;
- свойства и форма данных, отвечающие поставленным задачам;

Каждая из научных сфер самостоятельно определяет обособленные исходные источники, а также форму и вид данных, содержащиеся в этих источниках.

В большинстве случаев ГИС работают с обобщенными данными, которые принято обозначать как геоданные. Геоданными является пространственная информация о каком-либо географическом местоположении, при этом, представленная в формате, поддерживаемым и необходимым для импортирования в ГИС [108].

Возможные системы хранения геоданных (СХД): специализированные базы данных; БД геоданных; шейп файлы; таблицы типа dbf, csv, excel; непосредственное представление в растре; геореляционные модели данных.

Одним из приоритетных направлений работы с геоданными является основополагающий источник – цифровые информационные технологии, осуществляющие сбор оперативной информации о состоянии ГМО (рисунок 31). Существует несколько, наиболее распространённых используемых методов предоставления оперативной информации, выраженных в таком формате, позволяющем преобразовывать и работать с данными, представленными в цифровом виде.

Исходя из источников [106, 70, 71, 76], сбор первичной гидрометеорологической информации осуществляется посредством следующих систем и технологий:

- наземные гидрометеорологические (в том числе синоптические) станции;
- аэрологических комплексных станций;
- судовые гидрометрические станций;
- дрейфующие автономные буйковые станций (АБС);
- радиолокационные станции специального назначения;
- космические информационно-технологические системы [114];
- программно-аппаратные средства приема, обработки и распространения информации;
- авиационно-разведывательные системы широкого спектра и другие.

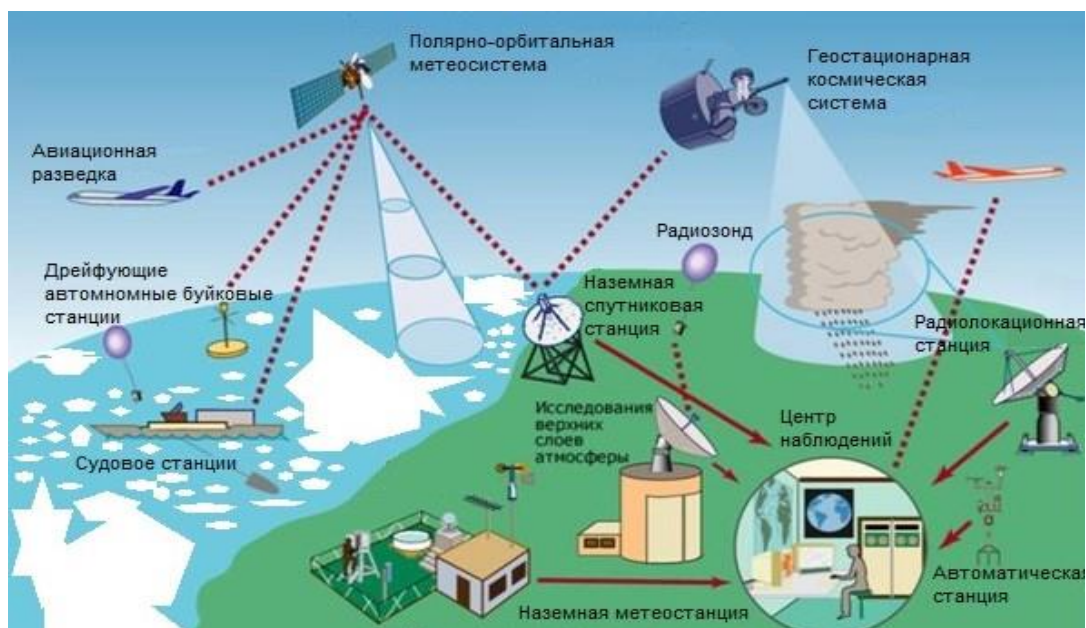


Рисунок 21. Информационно-технологическая система наблюдения и сбора оперативной гидрометеорологической информации

Непосредственно на территории РФ системы сбора и обработки информации распределяются по основным центрам [106]:

- главный радиометеорологический центр (Москва) (ГУ «ГРМЦ»), выполняющее функции глобальной сети телесвязи Всемирной метеорологической организации (ВМО) и Главного центра национальной сети по обмену гидрометеорологической информацией;
- автоматизированная система передачи данных (АСПД) (Новосибирск, Хабаровск) выполняющие функции Глобальной системы телесвязи (ГСТ) ВМО;
- центральные радиостанции (ЦРС) и кустовые радиостанции (КРС), установленные на труднодоступных и полярных гидрометеорологических станциях;
- центры сбора информации по видам наблюдений (физическая океанография и гидрометеорология – Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных «ГУ ВНИГМИ-МЦД»; загрязнение морской среды – Государственный океанографический институт «ГУ ГОИН»; морские льды и территории Арктики и Антарктики – «ГУ ААНИИ»; спутниковые наблюдения – Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «ГУ НИЦ» «Планета».

ГМО арктического мореплавания [106] — это меры, базирующиеся на принципах информационного производства и направленные на оперативное информирование конечного потребителя текущими и прогнозируемыми ледовыми, а также гидрометеорологическими условиями навигации в Арктическом регионе.

Обеспечение гидрометеорологической информацией конечного потребителя осуществляется как на платной, так и на бесплатной основе посредством *следующих каналов*

связи: глобальная сеть Интернет; теле-радио каналы вещания; специализированные прямые каналы связи; факсимированные, телефонные и почтовые средства.

Наиболее развитой международной системой связи для целей морского метеорологического и связанного с ней океанографического обслуживания является Глобальная Система Телесвязи (ГСТ) ВМО [106].

Органам государственной власти и субъектам Российской Федерации, органам Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций гидрометеорологическая информация и прогнозы предоставляются бесплатно. Остальным потребителям данная информация предоставляется за плату в размерах, возмещающих расходы на их подготовку, тиражирование и передачу по каналам связи.

Вся имеющаяся доступная информация о гидрометеорологических условиях располагается на распределённых серверах баз данных в глобальной сети, ознакомление с которой происходит посредством ИС, представленных в виде веб-интерфейса.

С целью разработки и применения методики представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния обстановки Арктического региона, а также рассмотрения предмета на дальнейшую возможность интеграции в формируемую МГИСУН, что в свою очередь значительно повысит качество, производительность и минимизирует ряд задач синтеза, необходимо проанализировать существующие ИС и БД автоматизированного сбора и обработки оперативной гидрометеорологической информации в области арктической навигации.

Типы и характеристики современных цифровых технологии и ИС обработки пространственно-координированных геоданных

В целях и исходя из поставленных задач диссертационного исследования был проведен анализ большого перечня необходимых информационно-технологических ресурсов и систем. Среди более 50 источников можно выделить ряд отечественных и зарубежных ресурсов. Разберем наиболее актуальные ИС предоставляющие геоданные и гидрометеорологическую информацию существенную относительно работы:

1. Информационные системы ААНИИ как источник геоданных.

Ранее, информационно-технологические аспекты структур ААНИИ, были рассмотрены в первой главе. Обозначим основные характеристики ИС ААНИИ, как СУБД.

С точки зрения работы с данными, веб-интерфейс ИС предлагает два раздела с данными (рисунок 23): оперативные данные; климатические данные.

Для каждого разделе выведен ряд подразделов. В качестве оперативных данных предлагаются в большей степени данные, представленные в визуализированной (рисунок 24) или

табличной форме, а также представлены гиперссылки на сторонние ресурсы с данными (портал российского сегмента Информационной Системы ВМО, Французский Центр глобальной

Оперативные данные	Климатические данные
Региональные ледовые карты Евразийской Арктики	Оценка изменений климата и их последствий на территории России
Обзорные ледовые карты СПО	Мониторинг климата Арктики
Циркумполярные ледовые карты Южного океана	Архив МЦД МЛ
Спутниковая информация	Архив метео и аэрологических данных ГМО Тикси
Погода Арктики и Санкт-Петербурга	Архив метео и аэрологических данных НИС "Ледовая база "Мыс Баранова"
Численные прогнозы WRF	Палеоклимат и изменения уровня моря в Арктике и Антарктике
Численные гидро-динамические прогнозы	Интегрированный центр климатических данных университета Гамбурга
Гидрологические прогнозы (дрейф, уровень, волнение)	
Метеокарты	
Геофизические данные	
Солнечная UV-радиация	
Р-ИСВ	
ИСВ (Toulouse)	
Ледовые карты для АСМП	

Рисунок 22. Структура раздела с данными портала ААНИИ информационной системы «Meteo-France GISC-DCPC-NC portals»).

Подобного рода данные не представляются возможным интегрировать в проектируемую ГИС, так отсутствует геопространственная привязка. Если говорить об API, то ИС ААНИИ не распространяет его в открытом доступе, что в свою очередь лишает возможности анализа представленных данных. Положительной стороной публикуемых данных является возможность передачи подобного вида данных, с дальнейшим применением, непосредственно на судно, что в свою очередь обязывает наличие специально обученного персонала в членах экипажа для расшифровки визуализированных данных.

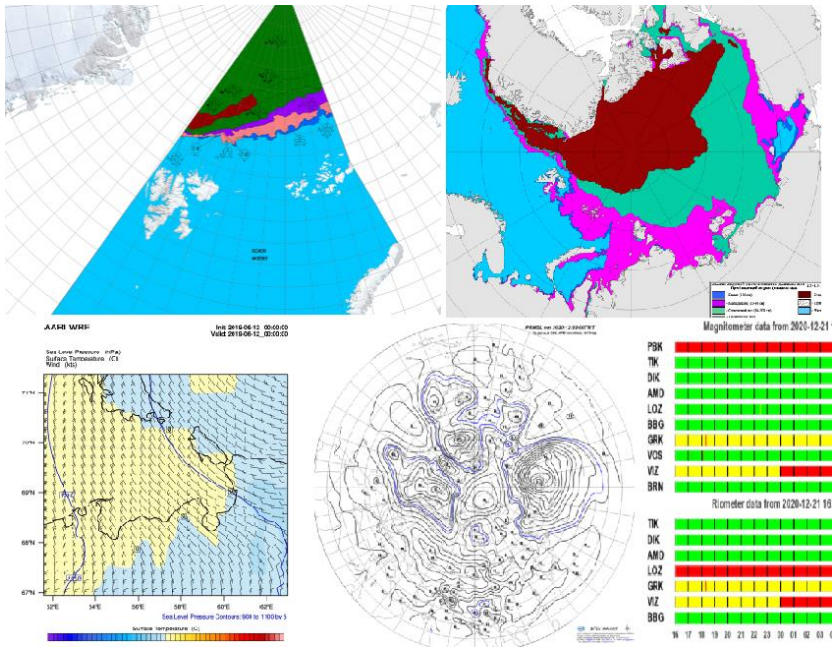


Рисунок 23. Пример оперативных данных раздела ААНИИ

Изучая раздел с климатическими данными, особое внимание стоит выделить пунктам с архивными данными (рисунок 25) и гиперссылки на Гамбургский университет (Германия). Именно данный тип представленной информации в статистическом виде возможно использовать, как импортируемые данные в целях исследования.

AARI WDC Sea Ice file server				Архив аэрологических данных					
Name	Last modified	Size	Description	Месяц	2010	2011	2012	2013	2014
Parent Directory	-			Январь:	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip
atlas/	2018-10-05 14:05 -		ESIMO and EWG atlases	Февраль:	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip
d0001/	2018-10-05 14:09 -		SIGRID-1,2 ice charts	Март:	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip
d0002/	2019-04-15 13:18 -		gridded data	Апрель:	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip
d0003/	2018-10-05 14:25 -		ice charts statistics	Май:	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip
d0004/	2020-12-11 07:14 -		SIGRID-3 AARI regional	Июнь:	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip
d0005/	2020-11-12 14:56 -		AARI ice extent	Июль:	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip
d0015/	2020-12-19 14:52 -		SIGRID-3 AARI hemi	Август:	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip
d0016/	2019-04-15 13:23 -		drifting platforms	Сентябрь:	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip
				Октябрь:	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip
				Ноябрь:	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip
				Декабрь:	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip	.txt .zip

Рисунок 24.Интерфейс разделов работы с архивными данными ААНИИ

Несмотря на наличие архивных данных в статистическом виде, отсутствует возможность фильтровать данные относительно геопространственной привязки, исследуемого параметра, временных интервалов. Данный факт сильно затрудняет, порой делает невозможным, работу с предоставленными данными и дальнейшую интеграции с ГИС. По факту интерфейс представлен в виде FTP сервера с набором абсолютно разнородных файлов с разным расширением, от непосредственно данных до программных дистрибутивов, при этом, как и на FTP серверах, отсутствуют узконаправленные элементы поиска и управления данными.

Таким образом, использование ресурсов геоданных ААНИИ в целях исследования не актуально.

2. *Единая государственная Система Информации об обстановке в Мировом Океане* ЕСИМО – информационная система для доступа к ресурсам морских ИС и комплексного информационного обеспечения морской деятельности, функционирующая в рамках Федеральной целевой программы «Мировой океан», согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 29.12.2005г. № 836 «Об утверждении Положения о ЕСИМО».

Основу ресурса представляет ИС о морской среде, в виде совокупности БД, информационно-технологических решений, а также информационных ресурсов.

Основными задачам и функциями ЕСИМО являются: работа с данными о мировом океане; мониторинг состояния мирового океана; объединение отраслевых ИС в единое информационное пространство; взаимодействие с национальными и международными информационными системами; обеспечение информацией о фактическом и прогнозируемом состоянии среды.

Стоит отметить, что отображение предоставляемых сервисов ЕСИМО зависит от выбора региона, что вводит в заблуждения, учитывая факт наличия разнообразия данных и возможность применения их в другом регионе. Следовательно, для использования полного объема ресурсов необходимо выбирать регион – г. Москва, не принимая во внимание фактического местонахождения. Информация и БД представлены в виде ИС, с возможностью фильтрации и выбора параметров (рисунок 26).

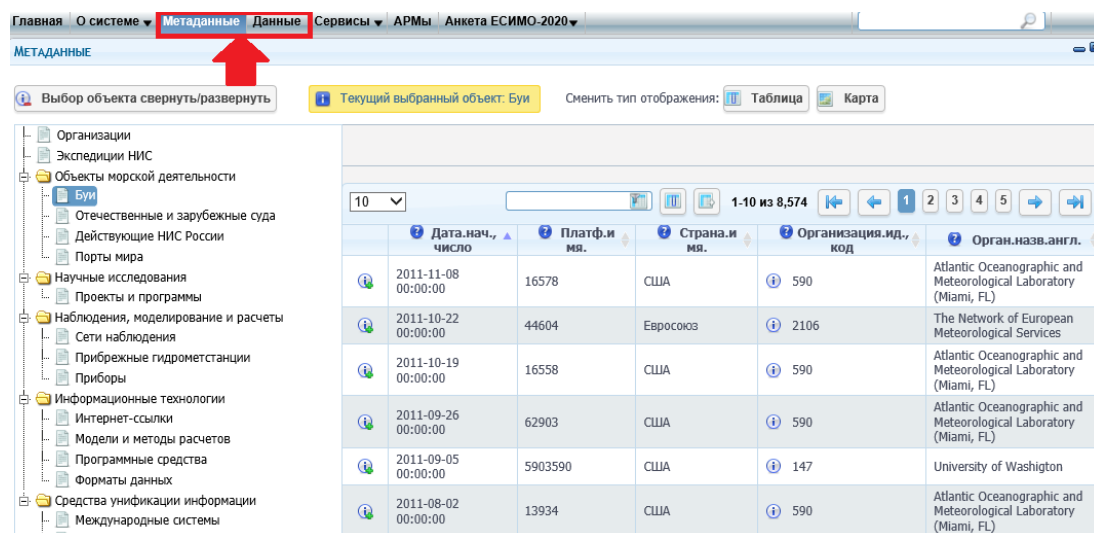


Рисунок 25. Интерфейс раздела Метаданные ИС ЕСИМО

Результаты данных могут быть доступны непосредственно внутри ИС, а также импортированы в файл типа «.pc» или «.csv», а также ряда других файловых расширений.

Постоянные зависания и не стабильная работа сервиса не дает в полной мере ознакомиться с предоставленными данными. Отсутствуют корректно настроенные фильтры по локации, временному охвату и параметру. Некоторые из возможных задаваемых параметров имеют определённый исключительный набор информации, возможно зависящий от местоположения источника сбора данных. Гибко выбрать данные не предоставляется возможным. Как заявляет разработчик, если необходим конкретный набор информации, существует возможность использовать сервис рассылки, что в свою очередь, подобные заключения, в плане информационных технологий (ИТ), откидывает информационную систему на 20 лет назад.

Одним из существенных недостатков ИС ЕСИМО является отсутствие совместимости системы с ведущими действующими браузерами и операционными системами (ОС) на сегодняшний день. Для работы и корректного отображения веб-интерфейса ЕСИМО требуется установка Java машины, которая не поддерживается производителями ведущего ПО (Google, Apple, Microsoft). В частности, как факт, можно утверждать, что компонент Java, необходимый для работы с ЕСИМО, полноценно запускается через браузер Internet Explorer, цикл жизни которого на 2020 год официально признан завершённым. Многие компоненты ресурса требует

наличия flash player, в свою очередь, объявивший конец жизненного цикла 31 декабря 2020.

Данные негативные факторы констатируют, что поддержка ЕСИМО, по крайней мере в открытом доступе, не ведется! Тем самым интеграция и работа с данным ресурсом ставится под серьезные сомнения, делая выбор в пользу более стабильного информационного комплекса.

3. Европейская система Глобального мониторинг окружающей среды и безопасности Коперникус (GMES COPERNICUS).

Copernicus представляет собой европейскую программу по созданию международного потенциала наблюдения и мониторинга Земли, посредством космической программы.

Система состоит из 3 компонентов:

– Space (пространственный) – содействие миссиям, которые управляются национальными, европейскими или международными организациями и уже предоставляют большой объем данных для служб Copernicus, за счет тесного внедрения в работу ESA (Европейское космическое агентство), EUMETSAT (Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников).

– InSitu – компонент, полагающийся на данные из сетей мониторинга на локации (например, карты, наземные метеостанции, океанические буи и сети мониторинга качества воздуха) для предоставления надежной интегрированной информации, а также для калибровки и проверки данных со спутников. Сети InSitu управляются государствами-членами и международными организациями и предоставляют данные службам по соглашению. Европейское агентство по окружающей среде (ЕЕА) возглавляет работу Copernicus в рамках проекта FP7 «GISC» по каталогизации требований Copernicus InSitu услуг, разработать рамочные основы и пилотные соглашения для обеспечения своевременного и устойчивого доступа ко всем соответствующим данным.

– Service (услуги) - охватывают шесть основных тематических областей: мониторинг земли, управление в чрезвычайных ситуациях, морской мониторинг, мониторинг атмосферы, безопасность, изменение климата. Эти услуги достигли разной степени зрелости. Некоторые из них уже действуют (мониторинг земель и управление чрезвычайными ситуациями), тогда как другие все еще находятся в предоперационном режиме (мониторинг атмосферы и морской мониторинг) или в стадии разработки (мониторинг изменения климата и услуги для приложений безопасности).

Интерфейс системы предоставления данных (рисунок 27) состоит из ряд простейших фильтров, необходимых для загрузки информации, а именно: выбор региона, параметр, временной охват.

После установки фильтра выборки данных, на портале предоставляются на выбор имеющиеся статистические, а также визуализированные данные. При этом определенный вид данных доступен на коммерческой основе. ИС работает стабильно, с высокой производительностью. Данные предоставляются ведущими европейскими и зарубежными организациями, посредством спутников и других систем.

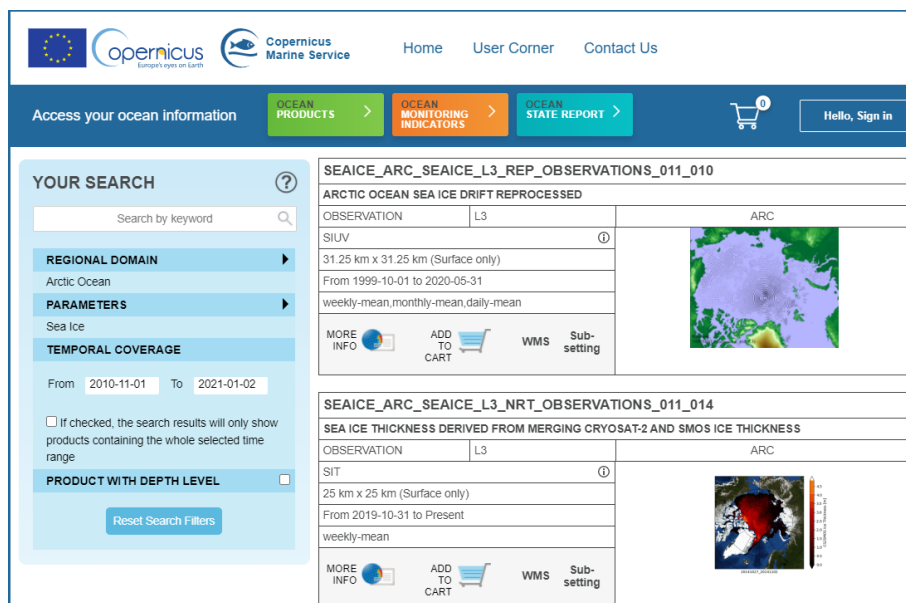


Рисунок 26. Раздел импортирования данных в системе Copernicus

Главными недостатками Copernicus являются:

- коммерческая основа части данных;
- выгруженные данные имеют файловое расширение, которое открывается только специальным ПО, что значительно осложняет дальнейшую интеграцию с МГИСУН;
- несмотря на корректно спроектированную систему фильтрации запроса, представлен ограниченный выбор данных, зачастую необходимые данные могут отсутствовать вовсе;

Так как для формируемой МГИСУН необходимы исключительно уникальные данные, представленные в статистической форме, ресурс Copernicus, может быть задействован только в качестве резервного источника, с условием наличия определенными геоанализами.

4. ИТ системы и ресурсы Международного научно-исследовательского института климата и общества университета Колумбия (МНИИКО) (Нью-Йорк, США).

Из числа рассмотренных систем, содержащие разнородные РБД состояния гидрометеорологической и навигационной обстановки Арктического региона РФ, располагающиеся в едином информационном пространстве, предпочтительные других выделяется ресурс МНИИКО – Библиотека данных (Data Library (DL)) [96]. Информационный ресурс (ИР) относится к ИС Международного научно-исследовательского института климата и общества (IRI – International Research Institute for Climate and Society) [94, 98]. Первоначально IRI

был создан, как соглашение о сотрудничестве между Офисом климатической программы Национального управления океанических и атмосферных исследований NOAA [99] и Колумбийским университетом. На данный момент он является частью Института Земли, Колумбийского университета и расположен в кампусе Ламонт.

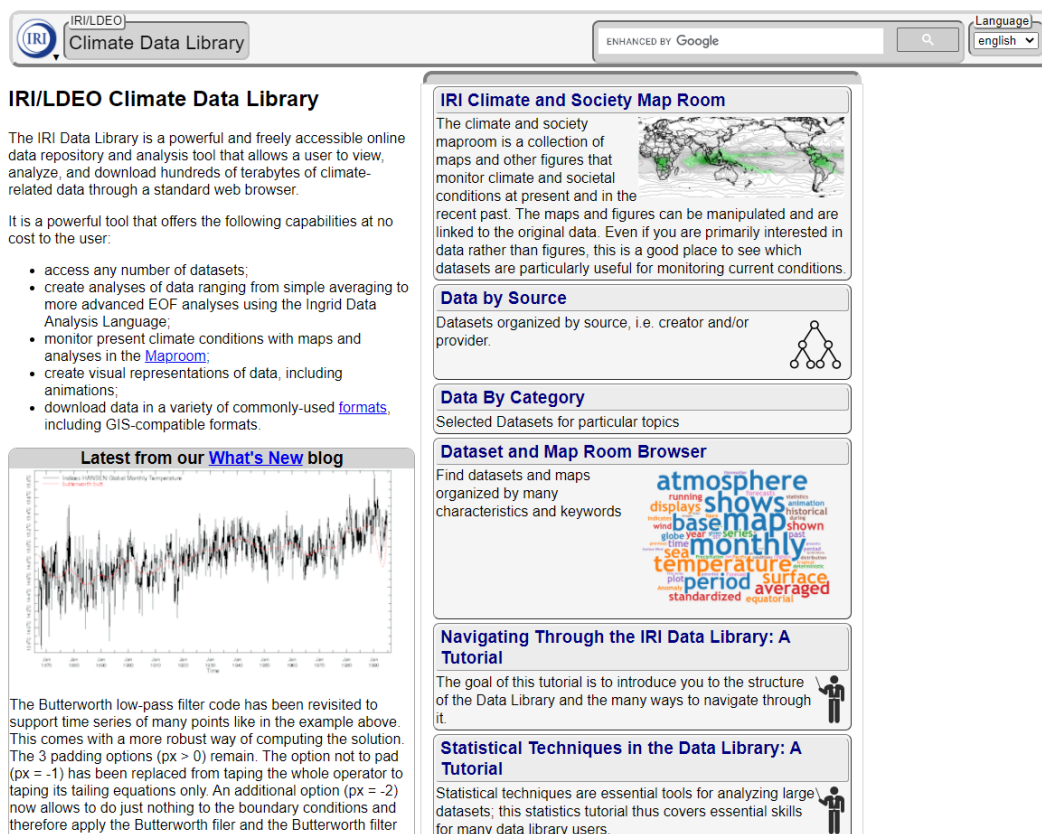


Рисунок 27. Веб – интерфейс платформы Библиотеки Данных

Веб-раздел IRI DL (рисунок 28) – это сложная онлайн платформа с множественными инструментами, которые позволяют в окне браузера использовать репозиторий данных, извлекать архивные значения, а затем обрабатывать, анализировать и получать результаты как в статистическом виде, так и в визуализированной форме, исходя из поставленных задач. Библиотека данных опирается на различные наборы геоданных, таких как: климат, социально-экономические данные, окружающая среда и другие. Обычно данные разделяются на пространственные (с координатной привязкой, станции, зонды, административные границы) и временные (день, месяц, год) [81, 79].

Библиотека данных включает ряд разделов: непосредственно сама библиотека данных с обширными категориями, кабинет картографии, наборы данных, документация по математическим функциям, руководства по использованию, экспертный режим, раздел вопросы и ответы.

Одной из главных особенностей функций СУБД является обширный перечень источников многомерных данных – репозиторий веб-БД (рисунок 29), в том числе ведущих мировых

институтов и лабораторий, например, Национальное управление океанических и атмосферных исследований NOAA [107] или Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства NASA. База многомерных данных упомянутых научных организаций будут использоваться в работе. Другими словами, можно утверждать, что данный ресурс является неким прототипом единого информационного пространства, содержащий в себе многомерные массивы данных из разносторонних источников, как веб-серверов коммерческих организаций, так и международных научных институтов. Для понимания, по мимо упомянутых выше именитых организаций, необходимо отметить, что источниками информации для IRI DL также служат ведущие европейские и мировые научные ведомства, такие как: Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), Copernicus, Японский метеорологическое агентство (JMA), Китайское метеорологическая администрация (CMA), Глобальная система прогнозов (GFS) Национальные центры экологического прогнозирования (NCEP) Национальная база данных цифрового руководства (NDGD) Национальная база данных цифровых прогнозов (NDFD). Национальная метеорологическая служба (NWS) и другие. Как итог - IRI DL является мощным инструментом формирования всемирных, разносторонних баз данных.

Исключая непосредственно наборы распределенных баз данных (РБД), ИР IRI содержит многочисленный ряд инструментария, направленный на обработку, получение и предоставление данных в различных форматах. *Среди множества форматов предоставляемых данных выделяются следующие:*

- данные специализированного ПО (ingrid, CPT, ferret, GrADS, matlab, NCL, WinDisp, OPeNDAP, netCDF (network Common Data Form));
- данные совместимые с ГИС (2-Dimensional Table, IDA Image, LAN Image, GeoTIFF Image);
- данные без привязок к ПО и ИС (Text, Text with tab-separated-values, Binary FORTRAN sequential access, DEC, Binary direct access) и другие

Рассматривая инструменты, предлагаемые ИР, особое внимание уделяется: модуль загрузки геопространственных данных относительно координатного соотношения (Data Selection); представление и загрузка данных посредством визуализирования, в том числе картографического (Data Views); тренировочные модули (Documentation, Tutorial, Training Module); фильтрация данных; модули работы с математическими расчетами и прогнозированием; загрузка данных путем столбчатой таблицы с параметрами; интеграция со сторонними ИС, путем исходного кода на Python; экспертный режим [101].

Отдельно внимания заслуживает экспертный режим, который является инструментом связи многих модулей ИС, а также тесно взаимодействующий с математической частью. Данный режим представляет из себя консольное окно с командной строкой.

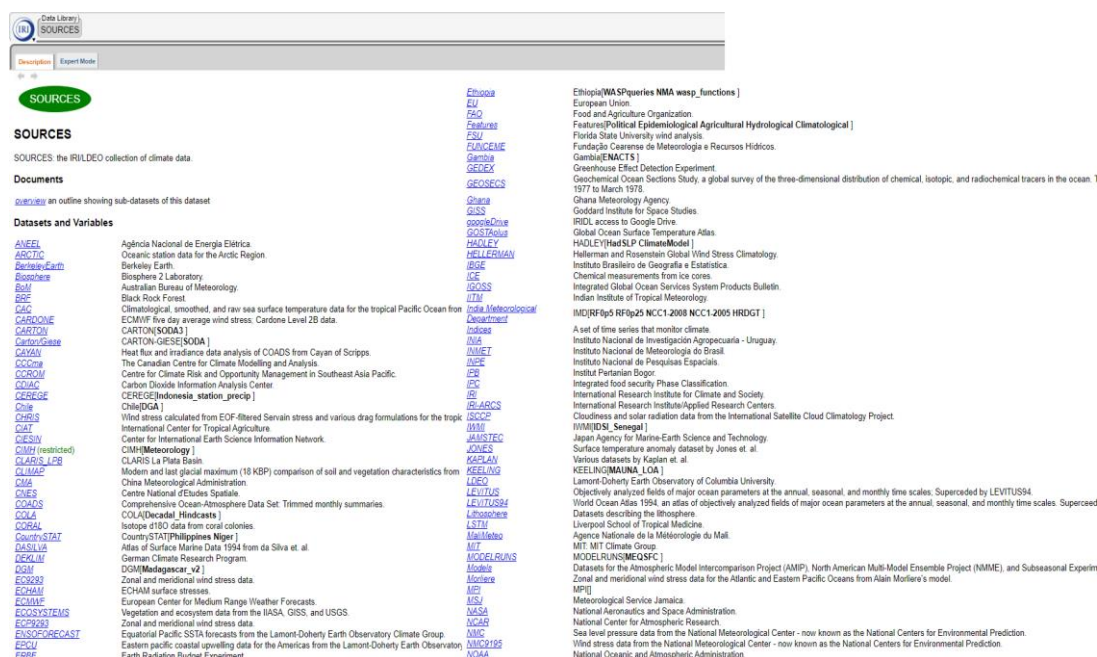


Рисунок 28. Выбор источника данных IRI/LDEO

Если необходимо быстро получить уникальный набор геоданных, выгрузить большой объем информации с гибкими параметрами, объединять или работать с разнородной информацией репозитория, рассчитать корреляции или регрессии индексов, то в данном случае экспертный режим можно сравнить с работой запросов на языке SQL в базе данных с гигантским количеством полей, что в свою очередь облегчает колоссальный ручной труд по обработке данных [103,86].

2.2 Анализ составляющего компонента методики представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния обстановки Арктического региона

Обширные инструментальные возможности, объемные РБД, а также интеграция со сторонним ИС, путем трансляции языков программирования и подключения в среду MS Visual Studio, делают ИР IRILDEO мощным инструментом для исследования гидрометеорологической и навигационной обстановки, что является актуальным и целесообразным ресурсом для использования в диссертационной работе.

В целях исследования, функции сбора данных будут производиться внутри раздела библиотека данных, подраздел – данные по источникам (Data by Source) [77] (рисунок 30).

Данный раздел, как и система в целом, имеет много плюсов:

- работа с ёмким количеством баз данных ведущих международных организаций, в одном информационном пространстве, как посредством графического интерфейса, так и при помощи «экспертного режима»;
- выборка и извлечение многолетних архивов данных с разными расширениями файлов;

- возможность работы не только со статистическими данными, но и с картографическими, контурными и линейными, визуализированными и другими;
- наличие тренировочного модуля по работе с данными и научно-техническая литература;
- каждый настраиваемый параметр отображается в виде последовательной ветви древовидной структуры (рисунок 30, 33), что позволяет в любой момент работы с данными перейти на необходимый этап выборки и произвести необходимые изменения.

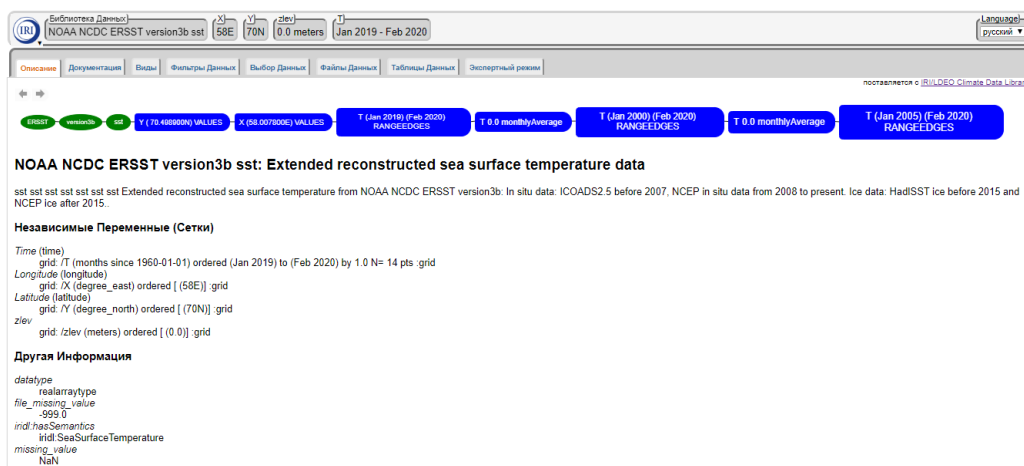


Рисунок 29. Интерфейс раздела Data by Source

Модули IRI/LDEO Climate Data Library (CDL) будут служить в качестве основы методики представления геоданных, а именно как компонент импорта и экспорта данных.

При формировании ГИС, часть выше указанных модулей и сервисов интегрируются в систему, как компонент источника данных гидрометеорологической и навигационной обстановки. Для решения поставленной задачи необходимо проанализировать алгоритм работы с данными непосредственно в среде IRI/LDEO CDL.

Выбор и обоснования критериев массива геоданных. Обозначение исследуемого района

Одним из главных вопросов работы любой ИС и ГИС, как отмечалось ранее являются критерии, определяющие выбор и работу с данными. С целью определения выборки данных и исследуемых параметров был проведен факторный анализ, в дополнение к которому были рассмотрены международные и отечественные регламентирующие документы, постановления об гидрометеорологической деятельности Арктического региона.

Первостепенные гидрометеорологические данные, сообщаемые капитаном судна, согласно Постановлению № 1487 Правительства РФ от 18.09.2020, подписанное М. Мишустиным:

Ледовая информация:

- наличие айсбергов\обломков (координаты и направление дрейфа);
- сплоченность льда (10 – бальная шкала);
- возраст и вид льда;
- сжатие льдов (в баллах);
- торосистость льда (в баллах);
- разрушенность льда (в баллах);
- ледовые явления (интенсивный дрейф, ледовая река и т.д.);
- прогноз оценки ледовых условий («тяжелый», «средний», «легкий», «чистая вода»).

Другие гидрометеорологические данные: температура воздуха (точность до градуса в Цельсия); атмосферное давление (в миллибарах); направление и скорость ветра (точность до 10 градусов и 1 метра в секунду); видимость (точность до 1 морской мили); явления погоды (туман, дымка, осадки); температура воды (точность до градуса в Цельсия); наличие обледенения судна.

Вышеуказанные критерии чаще других влияют на навигацию по СМП. Перечисленные параметры не являются конечными, но исходя из результатов данных [68, 75, 106] указанный перечень параметров представляет собой усреднённую константную ведомость, признанную в международном сообществе, по которой базируются большинство исследований гидрометеорологической обстановки Арктики.

Провести исследование всех перечисленных параметров задача не из лёгких. Для решения поставленной задачи исследования достаточно выбрать несколько возможных критериев. Так как большинство представленных параметров – критериев имеют взаимозависимость, в качестве многомерного метода выбора служит факторный анализ [102], *задачами которого является:*

- выявление взаимосвязей между переменными, то есть «объективная R-классификация»;
- сокращение числа переменных необходимых для описания данных.

Методы факторного анализа включены во многие математико-статистические пакеты ПО. Воспользовавшись имеющимися данными из открытых источников, был проведен анализ в пакете ПО для статистического анализа «Statistica» [111].

В качестве результатов, наибольшую статистическую зависимость имеют следующие критерии, выбранные для дальнейшей апробации в целях исследования:

- концентрация морского льда;
- температура поверхности воды;
- скорость ветра (зональная составляющая);
- температура воздуха.

Рассмотрим и опишем исследуемые районы акватории СМП Арктического региона (рисунок 31):

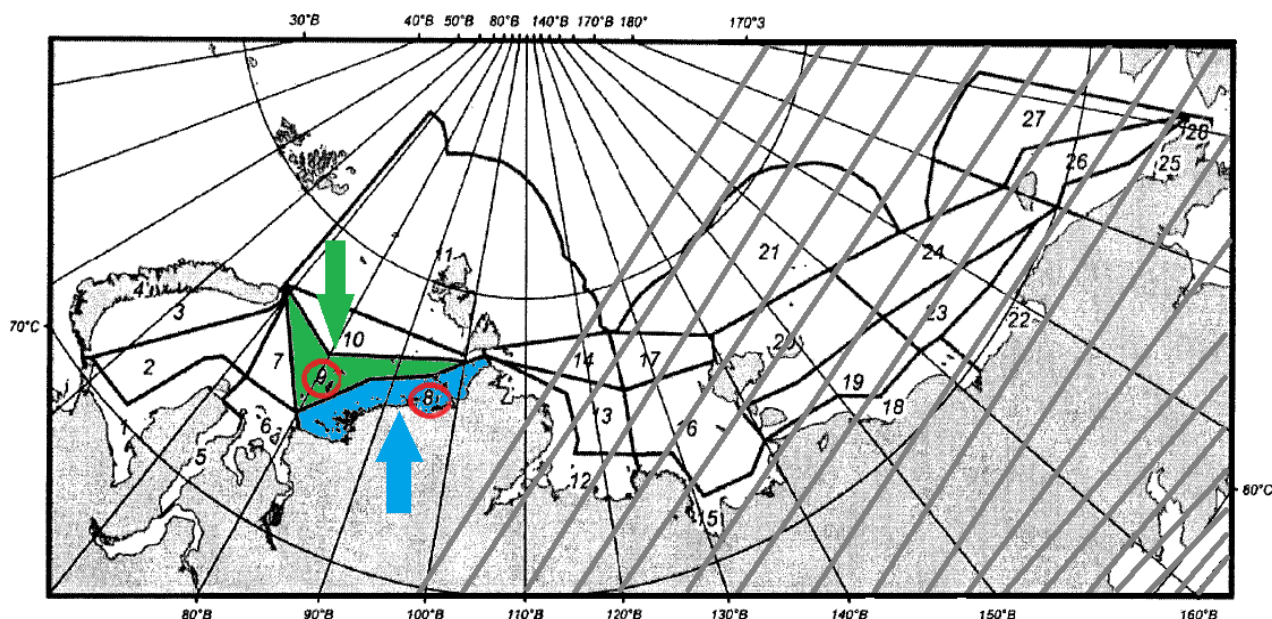


Рисунок 30. Расположение исследуемых районов акватории СМП

– Район 9 (заштрихован зеленым цветом на рисунке 31):

Границы района проходят по линии, соединяющей точки с координатами: $77^{\circ} 15'$ северной широты и $68^{\circ} 35'$ восточной долготы (14); $76^{\circ} 15'$ северной широты и $79^{\circ} 45'$ восточной долготы (33); $77^{\circ} 40'$ северной широты и $97^{\circ} 45'$ восточной долготы; $77^{\circ} 43'$ северной широты и $100^{\circ} 30'$ восточной долготы (30); $77^{\circ} 00'$ северной широты и $95^{\circ} 30'$ восточной долготы (31); $76^{\circ} 10'$ северной широты и $86^{\circ} 45'$ восточной долготы (32); $74^{\circ} 00'$ северной широты и $79^{\circ} 45'$ восточной долготы (26); $77^{\circ} 15'$ северной широты и $68^{\circ} 35'$ восточной долготы (14).

– Район 8 (заштрихован синим цветом на рисунке 31):

Границы района проходят от мыса Полынья ($73^{\circ} 35'$ северной широты и $81^{\circ} 04'$ восточной долготы (27) по Берегу Петра Чичагова, по Берегу Харитона Лаптева, по западному побережью полуострова Таймыр до мыса Челюскин ($77^{\circ} 43'$ северной широты и $104^{\circ} 15'$ восточной долготы (28); далее по линии, соединяющей точки с координатами: $78^{\circ} 00'$ северной широты и $103^{\circ} 15'$ восточной долготы (29); $77^{\circ} 43'$ северной широты и $100^{\circ} 30'$ восточной долготы (30); $77^{\circ} 00'$ северной широты и $95^{\circ} 30'$ восточной долготы (31); $76^{\circ} 10'$ северной широты и $86^{\circ} 45'$ восточной долготы (32); $74^{\circ} 00'$ северной широты и $79^{\circ} 45'$ восточной долготы (45); далее на юг к мысу Полынья.

Исходя из описанных районов, используются следующие координаты точек на маршруте (рисунок 44) по которым производится выборка данных, и дальнейшая апробация методов обработки многомерной информации исходя из поставленных целей и задач исследования:

- Точка А – $E81.5^{\circ}$ восточной долготы, $N74.5^{\circ}$ северной широты;
- Точка Б – $E88.5^{\circ}$ восточной долготы, $N76.5^{\circ}$ северной широты;
- Точка В – $E100.5^{\circ}$ восточной долготы, $N77.5^{\circ}$ северной широты;

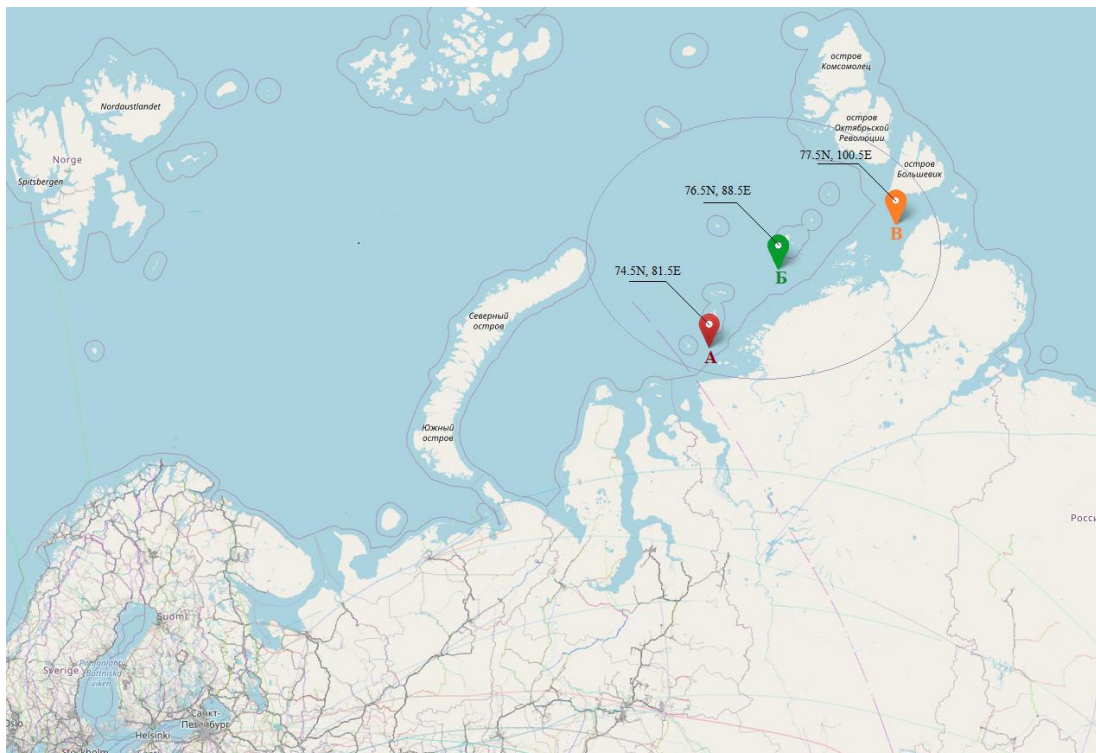


Рисунок 31. Геопозиционирование значений координат исследуемой области

Апробация составляющего компонента методики представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния навигационной обстановки Арктического региона

Выбор критериев и параметров данных определен. Для дальнейшей интеграции в МГИСУН методики представления геоданных в качестве компонента ИС, необходимо воспроизвести механизм извлечения информации из источника, то есть из IRLDEO DL.

Реализуем механизм извлечение данных и рассмотрим дальнейшую возможную обработку в целях поставленной задачи исследования. Для первичной апробации, выгрузка данных будет произведена по одному из 4 параметров в одной точке геопозиционирования.

Заданы характеристики вводных опций DL для извлечения массива данных (рисунок 45):

- работа с данными: информационные технологические системы NOAA, NASA;
- параметр - данные о температуре поверхности воды;
- временной интервал данных: ежедневные показания за период - Октябрь 2009 по Декабрь 2020;
- пространственными геоданными служат координаты с привязкой: 74.5°N, 81.5 °N.

NOAA NCEP EMC CMB GLOBAL Reyn_SmithOlv2 monthly sst: Sea Surface Temperature data

monthly sst sst sst Sea Surface Temperature from NOAA NCEP EMC CMB GLOBAL Reyn_SmithOlv2: SST fields updated from version 1 with more COADS data, new sea-ice to SST conversion algorithm, and 1971-2000 climatology.

Setting Ranges

If you want to restrict the range along a grid, choose here.

	name	range
X	Longitude	81.5E to 81.5E
Y	Latitude	74.5N to 74.5N
T	Time	Oct 2009 to Dec 2020

Restrict Ranges

Рисунок 32. Исходные параметры исследуемого объекта

Опишем технологический алгоритм загрузки данных IRI DL, как часть методики.

На первом этапе выбирается информационно-технологическая база, которая служит исходным источником информации. В приведенном примере – это технологическая база NOAA. После чего выбирается необходимый исследуемый гидрометеорологический параметр. Данному параметру задаются критерии выборки, которые в последующем формируют независимые переменные (сетки). *Сетка имеет следующие характеристики:*

Time(time) grid:/T(months since 1960-01-01) ordered (Oct 2009) to (Dec 2020) by 1.0N=135pts:

Longitude (longitude) grid: /X (degree_east) ordered [(81.5E)]: grid

Latitude (latitude) grid: /Y (degree_north) ordered [(74.5N)]: grid

bufferwordsize 4 CE 35 CI 2

Colorscalename sstcolorscale CS -2

Datatype realarraytype Pointwidth 1.0 scale_max 35.0 scale_min -2.0

standard_name sea_surface_temperature

units Celsius_scale standard units* degree_Kelvin above 273.15

colorscale (рисунок 34)

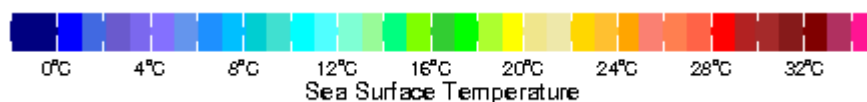


Рисунок 33. Заданная шкала цветовой гаммы параметра «sea_surface_temperature»

Набор переменных сетки отображает все характеристики исследуемого параметра, в данном случае температуры поверхности воды. Среди перечисленных характеристик имеются

такие как: размер буферизации данных, легенды шкал, цветовая гамма шкалы параметра, тип данных, реальный тип массива, ширина точки, максимальное и минимальное масштабирование, имя параметра, единицы измерения параметра (в данном случае - температура в Кельвинах), а также непосредственно ранее заданные опции временного охвата и геолокация с привязанным полигоном.

Формирование полигона обусловлено наличием или отсутствием необходимой для сбора данных, о запрашиваемом параметре, технологической и инструментальной базы. Если таковой не имеется в ближайшей локации, то производится детерминация в пределах полигона, либо соседних к нему полигонах, с целью обнаружения соответствующих инструментов для сбора информации. Существует вероятность отсутствия необходимого обеспечения для сбора метаданных в пределах заданных координат. Тогда детерминация происходит в ближайшей координированной сетки полигонов, соответственно с изменением желаемых геопозиционных критериев.

Независимые переменные сетки необходимы для формирования объемного массива метаданных. Полученные данные извлекаются в матрично-табличном (рисунок 35) формате, что в свою очередь предполагает трудоёмкую и время затратную обработку данных (в среднем, при исследовании одного параметра, в одной координатной точке, размер матрицы может достигать несколько тысяч строк на десятки столбцов). В связи с чем полученные данные в виде объёмной матрицы нуждаются в транспонирование. Из плюсов можно отметить – совместимость предоставленного массива данных с табличным процессором MS Excel. Файлы данных представлены с расширением «.csv», «.tsv».

	0.000000E+00	2.00000	4.00000	6.00000	8.00000	10.00000	12.0000	14.0000	16.0000	18.0000	20.0000	22.0000	24.0000	26.0000	28.0000	30.0000	32.0000
196.000	198.000	200.000	202.000	204.000	206.000	208.000	210.000	212.000	214.000	216.000	218.000	220.000	222.000	224.000	226.000	228.000	230.000
-1271.50	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-1270.50	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-1269.50	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-1268.50	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-1267.50	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-1266.50	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-1265.50	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000
-1264.50	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000	-999.000

Рисунок 34. Фрагмент формата матрицы извлеченных из репозитория данных

Не прибегая к дальнейшей обработке данных, непосредственно с выгруженной БД, предлагается воспользоваться встроенным инструментом визуализации данных «Data Views» для дополнительной сверки желаемой информации, а также в целях статистической проверки данных в легкой понимаемой наглядной форме (рисунок 36).

Воспользовавшись Экспертным режимом DL, можно обратиться к команде подраздела функций – среднемесячный расчет. После чего воспользовавшись встроенным компонентом, визуализируем полученный результат (рисунок 36):

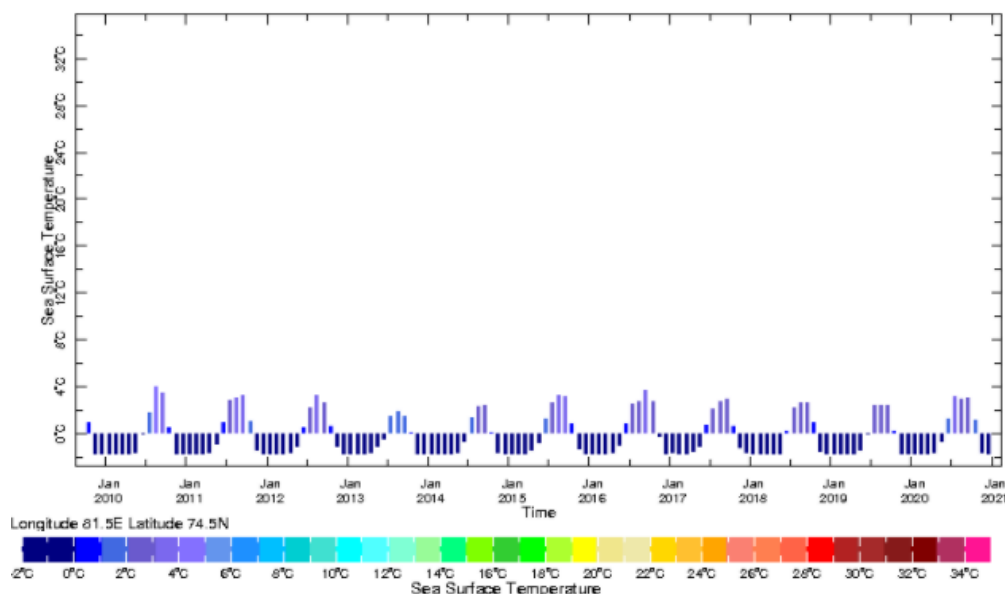


Рисунок 35. Результат работы компонента Data Views (Среднемесячная температура поверхности воды)

На графике достаточно понятно отображены оси, легенды и ряды. Отчетливо видно изменение температуры по месяцам за год. Как в самом компоненте «Data Views», так и прибегая к экспертному режиму, существует возможность гибких настроек и управления отображаемой информации.

После убеждения в актуальности предоставленной выборки, необходимо обработать полученный файл БД. Так как расширение файла поддерживается рядом табличных процессоров, для дальнейшей обработки файла проведем транспонирование посредством MS Excel 2019 pro. Начиная с данной версии офисного пакета, Excel снабжается независимым компонентом синхронизации с «.csv» расширением, что значительно облегчает поставленную задачу. На выходе, транспонированные данные будут иметь вид как рисунке 37.

ИМТ	Объект
Time	Sea Surface Temperature
Oct 2009	0.9782026
Nov 2009	-1.713476
Dec 2009	-1.799999
Jan 2010	-1.797742

Рисунок 36. Процесс транспонирования матричных данных

Аналогичным образом была реализованы выборка, выгрузка и обработка многомерного массива пространственно-координированных геоданных по оставшимся трём параметрам: концентрация льда; скорость ветра; температура воздуха. Выборка по каждому параметру проводилась по всем трем точкам геопозиционирования указанными выше.

2.3 Алгоритм проверки исходного ряда на стационарность

После транспонирования матричного массива информации, полученные ряды данных для дальнейшего применения в целях и задачах исследования, необходимо выполнить проверку исходных рядов на стационарность. Условие стационарности ряда необходимо для моделирования параметрической системы и дальнейшей оценки эффективности. Непосредственно для применения в целях прогнозирования временного ряда необходимо построить его модель. Прогнозируемость ряда возможна лишь тогда, когда существует вероятностная связь последующих значений ряда от предыдущих.

Проверка стационарности осуществляется следующим образом:

1. Относительно математическому ожиданию (среднему) ряд проверяется по критерию Стьюдента (при уровне значимости 5%)

$$t^* = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{N_1 D_1 + N_2 D_2}} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 - 2)}{N_1 + N_2}},$$

где D_1, D_2 — дисперсия двух частей выборки, N_1, N_2 — длины соответствующего ряда.

2. Относительно дисперсии ряда выполняется проверка по критерию Фишера (при уровне значимости 5%)

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

где D_1, D_2 — дисперсия двух частей выборки.

Задача проверки исходного ряда в целях автоматизации реализуется программным методом на языке объектно-ориентированного программирования C Sharp (C#), MS Visual Studio.

Результатом проверки исходного ряда на стационарность будет служить разработанный модуль ПО (рисунок 38), функционирующий на вышеописанном математическом аппарате.

Степень свободы исходного ряда: 18
✓ Стационарность исходного ряда по Стьюденту: 2.03817931275965
✗ Стационарность исходного ряда по Фишеру: 0.136803275001185
✓ Оценка коэффициентов ЛРН по МНК: a = 13.1400003400669, b = 532.46438142175
✓ Коэффициент детерминации: 0.947135860150579
✗ Адекватность модели по Фишеру: 0.973335638371201
✗ SKO остатков модели: 0.915581040369865, SKO модели: 0,0758644146167238

Общие параметры оценки

Окно анализа	100
Точка начала анализа	0

Параметры оценки сходимости

Второе окно оценки исходных данных	10
Первое окно оценки исходных данных	10
Расстояние между окнами	1

Второе окно оценки исходных данных
Длина выборки рассчитанных данных для оценки (N2)

Пересчитать

Рисунок 37. Результаты проверки исходного ряда на стационарность

Сравнительная оценка данных производится интегрированными в программный комплекс таблицами: критических значений по Стьюденту на уровне значимости 0,10; 0,05; 0,01 и F-критерии по Фишеру при уровне значимости $\alpha = 0,05$ (таблица 5, 6).

Таблица 5. Критические значения t-критерия Стьюдента

Число степеней свободы d.f.	α			Число степеней свободы d.f.	α		
	0,10	0,05	0,01		0,10	0,05	0,01
1	6,3138	12,706	63,657	18	1,7341	2,1009	2,8784
2	2,9200	4,3027	9,9248	19	1,7291	2,0930	2,8609
3	2,3534	3,1825	5,8409	20	1,7247	2,0860	2,8453
4	2,1318	2,7764	4,6041	21	1,7207	2,0796	2,8314
5	2,0150	2,5706	4,0321	22	1,7171	2,0739	2,8188
6	1,9432	2,4469	3,7074	23	1,7139	2,0687	2,8073
7	1,8946	2,3646	3,4995	24	1,7109	2,0639	2,7969
8	1,8595	2,3060	3,3554	25	1,7081	2,0595	2,7874
9	1,8331	2,2622	3,2498	26	1,7056	2,0555	2,7787
10	1,8125	2,2281	3,1693	27	1,7033	2,0518	2,7707
11	1,7959	2,2010	3,1058	28	1,7011	2,0484	2,7633
12	1,7823	2,1788	3,0545	29	1,6991	2,0452	2,7564
13	1,7709	2,1604	3,0123	30	1,6973	2,0423	2,7500
14	1,7613	2,1448	2,9768	40	1,6839	2,0211	2,7045
15	1,7530	2,1315	2,9467	60	1,6707	2,0003	2,6603
16	1,7459	2,1199	2,9208	120	1,6577	1,9799	2,6174
17	1,7396	2,1098	2,8982	∞	1,6449	1,9600	2,5758

Таблица 6. Значения F-критерия Фишера

$k_1 \backslash k_2$	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	161,45	199,50	215,72	224,57	230,17	233,97	238,89	243,91	249,04	234,52
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,37	19,41	19,45	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,74	8,64	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,77	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,68	4,53	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,84	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,73	3,57	3,41	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,12	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,23	3,07	2,90	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,74	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	2,95	2,79	2,61	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,50	2,30
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,77	2,60	2,42	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,35	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,64	2,48	2,29	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,24	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,55	2,38	2,19	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,51	2,34	2,15	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,48	2,31	2,11	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,08	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,42	2,25	2,05	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,40	2,23	2,03	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,38	2,20	2,00	1,76

В случае если ряд нестационарен, то его необходимо привести к стационарному виду. В качестве математического аппарата сведения ряда к стационарности используется методы регрессионного анализа, скользящих средних и разностных операторов.

Таким образом, можно утверждать, что апробация и дальнейшее использование данной ИТ системы ресурса является более чем актуальным.

Из явных плюсов системы можно выделить следующие: система является репозиторием данных мировых организаций; интеграция с сторонними ИС; набор встроенных инструментов, которые помогают решать, как математические задачи, так и общераспространённые действия с данными, при этом, в одном программном пространстве. К минусам можно отнести: сложный не интуитивно понятный интерфейс ресурса; обязательное наличие знаний в ряде узкоспециализированных гидрометеорологических и экологических направлений; обязательные знания в области ИТ на уровне продвинутого пользователя; периодические системные ошибки в работе системы.

Представленная технология обработки пространственно-координированных геоданных подразумевает использование индивидуально подборной выгрузки многомерной БД, которую в дальнейшем можно использовать в необходимых математико-статистических операциях, а также интегрировать как БД в различные ИС, в том числе ГИС.

2.4 Составление методики представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния навигационной обстановки Арктического региона

С целью максимальной автоматизации ручных действий по выгрузки многомерных наборов данных, а также дальнейшей интеграции с МГИСУН, рассмотрим реализованную методику представления геоданных для моделей прогнозирования (рисунок 39).

Методика предполагает использование двух подсистем (IRI\LDEO DL и ГИС). На уровне подсистемы IRI\LDEO DL накапливаются и формируются массивы БД, за счет как внутренних, так и внешних средств. Взаимосвязь двух подсистем и интеграция в ГИС организуется посредством программного модуля API, реализованного на высокоуровневом языке программирования Python в среде MS Visual Studio Community 2019. Также предполагается прямое импортирование выборки данных посредством ресурса IRI в МГИСУН.

1. Алгоритм работы методики представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния обстановки Арктического региона на основе МГИСУН заключается в взаимосвязанном функционировании ряда модулей и сервисов (рисунок 39).

2. Ядром функционирования методики является программный модуль ГИС (на рисунке обозначен как ГИС APP). Данный компонент, своего рода является взаимозависимым узлом между всеми компонентами и модулями системы. ГИС APP имеет интерфейс управления модулями и сервисами обработки геоданных. Более того центральный компонент синхронизируется для обмена данными с внешним источником, в частности с IRI DL. В задачу APP также входит взаимодействие с конечным пользователем (потребителем) через

автоматизированное рабочее место (АРМ ГИС). Формирование алгоритма прогнозирования и принятия управленческого решения навигацией основано на базе знаний и системе мониторинга.

3. Данные поступают в модель посредством защищенного VPN канала, через глобальную сеть Интернет. После взаимодействия с модулем обмена данными, информация формируется за счёт двух модулей: формирование данных и обработки на табличном процессоре. Полученная

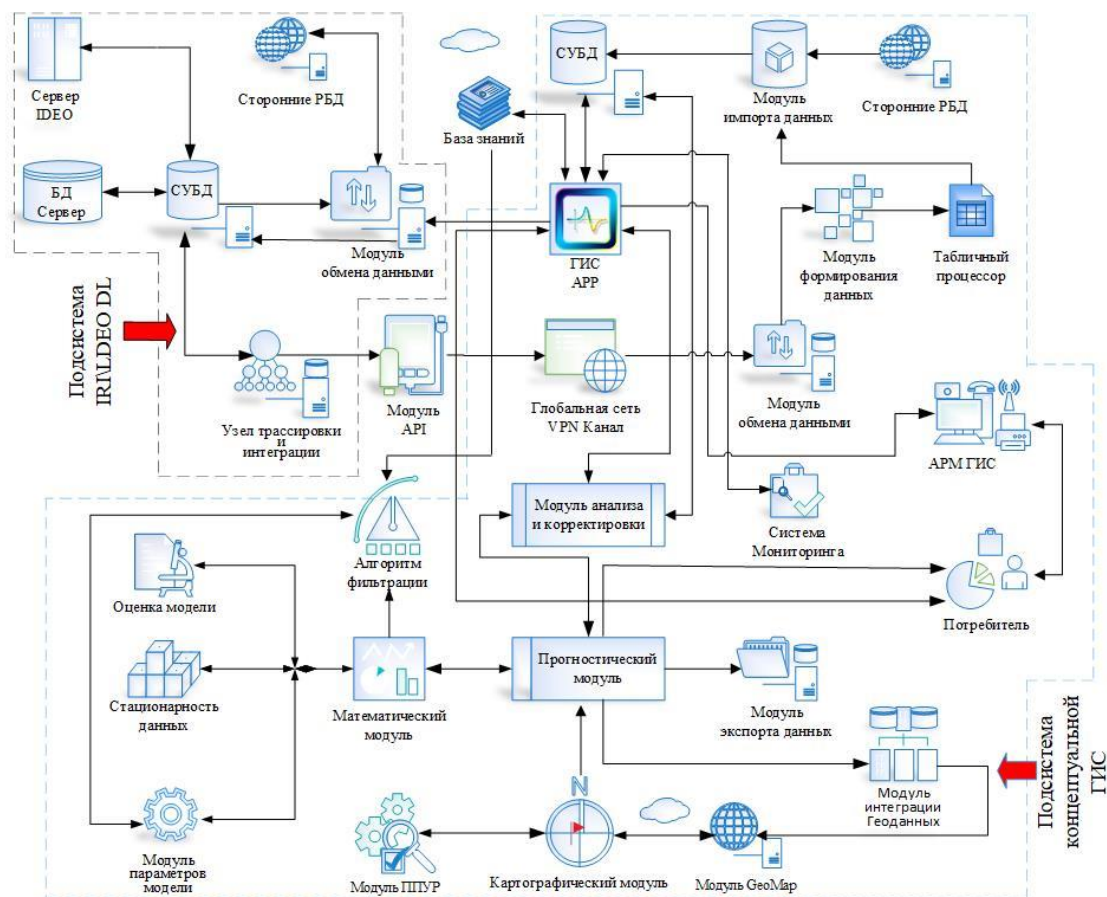


Рисунок 38. Методика представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния обстановки Арктического региона

информация поступает в модуль импорта данных, который в свою очередь имеет возможность импортировать внешние источники распределенных данных.

4. Управление сформированными базами данных осуществляется соответствующей системой (СУБД), взаимосвязанная с интерфейсом ГИС APP. Оконечные данные проходят качественную проверку на этапе модуля анализа и корректировки, после чего подлежат дальнейшей обработке.

5. Финализированные данные обрабатываются в одном из главных модулей модели – прогностический модуль. В задачу прогностического модуля входят следующие функции:

- обработка данных посредством математического модуля, которую свою очередь базируется на выборе алгоритма прогностической фильтрации данных, настройки параметров

обработки данных, оценивание адекватности полученной модели и стационарности исходного ряда;

- обработка данных на уровне картографического модуля. Задачей работы с данными на уровне картографического модуля является поддержка и принятие управленческого решения в области арктической навигации; автоматизированное картографическое проектирование, реализуемой за счет подключаемого модуля GeoMap и интеграции с модулем геоданных;

- выгрузка обработанной информации посредством модуля экспорта данных;

Реализованная методика интегрирована в качестве базовой центральной подсистемы геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе России.

Результатами апробации работы методики представления геоданных является:

- анализ информационно-технологической системы ресурса IRI DL;

- выборка и выгрузка массива пространственно-координированных геоданных гидрометеорологической обстановки четырёх исследуемых параметров по трем геопозиционным точкам Арктического региона РФ;

- формирование, посредством транспонирования, выгруженных матричных геоданных в универсальный табличный формат;

- проверка и сведение ряда полученных исходных геоданных к стационарности;

- реализация и интегрирование в ГИС методики представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния обстановки Арктического региона.

Полученные результаты в виде сформированного набора географических БД подлежат дальнейшему оперированию, в качестве входных данных и последующей обработке. Следующим этапом применения полученных геоданных, в целях и задачах исследования, является прогнозирование гидрометеорологической и навигационной обстановки, за счет разработки новых моделей, базирующихся на основе модифицированных алгоритмах рекурсивной фильтрации.

Требования и условия, предъявляемые к моделям прогнозирования данных дистанционного зондирования Арктического региона на основе модифицированных алгоритмов рекурсивной фильтрации

В целях разработки модели прогнозирования состояний при полной определённости исходных значений, были проанализированы и рассмотрены фундаментальные основы прогностических методы, а также ряд алгоритмов, позволяющие решить необходимую задачу, в частности, к наиболее эффективным можно отнести следующие методы: прогностические модели математической статистики, методы наименьших квадратов и максимального

правдоподобия. В следствие чего, в качестве базовой основы необходимо использовать такую среду, в которой применяется один или несколько перечисленных алгоритмов. *При этом такой алгоритм должен выполнять ряд условий:*

- возможность использования математического алгоритма в сфере гидрометеорологии;
- работа с объемными массивами матричных разнородных геоданных, в том числе со стохастическими;
- возможность использования в качестве данных нестационарных временных рядов;
- работа с прогностической оценкой прогнозирования как краткосрочной, так и долгосрочной;
- минимизация, возможность пренебрежения и независимость от внешних воздействующих факторов на расчетные данные;
- реализация метода на ЭВМ, посредством высокоуровневого языка программирования в виде подключаемой библиотеки;
- интеграция и синхронизация с внешними ИС;
- визуализация сравнительных характеристик исходных и прогностических геоданных;
- отсутствие в необходимости использования специальных инструментов для чтения полученных результатов;
- подверженность к дальнейшей модификации алгоритма, в целях повышения качества прогностической оценки;
- гибкая параметрическая настройка управляющей математического аппарата;
- реализованная модель должна отвечать и соответствовать положительным критериям оценки качества по коэффициенту значимости Стьюдента и соответствовать коэффициентам адекватности по критерию Фишера;
- эталонная модель должна содержать в структуре алгоритма фактор универсальности;
- результаты прогноза должны соответствовать не менее 96 % точности при краткосрочном прогнозировании и не менее 50 % при долгосрочном;
- разработанная модель должна отвечать требованиям поставленные в целях и задачах настоящего исследования.

Согласно указанным условиям и особенностям в качестве моделей прогнозирования было принято решение использовать алгоритмы, применяемые в оптимальных фильтрах. К таким моделям относятся алгоритмы фильтрации Калмана и Левинсона, в дальнейшем получившие модификацию в виде совмещения и доработки однородных алгоритмов, результатом которых являются линейные фильтры Калмана-Бьюси и Левинсона-Дарбина.

Методологические аспекты рекурсивного алгоритма прогнозирования геоданных на основе линейного фильтра Калмана

Алгоритм Калмана по критерию минимума средней квадратической ошибки и его обобщения на случай гауссовских нелинейных непрерывных и дискретных динамических систем являются, пожалуй, самыми известными результатами современной теории управления, которые нашли практическое приложение. Более того, фильтр используется для предсказания возможных тенденций развития динамических систем, которыми невозможно управлять.

Фильтр Калмана [68] предназначен для моделирования отклика системы с неизвестной передаточной функцией. Допускается утверждать сходимость фильтра с моделью системы «черного ящика», внутреннее устройство и механизм работы которого очень сложны, неизвестны или неважны, при этом, обобщенная суть работы заключается в подаче на некий «вход» данных и использования «выхода» для отображения результатов работы, при этом процессы, происходящие в ходе работы системы, обсерватору неизвестны.

В случае с фильтром Калмана, предполагается, что состояние выходов функционально зависит от состояния входов. Фильтр использует динамическую модель системы (предполагаемую передаточную функцию), известные управляющие воздействия и множество последовательных измерений для формирования оптимальной оценки состояния.

Алгоритм состоит из двух повторяющихся фаз: предсказание (прогноз) и корректировка. На первом этапе рассчитывается предсказание состояния системы в следующий момент времени (с учетом неточности их измерения). В математическом виде первая фаза является уравнением матричной формы, в свою очередь разделенная на два уравнения: уравнение непосредственно прогнозирования состояния системы (формула 2) и уравнение прогнозирования ошибки ковариации (формула 2.1).

$$\hat{x}_k = F_k \hat{x}_{k-1} + B_k u_{k-1}, \quad (2)$$

где $\hat{x}_k$ — прогнозируемое состояние на k шаге; F_k — динамическая матрица перехода состояние системы; $\hat{x}_{k-1}$ — значение системы на предшествующем шаге; B_k — матрица управляющего воздействия; u_{k-1} — управляющее воздействие на предшествующем шаге.

$$P_k = F_k \bar{P}_{k-1} A_k^T + Q_k, \quad (2.1)$$

где P_k — ковариационная матрица прогнозирования ошибки; F_k — динамическая матрица перехода состояние системы; $\bar{P}_{k-1}$ — ковариационная матрица, отображающая ошибку на предшествующем шаге; Q_k — матрица ковариации значения шума.

В связи с тем, что в исследование управляющие воздействия не определены, то есть они отсутствуют, их значение будет равно нулю ($B_k = 0$), либо управляющее воздействие можно отнести к шумам.

На втором этапе, фактические данные сопоставляются с полученными прогнозируемыми, после чего новая информация о состоянии системы корректирует предсказанное значение (также с учетом неточности и зашумленности этой информации). Точно также, как и в первой фазе, уравнения представляют собой матричную форму, которые можно представить в виде нескольких этапов [113]:

В качестве первого этапа рассмотрим уравнение коэффициента усиления Калмана (формула 2.2):

$$K_k = P_k H^T (H P_k H^T + R)^{-1}, \quad (2.2)$$

где K_k — коэффициент усиления Калмана; P_k — ковариационная матрица прогнозирования ошибки; H^T — матрица состояния полученных значений по отношению фактических данных; R — ковариационная матрица измерения шума.

Далее используя рассчитанные данные корректируем систему с учетом фактического состояния z_k и получаем уравнение следующего типа (формула 2.3):

$$\hat{x} = \hat{x}_k + K_k (z_k - H \hat{x}_k), \quad (2.3)$$

где z_k — измерение фактического состояния на текущий момент.

На последнем этапе уравнение ковариационной матрицы обновленного состояния системы (формула 2.4):

$$P_k = (I - K_k H) P_k, \quad (2.4)$$

где I — матрица идентичности.

Описанные теоретические аспекты являются своего рода жизненным циклом фильтра Калмана. Теория алгоритма фильтра Калмана заключается в прогнозировании будущего состояния системы, основываясь на предшествующих показаниях, корректировки полученного состояния, шумов и фактического показания.

Анализ теории фильтрации Калмана показывает актуальность его использования в поставленной задаче. Теме не менее, так как объект исследования имеет ряд своих уникальных критериев, необходимо учитывать данный фактор и на основании этого модифицировать алгоритм под параметры, поставленные целями и задачами работы.

Рассмотренные уравнения представлены в матричной форме. Исследуемая система работает с одной анализируемой переменной матрицы, таким образом переменные будут вырождаться в скалярные значения (матрицы с размерностью 1×1). Для того, чтобы применить фильтр к анализируемой системе, необходимо определить матрицы (значения скалярных коэффициентов) определяющих динамику системы и измерений F , B и H :

— F — матрица, описывающая динамику системы, в данном случае с природной системой динамика имеет стохастический характер, поэтому примем эту переменную равную 1, то есть

указывается, что предсказываемое значение будет равно предыдущему состоянию;

– B — матрица, определяющая применение управляющего воздействия. Так как возможности влиять на природные процессы отсутствуют, то принимаем $B = 0$;

– H — матрица, определяющая отношение между измерениями и состоянием системы. В нашем случае (природный процесс) принимаем то, что измерение полностью отображает состояние системы, поэтому примем эту переменную также равную 1.

Для корректировки предсказанного состояния необходимо определить следующие матрицы (в дальнейшем, эти параметры будут вынесены в настройки фильтра):

– R — ошибка измерения. Может быть определена испытанием измерительных приборов и определением погрешности их измерения, задается абсолютное значение;

– Q — определение шума процесса является более сложной задачей, так как требуется определить дисперсию процесса, что не всегда возможно.

Определив все необходимые переменные, получаем модифицированный вид алгоритма, при котором расчет на шаге k ведется по следующим формулам:

– на этапе предсказания:

$$\hat{x}_k = Fx_{k-1},$$

где $\hat{x}_k$ — предсказание состояния системы;

$$\hat{P}_k = F^2 P_{k-1} + Q,$$

где $\hat{P}_k$ — ошибка предсказания.

– на этапе корректировки:

$$K_k = \frac{H\hat{P}_k}{H^2\hat{P}_k + R},$$

где K_k — вспомогательный коэффициент;

$$x_k = \hat{x}_k + K_k(z_k - H\hat{x}_k),$$

где x_k — откорректированный прогноз состояния системы;

$$P_k = (1 - K_k H)\hat{P}_k,$$

где P_k — откорректированная ошибка прогноза, z_k — величина текущего измерения состояния системы.

Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что фильтр Калмана по сути является фильтром с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтром) с динамической корректировкой передаточной функции.

Отобразим алгоритм линейного фильтра Калмана в виде блок-схемы (рисунок 40).

Блок-схема является базовой основополагающей алгоритма фильтрации для дальнейшего развития модификации.

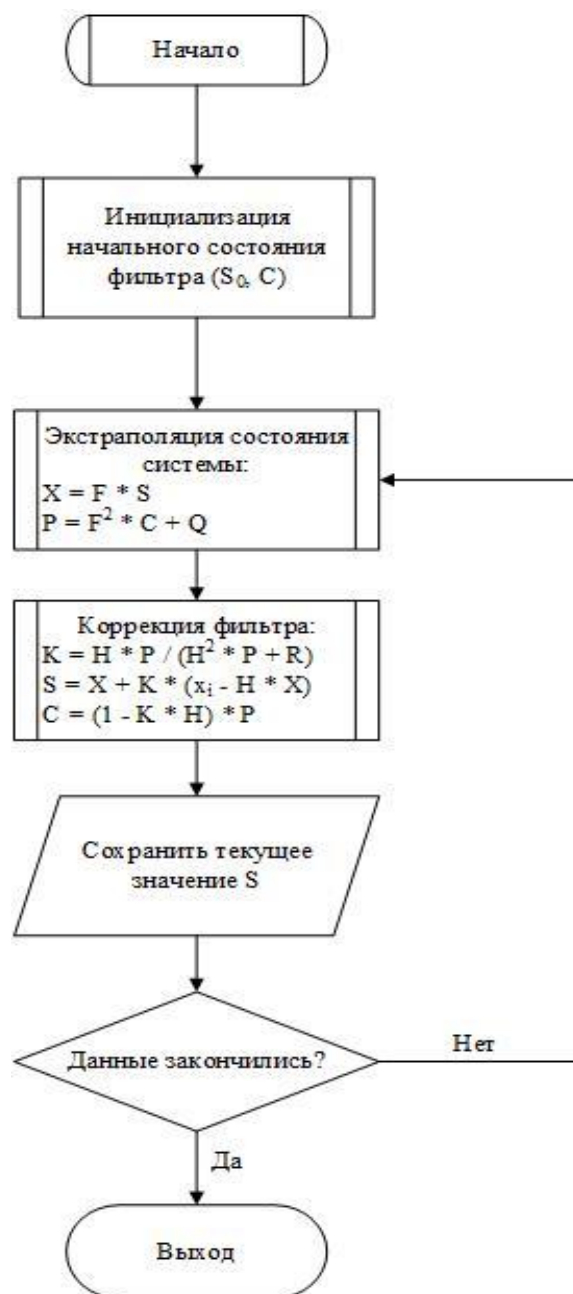


Рисунок 39. Структурная блок-схема алгоритма фильтра Калмана

2.5 Разработка модели прогнозирования состояния навигационной обстановки Арктического региона на основе модифицированного алгоритма рекурсивной фильтрации Калмана-Бьюси

Как отмечено ранее, в результате совмещения и доработки однородных алгоритмов, а именно рассмотренного алгоритма Р. С. Бьюси [115] вырождается линейный фильтры Калмана-Бьюси с непрерывной по времени динамической моделью.

Подход заключается в комбинации двух известных формулировках [116]:

– динамическая система рассматривается как перемещение в пространстве состояний;

– линейная фильтрация рассматривается как ортогональная проекция в гильбертовом пространстве.

Данный подход к задаче оптимальной оценки состояния динамической системы отсылает к принципу двойственности, объединяющий стохастическую фильтрацию с детерминированной теорией оптимального управления, что в свою очередь допускает возможность транслирования результатов одной системы на другую.

Данный алгоритм оптимальной фильтрации предполагается использовать для оценки краткосрочного прогнозирования, при этом, содержащийся фактор универсальности алгоритма, позволяет фильтр также использовать в долгосрочных прогнозах состояния системы. Рассмотрим основные теоретические аспекты фильтрации Калмана-Бьюси и сопоставим алгоритм с ранее модифицированной моделью Калмана.

Фильтр Калмана – Бьюси [80] является универсальной методикой, в задачу которого входит построение алгоритма, осуществляющий преобразование сигналов, поступающих на вход. Важной особенностью линейного фильтра является то, что при получении новой базы данных (априорных значений), фильтр обновляет текущее состояние системы, после чего прогнозирует (предсказывает) будущее состояние.

Работа линейного фильтра Калмана – Бьюси для реализации предсказаний будущего состояния системы [81] осуществима только, если прогнозируемые процессы в дискретном случае можно описать разностными уравнениями типа:

$$x_t = \Phi(t, t-1)x_{t-1}, \quad (3)$$

где $\Phi(t, t-1)$ - переходная матрица, характеризующая структуру x_t , при этом наблюдения должны удовлетворять соотношению

$$z_t = P_t x_t + \varepsilon_t, \quad (3.1)$$

где P_t - матрица ограничений на наблюдения; ε_t - ошибка наблюдений.

Для того чтобы решить задачу прогнозирования $y(t)$ с помощью фильтра Калмана – Бьюси, необходимо провести зависимость

$$\tilde{y}_i(t) = \sum_{j=0}^m a_{ij} \phi_j(t), \quad i = \overline{0, n}, \quad (3.2)$$

где a_{ij} - случайные величины; $\{\phi_j(t)\}_{j=0}^m$ - непрерывные детерминированные функции времени в соответствии с выражением (3).

Требуемые преобразования можно осуществить на основе расширения пространства состояний [84], то есть путем введения новых координат в пространство параметров, определяющих техническое состояние.

Компонентами вектора x_t будут служить коэффициенты a_{ij} (элементы матрицы A выражения (3.2)), отсюда x_t можно сформировать на строк матрицы A , где его размерность будет $l = nm$, где n и m – число строк и столбцов матрицы. При этом $\Phi(t, t - 1)$ – единичная матрица размером $l \times l$, а матрица P_t размера $n \times l$ состоит из компонентов вектора $\{\phi_j(t)\}_{j=0}^m$ – детерминированного базиса модели (3.2). Построение P_t можно реализовать последовательным сдвигом по строкам на $i(m + j)$ транспонированного вектора ϕ (i – номер строки матрицы P_t) [87].

Решением уравнений (3) и (3.1) будут известные соотношения, определяющие фильтр Калмана – Бьюси [89]. После преобразования этих соотношений в соответствии с постановкой задачи прогнозирования получим:

$$x_{t+1} = x_t + W_t(z_t - P_t x_t) \quad (3.3)$$

$$W_t = K_t P_t^T (P_t K_t P_t^T + R_t)^{-1}$$

$$K_{t+1} = K_t - W_t P_t K_t, \quad (3.4)$$

где x_{t+1} – прогнозируемая на момент времени $t + 1$ по результатам имеющихся к этому времени наблюдений оценка x (условное математическое ожидание x); x_t – прогнозируемая на момент времени t оценка x ; K_t – ковариационная матрица компонентов вектора x_t ; K_{t+1} – ковариационная матрица компонентов вектора x_{t+1} ; W_t – матрица передачи фильтра; z_t – результаты наблюдений $y(t)$ в момент t ; R_t – ковариационная матрица ошибок измерений ε_t .

Для прогнозирования, то есть для решения выше приведенных уравнений, служат априорные оценки математических ожиданий – коэффициенты a_{ij} , их ковариационная матрица, результаты контроля $y(t)$ и ковариационная матрица ошибок измерений.

Следует отметить, что безотносительно к форме распределения входного сигнала при заданном первом и втором моментах фильтр Калмана – Бьюси обеспечивает получение наилучших в среднеквадратическом смысле линейных оценок [81].

Решением поставленной задачи используется модель:

$$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2, \quad (3.5)$$

так как выше сказано, что фильтр использует рекуррентную обработку информации, наделяя данный метод адаптивными свойствами, в свою очередь позволяющие применять более простые модели $y(t)$, в частности модель вида

$$y(t) = A \cdot F(t), \quad (3.6)$$

не выше второго порядка ($m = 2$).

В первоначальные моменты анализа состояния объекта ГИС нет никакой информации о свойствах изменения его параметров, а входными данными для фильтра Калмана-Бьюси служат

априорные оценки математических ожиданий коэффициентов a_{ij} и их ковариационная матрица. Поэтому при использовании модели (3.5) необходимо получить оценки математических ожиданий коэффициентов a_{ij} и их ковариационную матрицу. Так как в дальнейшем процессе наблюдается изменение параметра по результатам его периодических измерений, то возможно построить зависимость изменения этого параметра по времени и сделать его экстраполяцию.

В соответствии с условиями, необходимыми для работы фильтра Калмана-Бьюси и соотношениями (3.3), ковариационная матрица K_t имеет размерность 3×3 , т.е. для ее построения необходимо произвести аппроксимацию зависимости параметра по времени трижды для получения оценок коэффициентов a_{ij} .

Поэтому аппроксимацию зависимости параметра по времени возможно провести следующим способом:

- произвести аппроксимацию в соответствии с моделью (3.5) по первым четырем моментам контроля, затем по второму, третьему, четвертому и пятому моменту контроля, и по пяти моментам контроля;
- рассчитать математические ожидания коэффициентов a_{ij} для каждого из трех отрезков;
- на основании результатов произвести построение ковариационной матрицы K_t .

Возможно, использовать аппроксимацию по трем моментам контроля, однако такой способ менее точен по сравнению с предложенным, и не обеспечивает достаточную начальную точность работы оптимального фильтра.

Таким образом, для реализации прогнозирования по методу оптимальной фильтрации необходимо произвести как минимум пять замеров контролируемых параметров, после чего возможно использовать фильтр Калмана-Бьюси для решения поставленной задачи [83].

Аппроксимировать зависимость параметра по времени возможно с использованием метода наименьших квадратов или метода экспоненциального сглаживания.

Непосредственно для решения поставленных задач исследования, так как фильтр Калмана-Бьюси разработан для непрерывных систем [75], в качестве алгоритма будет использоваться гибридный фильтр Калмана, который применяется для экстраполяции состояния системы уравнения прогноза фильтра Калмана-Бьюси с непрерывным временем (формула 3), при этом коррекция производится аналогично дискретному модифицированному ранее фильтру Калмана.

$$P = (F + C)^2 + Q, \quad (3.7)$$

В основе фильтра Калмана – Бьюси [82] заложен рекуррентный алгоритм, что дает непосредственную возможность реализовывать его за счет ЭВМ на высокоуровневом языке программирования и в дальнейшем внедрять в ИС. Разработаем модифицированный алгоритм

фильтрации Калмана-Бьюси, в виде структурной блок-схемы (рисунок 41), в целях реализации интегрируемого модуля-библиотеки МГИСУН в Арктическом регионе России.



Рисунок 40. Структурная блок-схема алгоритма фильтра Калмана-Бьюси

В целях исследования, матрицы были модифицированы, путем приведения их к разностным коэффициентам. Обозначим значения структурных коэффициентов блок-схемы измененного алгоритма фильтра: S_0 – Первоначальное состояние фильтра, фактически –

начальное состояние анализируемой системы; C – коэффициент ошибки предсказания, который в дальнейшем будет перерасчитываться; X – экстраполированное состояние системы; P – оценка дисперсий погрешности вычисленного состояния и ковариации, показывающие выявленные взаимосвязи между параметрами состояния системы; F – коэффициент эволюции системы; Q – коэффициент случайных воздействий на систему; H – коэффициент измерений, связывающий истинный вектор состояния и вектор произведенных измерений; R – коэффициент шума измерений.

Проанализировав две представленные бок-схемы, можно сделать вывод, что главное отличие содержится в экстраполяции состояния системы, а именно использовании в качестве уравнения алгоритм Бьюси с непрерывным временем.

Непосредственно структура самого алгоритма, была изменена в части присвоения коэффициентов матричным обозначениям, что дает возможность реализовать алгоритм в виде модели цифрового фильтра Калма-Бьюси и провести его апробацию, применив ранее полученные и обработанные геоданные.

Фильтр реализуется на ЭВМ, посредством высокоуровневого языка объектно-ориентированного программирования C Sharp (C#), в среде MS Visual Studio Community 2019. Важным примечанием в ходе разработки для дальнейшей апробации, является допустимость интеграции во внешние ИС, что добивается путем создания фильтра в цифровой форме не как отдельного ПО, а как вспомогательной библиотеки данных – файл с расширением «.dll». В дальнейшем библиотека будет погружаться как один из модулей генеральной ГИС.

В ходе апробации модифицированного алгоритма фильтра прогнозирования будущего состояния навигационной обстановки Арктического региона, задействуем имеющиеся БД по четырем параметрам:

- концентрация морского льда;
- температура поверхности воды;
- скорость ветра (зональная составляющая);
- температура воздуха.

Результаты обработки данных (Рисунок 42, 43) через модифицированный фильтр Калмана-Бьюси реализуется по четырем, обозначенным ранее, геопозиционным точкам.

- Точка А – E81.5° восточной долготы, N74.5° северной широты
- Точка Б – E88.5° восточной долготы, N76.5° северной широты
- Точка В – E100.5° восточной долготы, N77.5° северной широты

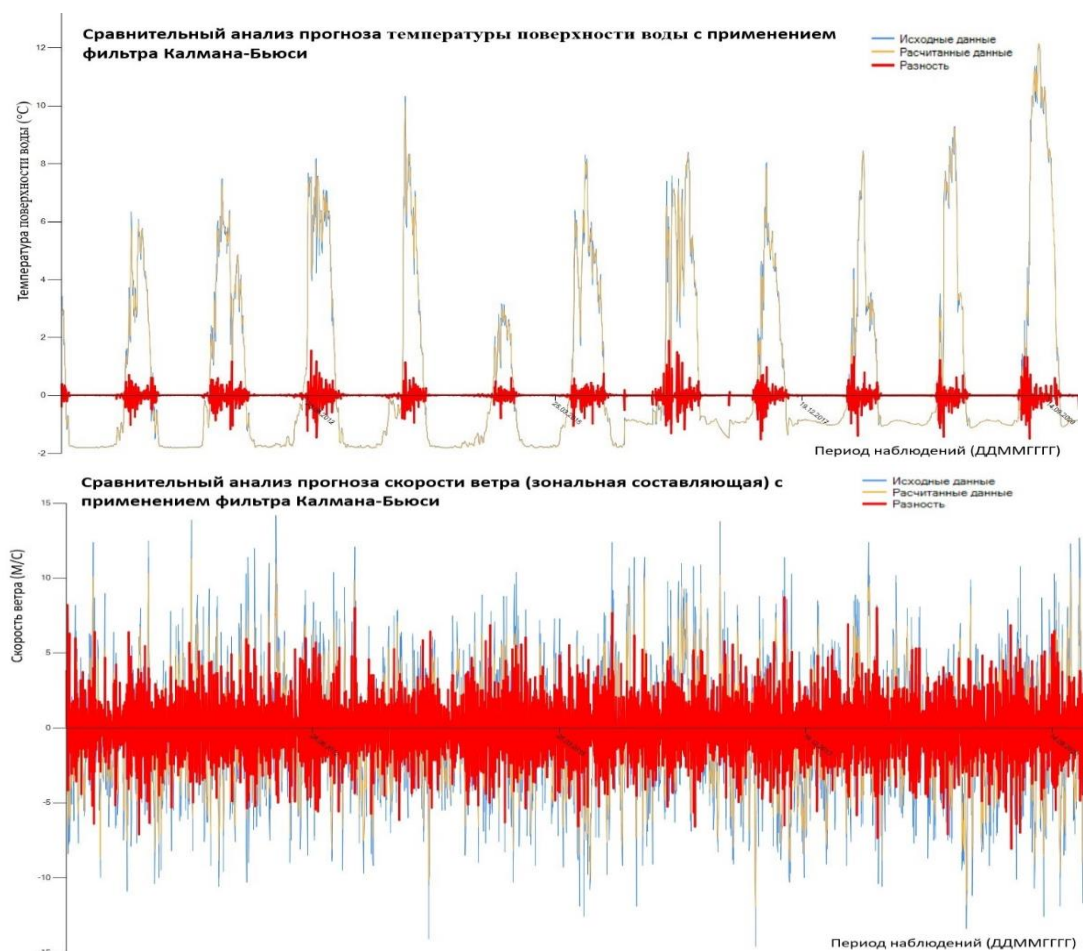


Рисунок 42. Результаты апробации модели модифицированного фильтра Калмана-Бьюси (параметр скорость ветра и температура поверхности воды)

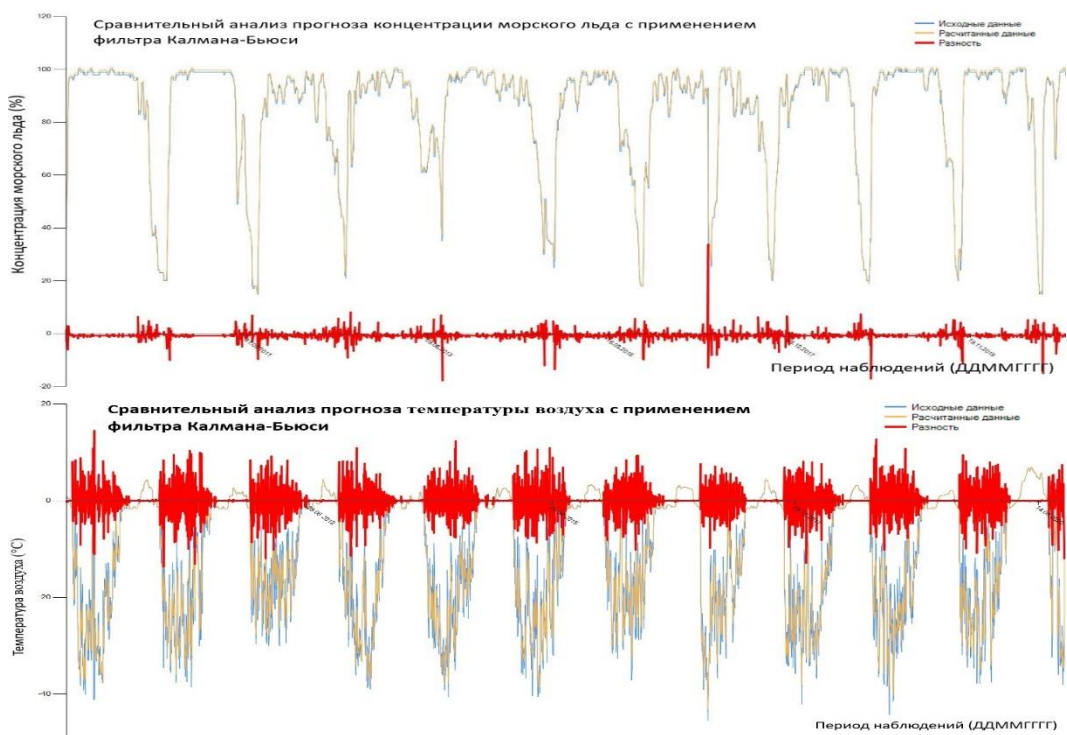


Рисунок 41. Результаты апробации модели модифицированного фильтра Калмана-Бьюси (параметр температура воздуха и концентрация морского льда)

Проанализируем результаты фильтрации по каждому из параметров в одной точке (результаты апробации в двух остальных точках представлены в Приложении А).

Исходя из полученных данных, представленных в визуализированной форме, отчетливо видно, что алгоритм модифицированного фильтра Калмана-Бьюси оправдывает поставленные задачи и условия, при этом не только для решения краткосрочной прогностической оценки [73], но и в том числе для интерпретации долгосрочного прогноза. Не смотря на общий положительный результаты, на графике наблюдается ряд расхождений и отклонений между прогностической оценкой и априорными значениями геоданных. Разность на изображении выражена красной линией. Настройка разности произведена в сторону повышенной чувствительности отклонений, таким образом обрисовываются мельчайшие расхождения.

Природа вызванных отклонений зависит от ряда особенностей цифровой фильтрации:

- основополагающим фактором погрешности рассчитанных данных – прогноза является отсутствие истинного коэффициента внешнего управляющего воздействия. Так как представленные геоданные о навигационной обстановке являются дискретным описанием природных процессов, можно утверждать, что такая информация является стохастической. Описать и привести к дискретной форме, природные стохастические данные, для дальнейшей обработки на ЭВМ, задача крайне сложная и требует отдельного исследования. Стоит учитывать, что ряд исследуемых природных процессов взаимосвязан, таким образом, в случае описания одного стохастического параметра, образуется ряд корреляции с другими параметрами. Абсолютным решением данной проблемы предполагается разработка универсально-обобщенного параметра ряда взаимосвязанных природных процессов;

- не мало важной составляющей, вызывающая погрешности в работе фильтра, является непосредственно особенность работы сбора ДДЗ Арктического сектора. Полученные данные со спутниковой ГИС имеют пропуски (нулевые значения) в определенный период измерений. Это связано с гидрометеорологической обстановкой ряда параметров, а также объясняется тем, что в указанную дату по координатам исследуемых точек не были произведены измерения спутником ввиду его характеристик пространственного покрытия. В следствие чего, погрешность алгоритма фильтрации Калмана-Бьюси становится маленькой, при этом матрица ковариаций вырождается, после чего не рассчитывается и на графике отображается в виде всплеска. Не смотря на подачу нулевых значений на вход фильтра, алгоритм принимает данные значения и настраивается исходя из обобщенных данных;

- линейная несущая фильтра также влияет на коэффициент погрешности. Линейность придает фильтру свойство ограниченности, соответственно для получения наименьшей среднеквадратической ошибки необходимы слишком ограниченные условия (гипотезы). Как пример конвенции – шум является белым и распределен по нормальному закону, математическое

ожидание шумов равно нулю, отсутствуют корреляции между шумами и перекрестные связи между фазовыми координатами. Перечисленные выше ограничения можно обойти, но все пути приведут к значимому увеличению вычислительной сложности, так как будет расти размерность задачи и трудностям синтеза фильтра.

Анализ оценки качества и адекватности модифицированной модели рекурсивной фильтрации на основе алгоритма Кламана-Бьюси

Наличие визуализированных результатов, учитывая очевидные положительные аспекты, не являются полноценно завершенной оценкой качества разработанной модели. В целях определения адекватности и качества реализованного алгоритма фильтра, применим общеизвестные фундаментальные математико-статистические законы.

Первым этапом, необходимо оценить качество модели. Оценка проводится по теории следующих критериев:

Определим коэффициенты модели и их значимость по критерию Стьюдента. Непосредственно критерий рассчитывается по следующему закону:

$$t_a^* = \frac{|a|}{\sigma_a}; t_b^* = \frac{|b|}{\sigma_b}; \sigma_a = \frac{\sigma_y(1-r^2)}{\sigma_x(\sqrt{N-1})}; \sigma_b = \frac{\sigma_y\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{N-1}},$$

где σ_a, σ_b – стандартные случайные погрешности расчета коэффициентов a и b ; r – коэффициент корреляции переменных, входящих в уравнение модели; σ_y, σ_x – стандартные отклонения зависимой и независимой переменной, N – длина ряда. После чего необходимо сравнить t^* с $t_{крит}$.

На втором этапе необходимо рассчитать коэффициент детерминации r^2 .

Следующий шаг – определение адекватность модели исходным данным:

Выполнение данного условия требует определить для каждого момента времени рассчитанные по модели значения характеристики ($\hat{y}$).

Соответственно, рассчитываем дисперсию модели:

$$D_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2,$$

где $\bar{y}$ – среднее значение;

Далее, для каждого момента времени рассчитываем остатки:

$$E_i = y_i - \hat{y}_i$$

После чего необходимо определить дисперсию остатков E :

$$D_e = \frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N (E_i^2)$$

На последнем этапе проводим непосредственно оценку адекватности модели, по критерию Фишера при уровне значимости 5%:

$$F^* = \frac{D_{\dot{y}}}{D_E} N$$

Отметить, что стандартной (среднеквадратической) ошибкой модели является условие:

$$\sigma_e = \sqrt{D_e}$$

Таким образом, реализованная цифровая модель фильтра на основе модифицированного алгоритма Калмана-Бьюси качественная если: все коэффициенты модели значимы; коэффициент детерминации больше 0,7; модель должна быть адекватна; стандартная ошибка модели σ_e должна быть меньше стандартного отклонения ряда зависимой переменной σ_y .

Для расчет описанной теории, разработаем программу для ЭВМ. В качестве среды разработки служит ранее применяемый язык программирования C#. Реализованная программа также должна соблюдать условие интегрированности во внешние ИС и служить подключаемым компонентом. Результаты оценки качества и адекватности модели приведены на рисунке 44.

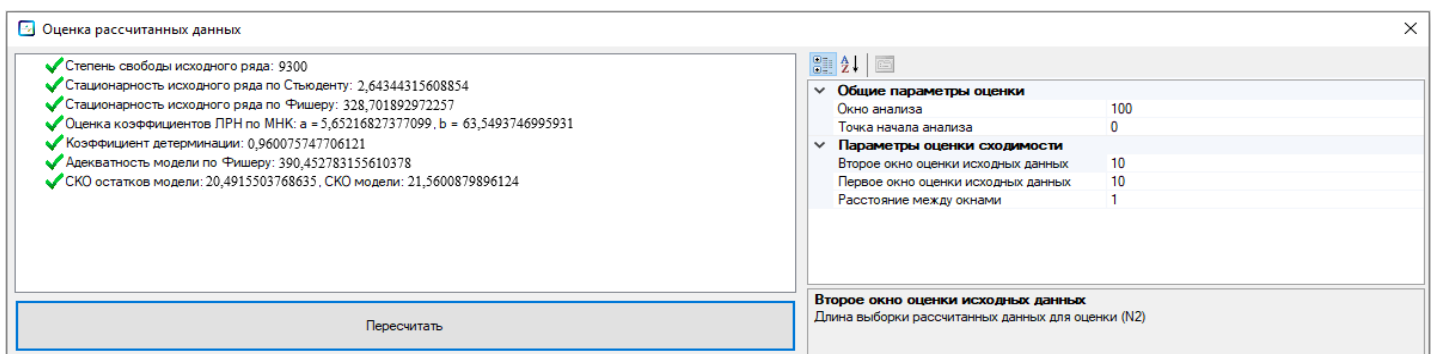


Рисунок 43. Результаты оценки качества и адекватности реализованной модели фильтра Калмана-Бьюси

Исходя из полученных результатов, цифровая модель отвечает критериям качества и адекватности, базирующиеся на фундаментальных принципах математико-статистического анализа.

В качестве особенности использования модифицированного цифрового фильтра Калмана-Бьюси можно отметить его уникальное свойство прогнозирования. Суть алгоритма прогнозирования заключается в том, что прогностическая оценка дается на длину фильтра, то есть, если на вход подается показания на месяц, фильтр выполнит прогноз на будущий месяц, с учетом вышеизложенных негативных аспектов. Таким образом, фильтр работает в реальном времени и не имеет алгоритма анализа архивных данных, которые влияют на формирование системы прогноза в целом.

Так как одной из задач исследования является построение долгосрочного прогноза гидрометеорологической и навигационной обстановки в Арктике, что в свою очередь подразумевают применение такого алгоритма, свойства которого отсылались бы на работу с архивными геоданными. Разберем такой алгоритм.

2.6 Разработка модели прогнозирования состояния навигационной обстановки Арктического региона на основе модифицированного алгоритма рекурсивной фильтрации Левинсона-Дарбина

Одним из наиболее результативных прогностических методов является решение авторегрессионных моделей. В основе метода заложен алгоритм модели авторегрессии определённого порядка с последующей функцией выборки ряда применяемых значений. В ходе минимизации уравнений, согласно методу наименьших квадратов, формируется тёплицева симметрия. Большинство задач управления сводятся к системам структурированных уравнений (теплицевы или ганкелевы матрицы).

Особенность тёплицевой симметрии заключается в вырождении таких структурированных уравнений в виде матриц, левые части которых, обособленные коэффициенты совпадают на главной диагонали и все коэффициенты на диагоналях, равноотстоящих от главной. Матрицы с симметрией подобного вида именуются тёплицевыми. Наилучшим методом решения подобного рода матриц является применение быстрых алгоритмов, один из которых – алгоритм Левинсона. Более того, существует другая особенность теплицевых матриц, заключающиеся в том, что столбец свободных членов сформирован из элементов той же матрицы автокорреляционной функций (АКФ). На данном этапе, для решения задачи, следует применять алгоритм Левинсона-Дарбина. Стоит отметить, что алгоритм Дарбина, также используется для центрирования выборки и серьёзного упрощения модели. Применим математический аппарат указанных алгоритмов в поставленной задачи исследования.

Центральной моделью алгоритма долгосрочного прогнозирования будущего состояния, предлагается использовать рекурсивную фильтрацию Левинсона [119, 117, 110], а точнее усовершенствованную, как в случае с фильтром Калман-Бьюси, за счет объединения двух алгоритмов (Н. Левинсона и Дж. Дарбина [118]) – модель Левинсона-Дарбина. Рассмотрим особенности и целесообразность применения данного алгоритма в целях работы, а также модифицируем его для использования в применяемой специфике.

Алгоритм Левинсона-Дарбина [120] предназначен для расчета матрицы переходных коэффициентов A , использующимся в линейном прогнозе состояния системы. Ведущее назначение матрицы переходных коэффициентов состоят в минимизации среднеквадратической

ошибки между прогностической оценкой и актуальным состоянием системы. Модифицируем алгоритм, предельно упрощая и приближая к поставленной практической задаче:

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(\sum_{i=0}^k a_i y_{n-i} \right)^2 \rightarrow \min ,$$

где k - подлежащие дальнейшему вычислению коэффициенты, a_i - i -й коэффициент многополюсной модели (вектор, содержащий коэффициенты кодирования с линейным предсказанием), y - шаг предстоящего расчета.

Переходя к дискретной системе, упростим задачу:

$$\sum_{i=0}^k a_i \sum_{n=-\infty}^{\infty} y_n y_{n+j-i} = 0;$$

принимая:

$$R_i = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y_n y_{n+1} ,$$

как коэффициент автокорреляции между соответствующими состояниями системы переформулируем и модифицируем задачу в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} R_1 & R_0 & \cdots & R_{k-1} \\ R_2 & R_1 & \cdots & R_{k-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{k-1} & R_{k-2} & \cdots & R_1 \\ R_k & R_{k-1} & \cdots & R_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_k \end{bmatrix} = 0$$

Так как матрица коэффициентов автокорреляции не является квадратной, данная система уравнений не детерминирована. При этом данная матрица коэффициентов автокорреляции сводится к матрице Теплица, поэтому через ряд рассуждений и преобразований, приходим к аналитическому решению в конечной форме:

$$\begin{bmatrix} R_0 & R_1 & \cdots & R_k \\ R_1 & R_0 & \cdots & R_{k-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_k & R_{k-1} & \cdots & R_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_k \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} ,$$

где E_k - и есть решение данной задачи.

Так как матрица, характеризующая состояние системы, представлена в виде матрицы Теплица, мы используем для нахождения матрицы переходных коэффициентов A рекурсивный алгоритм Левинсона-Дарбина.

Суть рекурсивного алгоритма состоит в том, чтобы на первом шаге вычислить параметр a_1 для примитивного случая перехода системы из начального состояния в S_0 наблюдаемое S_1 , и далее, методом последовательного приближения, вычисляются недостающие элементы матрицы A .

Подход Левинсона-Дарбина заключается в использовании свойства взаимной корреляции элементов матрицы переходных коэффициентов, доказательства и преобразования опустим, получаем:

$$\begin{bmatrix} R_0 & R_1 & \cdots & R_k \\ R_1 & R_0 & \cdots & R_{k-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_k & R_{k-1} & \cdots & R_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a_1 + \lambda a_k \\ a_2 + \lambda a_{k-1} \\ \vdots \\ a_k + \lambda a_1 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_k + \lambda \sum_{j=0}^k a_j R_{k+1-j} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \sum_{j=0}^k a_j R_{k+1-j} + \lambda E_k \end{bmatrix}$$

Таким образом, вычислительная задача сводится к нахождению на каждом шаге коэффициента корреляции переходов λ и шаговой корректировке элементов вектора A .

Вычисления первого шага (вывод опускаем):

$$a_1 = -\frac{R_1}{R_0}$$

$$E_1 = R_0 + a_1 R_1$$

Формулы расчета на каждом последующем шаге k :

– Расчет коэффициента корреляции переходов:

$$\lambda = \frac{-\sum_{j=0}^k a_j R_{k+1-j}}{E_k};$$

– Корректировка матрицы A (дополнительные матрицы U и V введены для экономии места и соблюдения математической корректности выражения):

$$A_{k+1} = U_{k+1} + \lambda V_{k+1};$$

– Корректировка E_k :

$$E_{k+1} = E_k + \lambda \sum_{j=0}^k a_j R_{k+1-j} = (1 - \lambda^2) E_k$$

После формирования матрицы A она используется в качестве коэффициентов КИХ – фильтра (фильтр с конечной импульсной характеристикой) для линейного предсказания состояния исследуемой системы.

Определив все коэффициенты и компоненты алгоритма предиктора, произведём апробацию. Аналогично рассмотренному применению модифицированного фильтра Калмана-

Бьюси, разработаем программу на ЭВМ в среде MS Visual Studio в виде подключаемой, внешней библиотеки. Алгоритм фильтра Левинсона-Дарбина представим блок-схемой (рисунок 45).

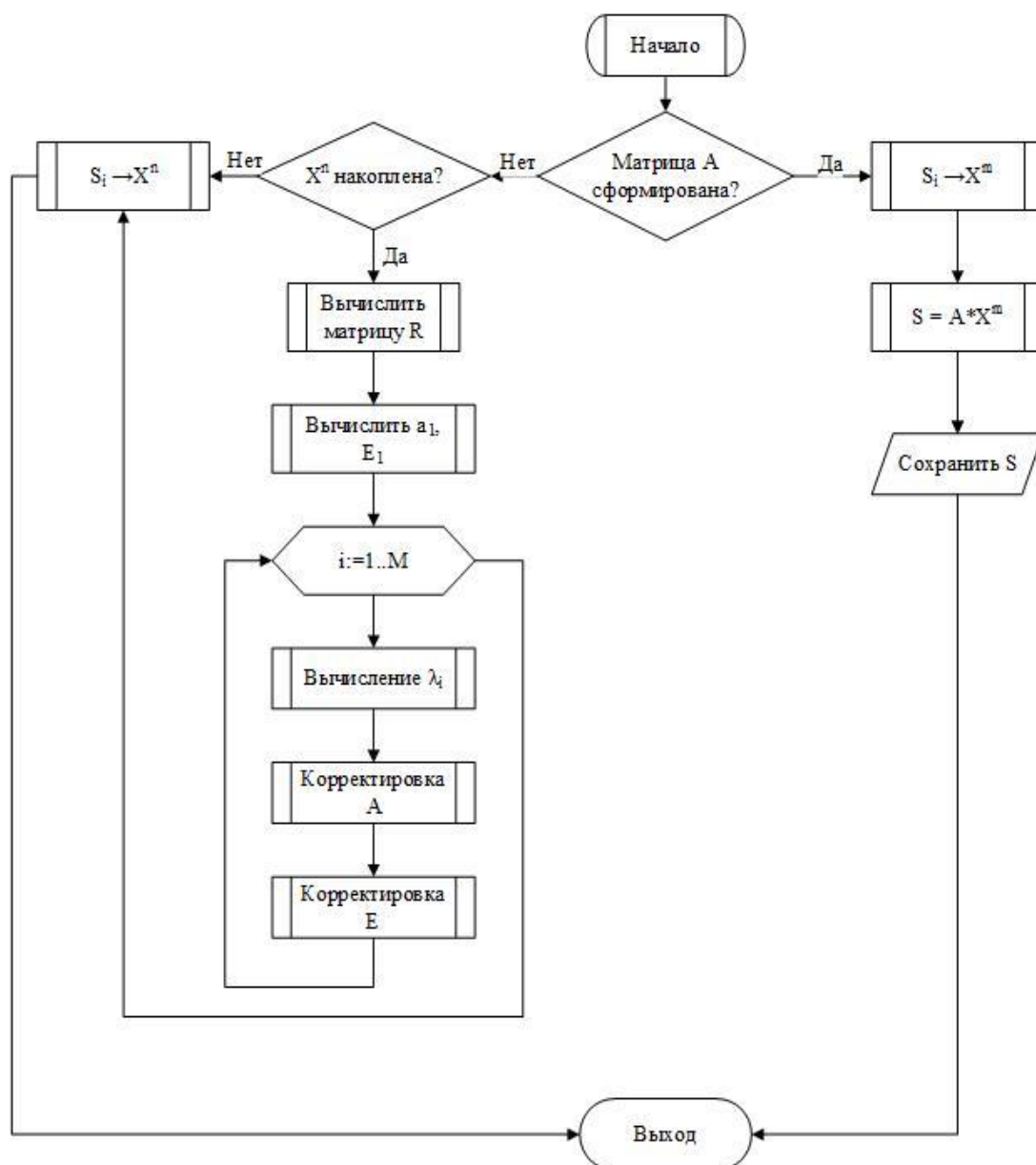


Рисунок 44. Структурная блок-схема алгоритма фильтра Левинсона-Дарбина

В качестве подаваемой на вход информации буду служить использованные ранее обработанные геоданные по четырем параметрам: концентрация льда; температура поверхности воды; скорость ветра; температура воздуха.

Проверка на подгружаемых данных на стационарность ряда не требуется, так как на этапе обработки данных, данная процедура была произведена и все ряды приведены к стационарной форме. Геоданные рассчитываются через модифицированный фильтр Левинсона-Дарбина в четырех геопозиционных точках: точка А – Е81.5° восточной долготы, N74.5° северной широты; точка Б – Е88.5° восточной долготы, N76. 5° северной широты; точка В – Е100.5° восточной долготы, N77.5° северной широты.

Рассмотрим итоговые результаты работы фильтра Левинсона-Дарбина, как алгоритм долгосрочного прогнозирования гидрометеорологической обстановки, по каждому исследуемому параметру в одной точке (результаты апробации в двух остальных точках представлены в Приложении А).

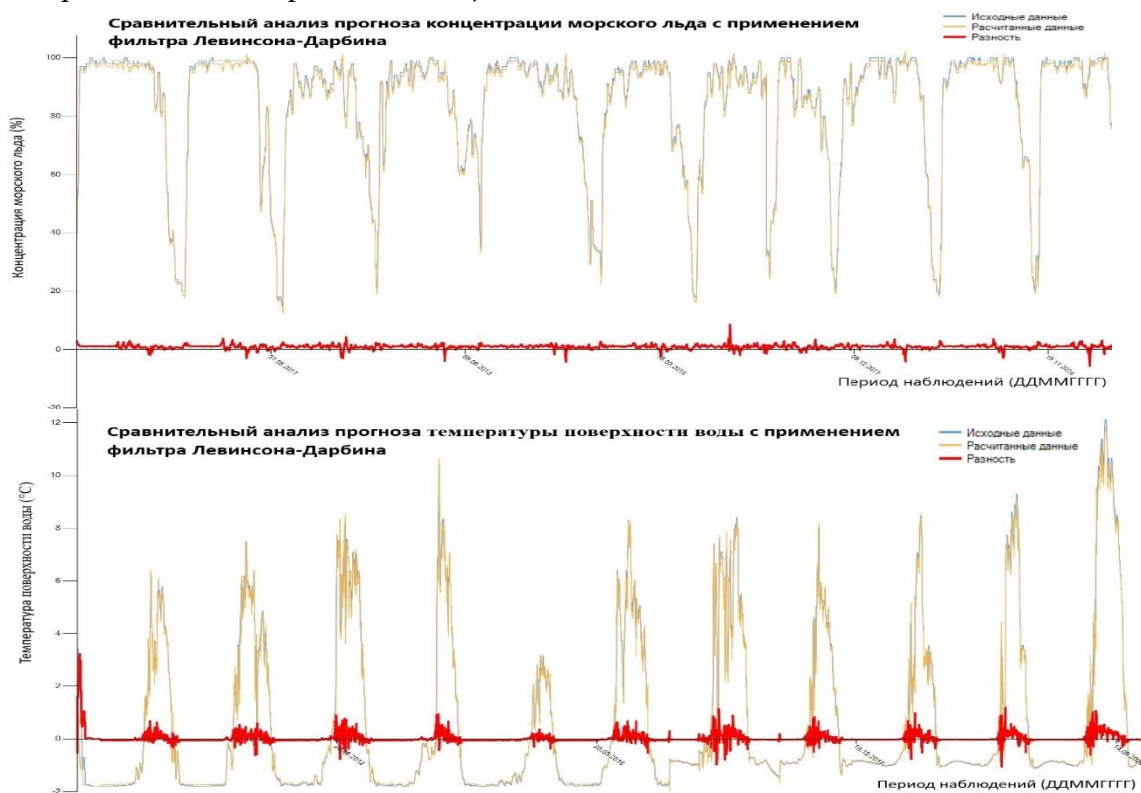


Рисунок 46. Результаты апробации модели модифицированного фильтра Левинсона-Дарбина (параметр температура воздуха и концентрация морского льда)

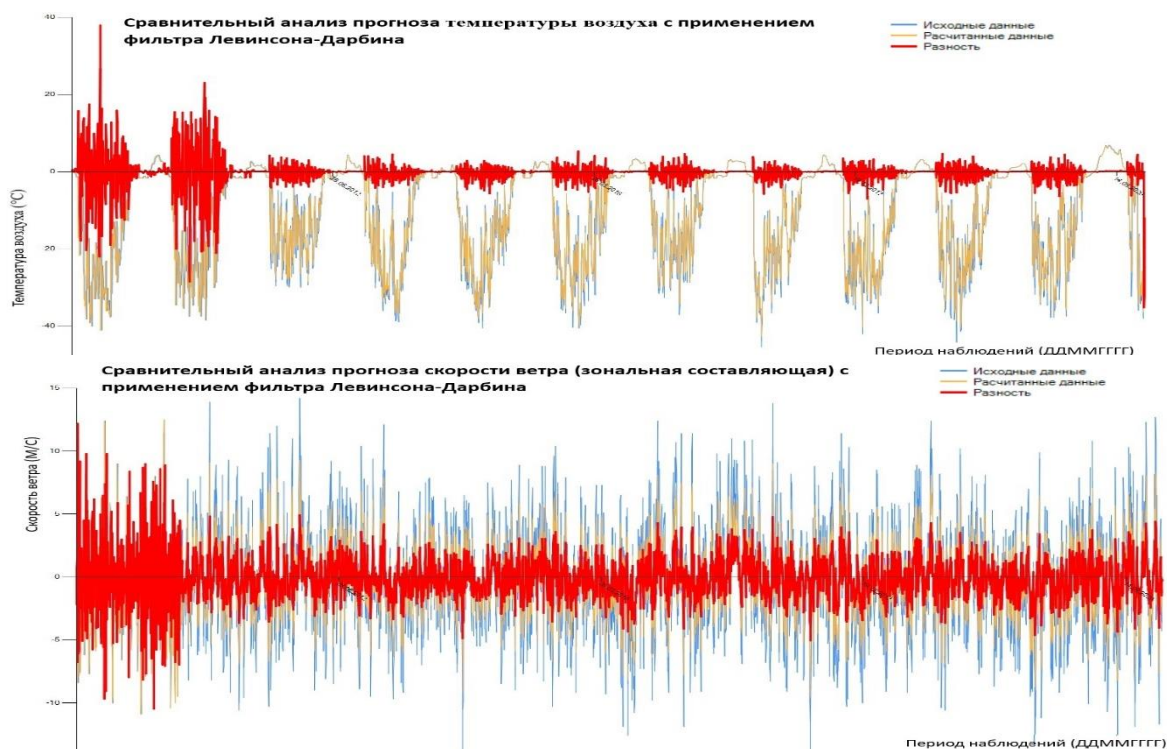


Рисунок 45. Результаты апробации модели модифицированного фильтра Левинсона-Дарбина (параметр скорость ветра и температура поверхности воды)

Цифровая модель рекурсивного фильтра Левинсона-Дарбина показала высокую эффективность на ограниченной (синусной) выборки при большом объеме исходных данных.

Очевидно, что алгоритм рекурсии Левинсона-Дарбина приводит к разложению обратной матрицы, в свою очередь проецируя на другую особенность фильтра, которая заключается в использовании минимального объема памяти, необходимого для поиска решения системы уравнений. Данные свойства наделяют рекурсию Левинсона-Дарбина преимуществом в задачах, требующих быстрого решения систем уравнений с матрицами больших размеров, в исследуемой области – это многомерные объемные архивы геоданных.

Прогностическая составляющая оценки экстремальных гидрометеорологических составляющих, отображенных на графике, а также в экспортируемом файле (в дискретно-табличной форме), показывает минимальное расхождение между априорными и рассчитанными фильтром данные.

Анализируя график, видно, что на первых временных этапах вырождалась крайне большая разность (красный цвет) исходных (синий цвет) и прогнатических (желтый цвет) показателей. Данная составляющая не является ошибкой работы фильтр или искажением данных. Видимые всплески и разность на начальных этапах расчета – уникальность работы фильтра, источником которого является окно первичной настройкой фильтра. На фильтр подаются данные, которые затем анализируются внутренним математическим аппаратом, в ходе которого определяются будущие оптимальные параметры настройки работы алгоритма. Как только фильтр завершил анализ данных на входе, параметры его системы рекурсивного алгоритма настроились, то на выходе можно наблюдать достаточно схожие прогностические данные по отношению к исходным. В дальнейшем, предвидится управления данной уникальностью, путем указания значений окна настройки (чем больше окно настройки – тем выше точность прогнозируемых результатов).

Проанализируем экспортируемые данные, в виде табличного набора дискретных значений (априорных и прогностических данных), представленные файлом данных в формате с разделителями-запятыми (csv). Результаты в статистически – табличной форме, по сравнению с визуальной формой в виде графика, показывают более детальную информацию. Так, если взять произвольный месяц наблюдений, то сходимость результатов может достигать 99%.

Положительной особенностью алгоритма является характеристика – глубина фильтра. Этот параметр имеет прямое отношение к полученным прогностическим данным и составляет ровно половину глубины фильтра. Глубина фильтра зависит от количества переменных исходного ряда. Если обобщить – это означает, что, подавая на вход исходный ряд длиной 10 лет, на выходе мы получаем прогностическую оценку длиной в 5 лет, что является половиной глубины системы фильтра, что в свою очередь является долгосрочным прогнозом.

Анализ оценки качества и адекватности модифицированной модели рекурсивной фильтрации на основе алгоритма Левинсона-Дарбина

Как в случае с реализованной моделью фильтра Калмана-Бьюси, модель модифицированного фильтра Левинсона-Драбина подвергается оценке адекватности и качества по критериям Стьюдента и Фишера. Расчет и его реализация на программном уровне производится аналогично описанному выше. Результаты (рисунок 48) говорят о том, что разработанная моделью отвечает требованиям качества и адекватности.

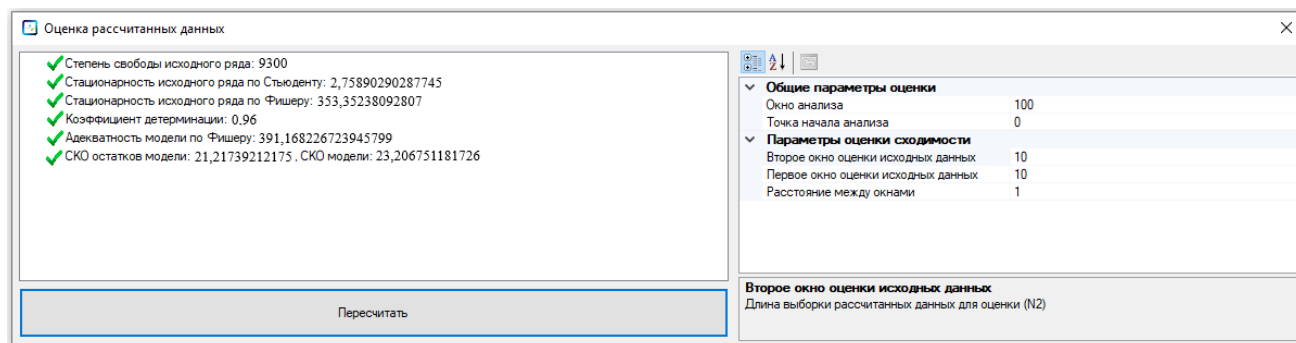


Рисунок 47. Результаты оценки качества и адекватности реализованной модели фильтра Левинсона-Дарбина

Существующие погрешности и разность измерения обуславливается сложностью описания всех стохастических природных процессов математической моделью, для будущей прогностики. Также отрицательной стороной модели является работа нулевыми данными на входе. При подачи таких данных на вход, даже устанавливая большое значение окна настройки, параметры фильтра не устанавливаются, расчет происходит с ошибкой, при этом существует вероятность, когда матрица не вырождается, как итог - значения разносятся в системе.

Решением отрицательных характеристик цифровых фильтров Калмана-Бьюси и Левинсона-Драбина является сращивание двух алгоритмов, взаимодополняющих друг друга.

2.7 Разработка модели универсального фильтра прогнозирования будущего состояния навигационной обстановки Арктического региона на основе совмещенного алгоритма Калмана-Левинсона

Результаты анализа существующих методов прогнозирования показали, что фильтры цифровой обработки сигнала (ЦОС) практически никогда не применялись в сфере гидрометеорологической оценки будущего состояния системы. Одним из основополагающих факторов является крайне сложное математическое описание взаимозависимых стохастических природных процессов. Тем не менее, результаты апробации реализованных моделей фильтров, исключаяющие воздействия внешних факторов, показали весьма положительный результат. В каждом из цифровых фильтров существует ряд недостатков и положительных уникальных

особенностей. Там, где отрицательные результаты показывает один фильтр, положительный результат показывает другой фильтр. Таким образом, для того чтобы добиться универсальности, а также максимально возможной точности прогностической оценки будущего состояния системы, минимизировав зависимость факторов природного происхождения, необходимо разработать модель нового гибридного фильтра. Моделью такого фильтра будет являться математическая составляющая базирующаяся на совмещении алгоритмов Калмана-Бьюси и Левинсона-Дарбина.

Проанализировав все возможные информационные источники, можно утверждать, что по настоящее время подобный алгоритм не разрабатывался ранее и не существует, что лишний раз подтверждает уникальность исследования.

В основе совмещенного фильтра заложен алгоритм, при котором процессы реализованных фильтров работают последовательно. Это означает, что при подаче геоданных на вход, программа определяет последовательность подключения того или иного фильтра. Так если на вход подаются нулевые значения, или значения, не поддающиеся настройки фильтра Левинсона-Дарбина, то происходит переключение на фильтр Каламан-Бьюси. Затем алгоритм работает исключительно посредством последнего установленного фильтра. После того, как фильтр закончил расчет, получившиеся данные подаются на вход ранее не используемого фильтра, для дальнейшей корректировки. Результаты также отображаются на графике и визуализируются в геомоделирование. Соблюдая необходимые условия выходных данных и подавая на вход объемное количества информации, подключается фильтр Левинсона-Дарбина, и дальнейшая обработка происходит с точность наоборот.

В основу реализации модели гибридного фильтра заложены два независимых алгоритма, при этом новый совмещенный математический алгоритм не разрабатывается. Сращивание двух моделей цифровых фильтров (Калмана и Левинсона) обусловлено исключительно на программном уровне. Для упрощения терминологии, ранее не существующего алгоритма, гибридный фильтр будет именоваться как фильтр Калмана-Левинсона. Так как основополагающая работа фильтра направлена на его программную реализацию, рассмотрим концептуальный алгоритм в виде блок-схемы (рисунок 49).

На представленной схеме определенно прослеживаются два условно независимых алгоритма, представленных ранее в виде блок-схем. Существует ряд разработанных переменных, необходимых для анализа и обработки импортируемых геоданных. Перечислим нововведённые коэффициенты переменных: N – длина инициализирующей выборки Левинсона (окно «обучения»), где X^n – выборка; M – длина фильтра Левинсона (окно анализа), где X^m – регистр фильтра; S_i – текущий отсчет; KS_i – выход фильтра Калмана; c – счетчик входных отсчетов для Левинсона; S – выходное значение.

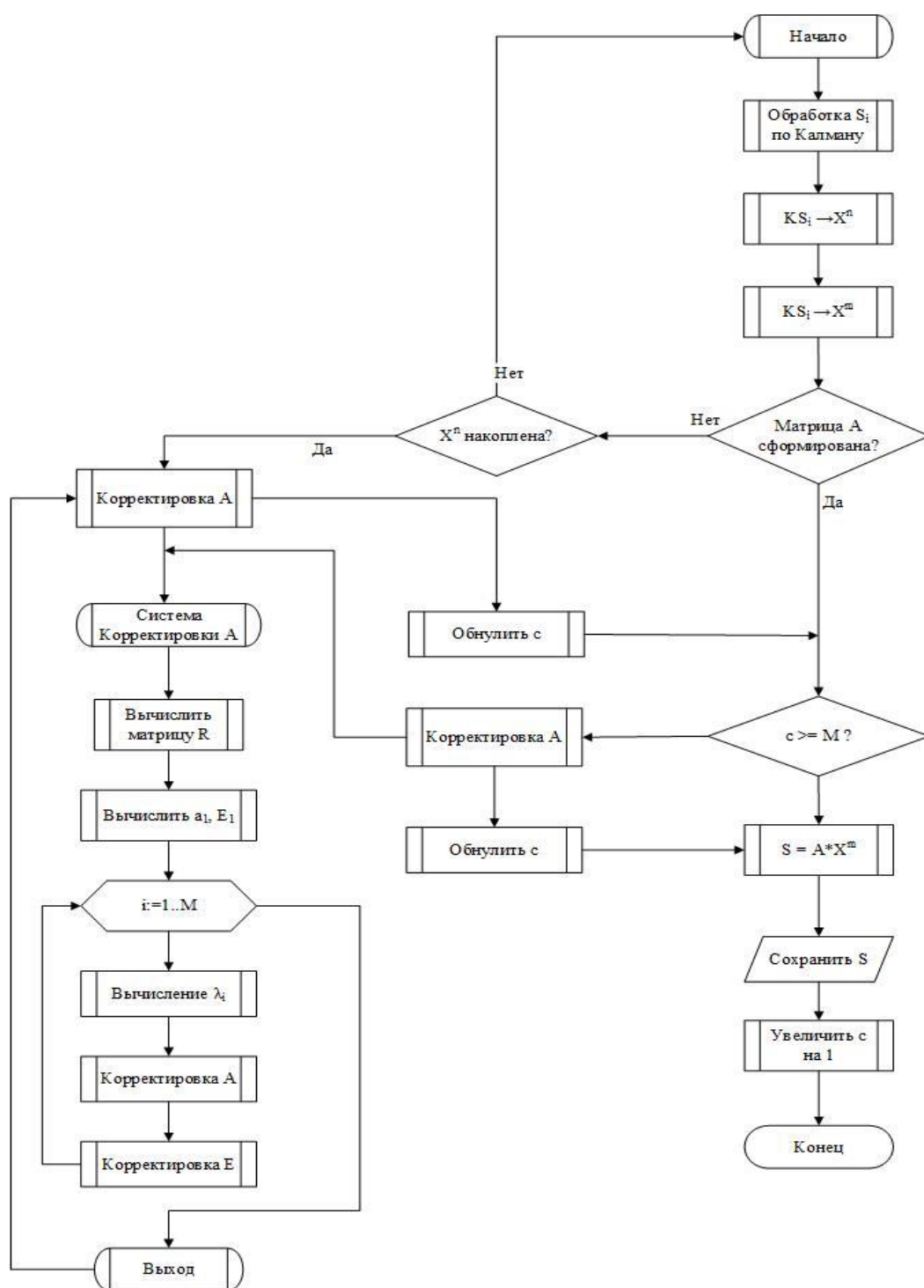


Рисунок 48. Алгоритм работы совмещенного фильтра Калмана-Левинсона

В качестве апробации будет разработано ПО в виде подключаемой библиотеки, как и ранее используя среду MS Visual Studio Community 2019, на языке программирования C#.

Зададим по умолчанию следующие входные параметры: N – длина инициализирующей выборки (окно «обучения»), где X^n – выборка; M – длина фильтра (окно анализа), где X^m – регистр фильтра; S_i – текущий отсчет.

Результат работы фильтра (рисунок 50, 51) представлен по четырем параметрам в одной локационной точке (апробация в двух других точках представлена в приложении).

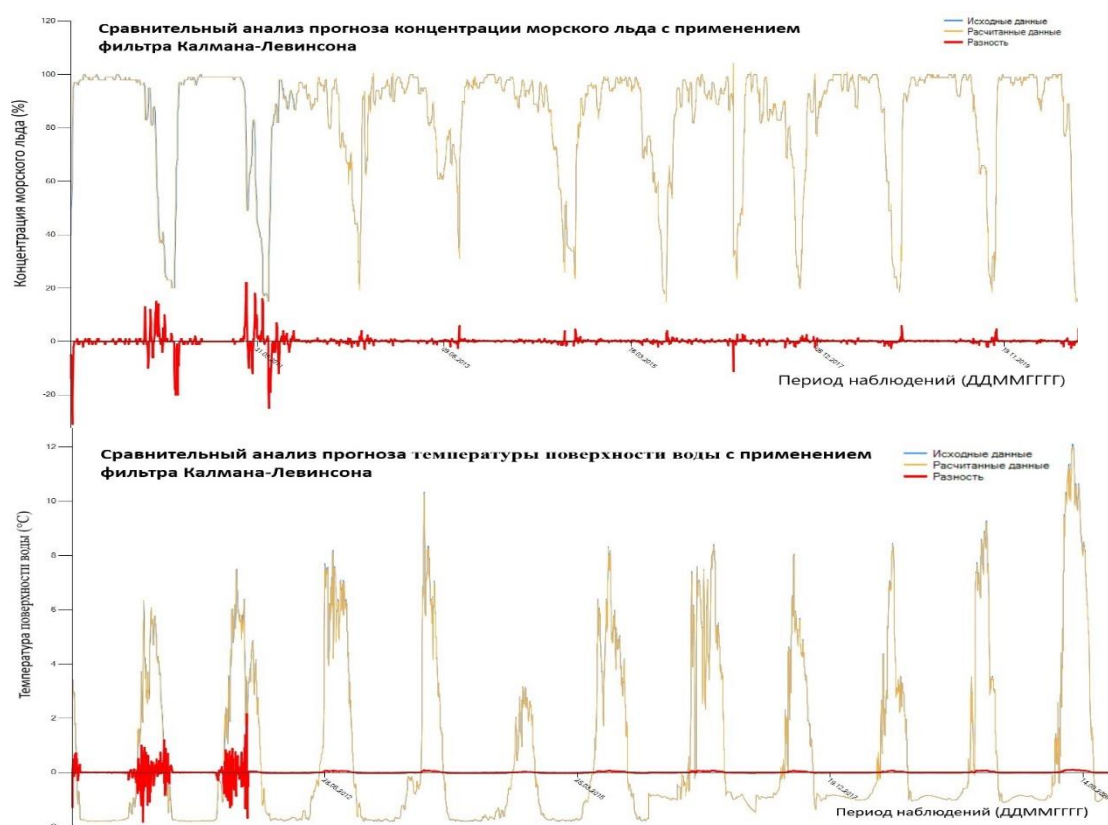


Рисунок 50. Результаты апробации модели совмещенного фильтра Калмана-Левинсона (параметр температура воздуха и концентрация морского льда)

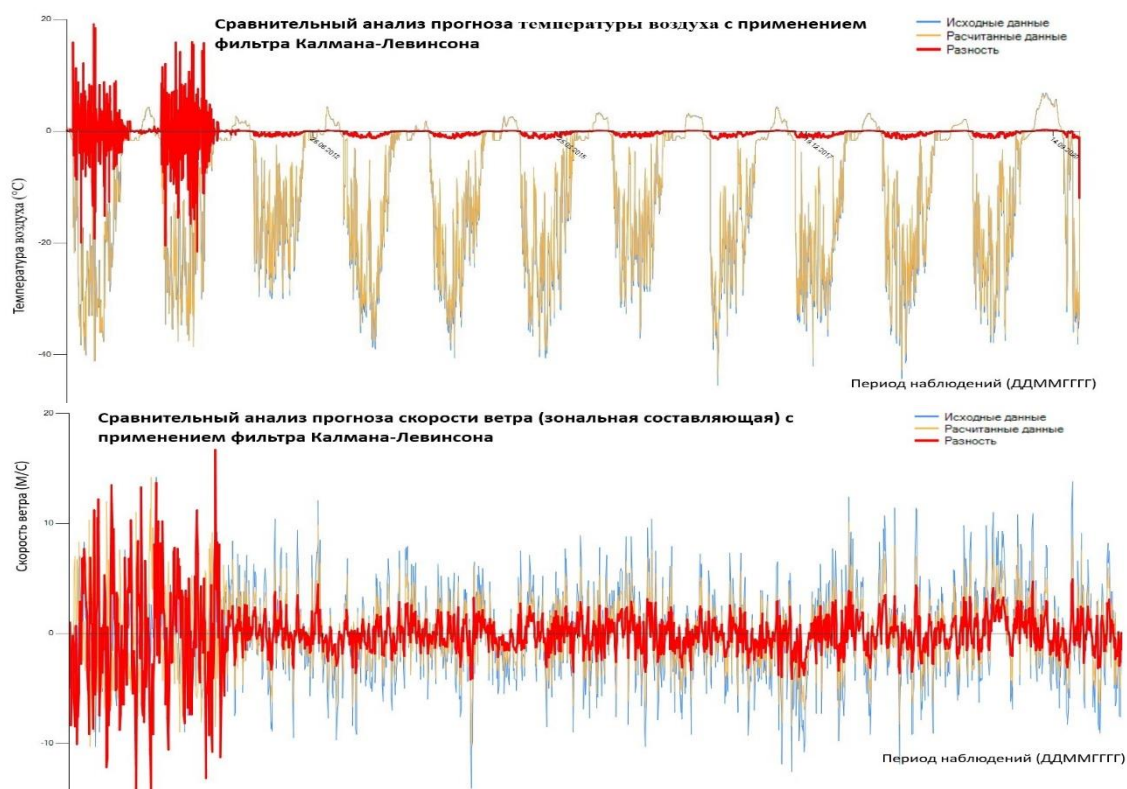


Рисунок 49. Результаты апробации модели совмещенного фильтра Калмана-Левинсона (параметр скорость ветра и температура поверхности воды)

Анализ оценки качества и адекватности разработанной модели Калмана-Левинсона

Результаты апробации весьма впечатляют. Прежде чем проводить анализ полученных данных, оценим реализованную модель на предмет качества и адекватности критериями Стьюдента и Фишера (рисунок 62). Применяв разработанное ранее приложение для оценки спроектированных моделей, получаем вполне ожидаемый результат – модель отвечает по всем критериям качества и адекватности. Стоит отметить, что используемые геоданные имеют стационарный ряд, что также отражено в реализованном ПО.

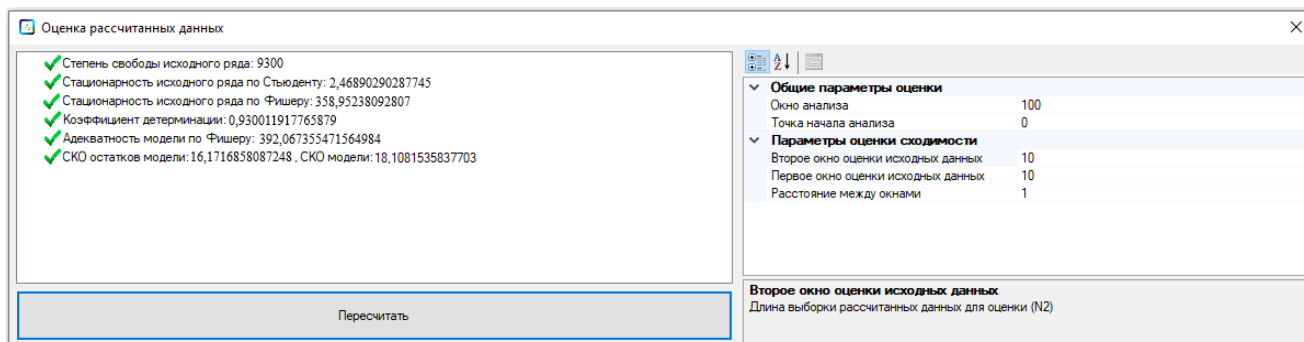


Рисунок 51. Результаты оценки качества и адекватности модели фильтра Калмана-Левинсона

Разность, отраженная на графике, между априорными значениями и результатом прогноза фильтра Калмана-Левинсона сведена к минимуму, в большинстве случаев отсутствует. Сходимость значений в табличной форме более 80% (в отдельных измерениях показатель достигает 98%) в независимости от временного признака прогноза (начиная от краткосрочных прогнозов и заканчивая сверхдолгосрочными), что подтверждает факт универсальности алгоритма фильтрации.

Несмотря на то, что данный эксперимент показал весьма высокий процент точности, существуют специально отобранные геоданные (прошедшие отдельную апробацию), применение которых не выявляет такой результат. Также стоит отметить имеющуюся погрешность. Основным факторами погрешности являются:

- отсутствие просчитанного коэффициента влияния стохастических природных процессов из внешней среды относительно каждого исследуемого параметра;
- применение цифрового фильтра на программном уровне, в основе которого лежит последовательная обработка геоданных;
- так как алгоритмы фильтрации не были изменены, оказываются воздействия факторов погрешности, присущие всем фильтрам, описанные ранее.

Решением данных задач является разработка совмещенного фильтра, основанного на «умном», параллельном подключении взаимосвязанных алгоритмов фильтрации, зависящих

непосредственно от загружаемых значений в режиме реального времени (онлайн). Такой подход требует создания нового единого математического аппарата и полного изменения алгоритмов.

Еще одним, более современным, методом решения поставленного вопроса, видится разработка обученной, на основе используемых функций в фильтрах, нейросетевой модели.

Не стоит забывать, что значительное влияние на работу любой прогностической модели оказывает отсутствие коэффициента природных факторов, который необходимо разработать.

Представленные способы устранения погрешностей сводятся к отдельному ёмкому научно-техническому исследованию, требующему решения задач, ранее не реализуемых.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

В главе представлен проведенный анализ современных методов прогнозирования гидрометеорологической и навигационной обстановки в интересах обеспечения навигации. Отмечены преимущества и недостатки действующих методов прогностической оценки, зачастую базирующиеся на трех постулатах – методах: синоптический, численный, статистический. В следствие была разработана обобщенная структурная схема алгоритма методов прогнозирования. Выявлено отсутствие фактора универсальной модели прогнозирования, влекущий за собой необходимость использование разных методов и подходов для разнородных гидрометеорологических условий. Опираясь на основополагающие принципы оценки будущего состояния системы разработана обобщенная структурная схема алгоритма методов прогнозирования.

Разработка новых моделей, методики, подходов, ранее не применяемых в данной области прогнозирования, значительно повысит точность и своевременное получение прогнозируемых данных, в том числе долгосрочных, имеющие наименьший показатель процента качества прогноза, а также обеспечат универсальной системой обработки данных вне зависимости от гидрометеорологического направления.

Одним из результатов анализа, выявлено, что наиболее вероятностными особенностями навигации по СМП, являются данные ледяной обстановки. В ходе чего был сформулирован алгоритм основных требований к исследованию ледяной обстановки. На основании вышеперечисленного исследования были определены основные зависимости качества модельных прогнозов и дальнейшая зависимость с ГИС.

В разделе описания исследования цифровых технологий и ИС обработки пространственно-координированных геоданных морской поверхности Арктической зоны, отмечено, что одной из главных составляющих любой ИС являются массивы данных. В следствие чего, был проведен анализ современных ИТ ресурсов на предмет работы с

разнородными базами данных. Также описан ряд функциональных вопросов касательно работы с разнородными геоданными и представлены возможные форматы систем хранения данных.

На основании методов сбора первичной гидрометеорологической информации выявлен ряд наиболее технологичных ИС, как отечественных, так и зарубежных, обеспечивающие выборку и экспорт геоданных. Представлены сильные и слабые стороны таких систем, разобраны уникальные информационно-технологические особенности. Среди ряда выявленных систем, исходя из условий настоящего исследования, в качестве апробации и дальнейшей интеграции в проектируемую ГИС, отобрана одна такая ИС – IRVLDEO DL.

Согласно нормативным документам ведущих международных организаций, а также действующих федеральных постановлений, выведен перечень критериев – параметров, влияющих на навигацию в арктических водах. Благодаря фрактальному анализу определены четыре основных природных критериев гидрометеорологической обстановки, представленные в виде набора данных: концентрация льда, температура поверхности воды, скорость ветра, температура воздуха. Также определены районы для дальнейшего исследования, представленные в виде трех геопозиционных точек с координатами: E81.5°, N74.5°; E88.5°, N76. 5°; E100.5°, N77.5° (арктический сектор РФ, в акваториях Карского моря).

Используя ИТ базу ресурсов IRVLDEO DL, проведена первичная обработка пространственно-координированных геоданных морской поверхности Арктической зоны следующими этапами: определение источника геоданных; установка параметров выборки, относительно гидрометеорологического критерия; формирование независимых переменных (сетки), с целью выгрузки данных, представленных в матричной форме; транспонирование выгруженных матричных геоданных в обобщенный табличный формат.

Выгруженные данные подвергаются проверки на стационарность, при необходимости временной ряд приводится в соответствующую форму. Оценка проводилась согласно критериям Стьюдента и Фишера, фундаментальные законы которых были реализованы в виде программного обеспечения для дальнейшего внедрения в ГИС.

Как итог успешного эксперимента работы с пространственно-координированными данными была составлена методика представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния навигационной обстановки Арктического региона, в основе которой, в качестве источника данных, заложен алгоритм взаимодействия с рядом ресурсов: данные IRVLDEO DL; РБД; БД, представленная в виде файла табличного типа.

Центральной частью главы является дальнейшая обработка данных, путем разработки, модификации и применения алгоритмов цифровой фильтрации данных с целью прогнозирования будущего состояния гидрометеорологической и навигационной обстановки.

Выработаны необходимые условия для будущих алгоритмов. На основании условий, были

модифицированы рекурсивные алгоритмы Калман-Бьюси и Левинсона-Дарбина. Также разработана модель универсального фильтра, основанного на совмещении алгоритмов линейной фильтрации Калма-Бьюси и Левинсона-Дарбина.

Все фильтры реализованы на ЭВМ в среде MS Visual Studio Community 2019 и представлены в виде подключаемых библиотек с типовым расширением файла «.dll». В целях апробации применялись обработанные вышеупомянутые данные, глубиной архива в 10 лет, в трех геопозиционных точках.

Разработанные модели подвергались проверке, а именно определена оценка адекватности и качества согласно коэффициентам значимости по критерию Стьюдента и Фишера. Исходя из результатов проверки, реализованные модели отвечают критериям качества и адекватности.

Результаты апробации показали весьма положительные результаты. Сходимость априорных и прогностических значений имеет минимальную разность и погрешность. Общая точность прогностической оценки колеблется от 70% для долгосрочных прогнозов и более 90 % для краткосрочных, что в свою очередь является высоким показателем с точки зрения метеорологической составляющей.

Имеющиеся погрешности являются результатом сложного математического описания природных стохастических процессов [91]. В случае с гибридным фильтром основной негативной стороной является использование алгоритмов в последовательном режиме.

В заключение, предлагаются решения поставленных задач, за счет разработки коэффициента влияющих природных факторов и разработки нового алгоритма, основанного на «умном» параллельном подключении взаимосвязанных фильтров, возможно посредством внедрения нейронных сетей.

Глава 3. Модель геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе Российской Федерации

3.1 Формирование модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе России

Проведя анализ существующих ГИС на современном рынке и в информационном пространстве [88], в том числе в глобальной сети, направленных на управленческие принятия решений в области судовой навигации, при достаточно суровых условиях гидрометеорологической обстановки, было принято решения разработать модель геоинформационной системы, которая отличается тем, что использует прогностические алгоритмы фильтрации и картографические модели поддержки принятия решений.

В спектр основных задач такой ГИС должны входить следующие свойства:

- осуществление приема и сбора всей необходимой исходной ледовой и гидрометеорологической информации;
- обработка и анализ поступающих геоданных в зависимости от определяющих критериев;
- разработка прогнозов будущего состояния системы и составление прогностических карт, на основе предоставленных данных;
- геомоделирование картографических условий с целью поддержки принятия решений в морской навигации;
- минимальные затраты ИТ характеристик, при максимально быстрой производительности;

Применение ГИС для решения различных задач обуславливает многосторонние подходы к процессу проектирования ГИС.

Выделяют следующие этапы процесса проектирования ГИС:

- исследование модулей принятия решений на этапе, которого необходимо рассмотреть все типы решений, для принятия которых необходимы данные;
- ИТ требования (устанавливается формат данных, необходимых для принятия решений);
- разработка нового класса задач из уже существующих классов путём агрегирования однотипных данных и исключением лишних компонентов;
- составление методики представления и обработки данных (в данном случае, реализуется технология сбора, хранения, передачи и форматирование информации);
- проектирование компонентов администрирования над системой;
- непосредственная разработка самой системы, анализ работоспособности, тестирование, при необходимости осуществляется корректировка.

Как показывает анализ практического применения и разработки ИС, хорошо спроектированная, с точки зрения исполнителя, система вполне может оказаться не актуальной, если на этапе процесса проектирования не были привлечены будущие пользователи такой системы. Данный постулат не новый и распространяется на этапы разработки абсолютно любого ПО. Таким образом, одним из первых шагов, необходимо разработать проект модели прецедентов будущей ГИС.

Так как пользователь является центральным субъектом управления ПО, было принято реализовать модель в виде диаграммы вариантов использования (use-case) или диаграмма прецедентов, отражающая связь между экторами и прецедентами, где эктор – конечный потребитель системы (пользователь), а прецеденты – функциональные возможности

моделируемой системы (одни прецедент описывает один сервис системы). Разработка модели диаграммы синтезирована (рисунок 53) на унифицированном языке моделирования UML в среде облачного сервиса «diagrams.net».

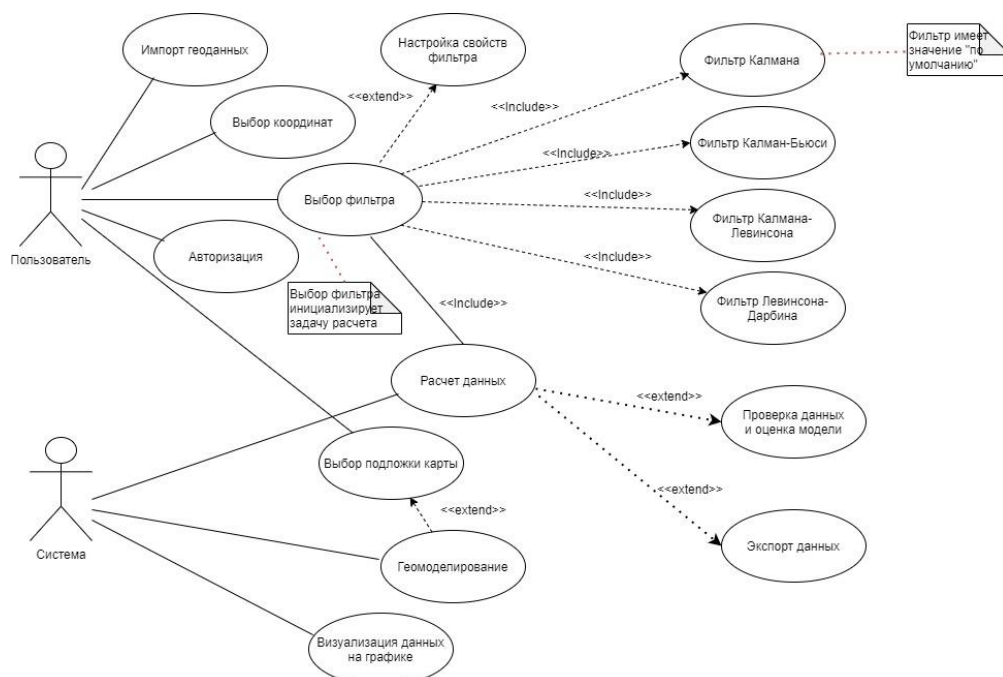


Рисунок 52. Диаграмма прецедентов обобщенной структуры МГИСУН

Предложенная модель является абстрактной и отображает общий вид структурных функций ГИС, понятных конечному пользователю. На диаграмме потребитель может наблюдать поведение компонентов ИС. Например, имеется два эктора – система и пользователь. Пользователь, исходя из предложенной структуры, инициирует функции импорта данных, выбора координат и алгоритма фильтрации, выбирать подложку карт. При этом существуют расширяемые функции (настройка свойств фильтра, экспорт данных и проверка данных) не являющийся обязательными, действие которых не влияет на основные задачи и поведение системы в целом, а также функции «включения» (расчет данных, варианты фильтров), которая определяет взаимосвязь базовой функции использования с другим вариантом, функциональное поведение которой всегда задействуется базовой функцией. Эллипс с надписью, обозначает выполняемые системой действия, инициируемые экторами и приводящие ими результаты. С позиции эктора «система», ситуация абсолютно идентичная, где основными функциями поведения эктора «система» являются геомоделирование, визуализация и расчет данных, а расширяемой функцией будет выбор подложки карт. Взаимосвязь между экторами осуществляется посредством функции «расчет данных».

В следствие чего, данный этап отображая первичные базовые элементы работы ГИС, дает возможность пользователю совместно обсуждать проектируемую или существующую систему, вносить корректировки. Стоит отметить, что данный уровень проектирования не уточняет, какие

именно детальные алгоритмы, механизмы и методики используются при разработке, а лишь представляют концептуальное видение результата разработки ПО.

Реализация модели ГИС состоит из следующих уровней:

1. Анализ спецификаций, условий и задач, предъявляемых к ГИС.
2. Обозначение всех функциональных параметров системы.
3. Проектирование системы.
4. Вёрстка программного кода.
5. Многостороннее тестирование системы.
6. Внедрение, эксплуатация и поддержка.

Первый уровень отображает взаимодействие всех решаемых функций системы между её интерфейсом и конечным пользователем. На данном уровне необходимо определить ряд характеристик: классовые объекты и основные компоненты, методы и скорость обработки информации системой, возможные ошибки, экономическая составляющая.

На втором необходимо определить и описать функции будущей ГИС. Одной из главных составляющих является система управления данными, определяющая структуру файлов данных, подсистемы импорта и экспорта, организацию доступа и возможного редактирования данных.

Уровень проектирования. Здесь разрабатывается обобщенная структурная модель цифровой ИС. Часто такая модель представлена в виде подсистем, на которых базируются все функциональные модули. На этапе проектирования, также определяются регламентирующие требования к каждому модулю, функции и обозначаются временные характеристики.

Уровень, отвечающий за практическую реализацию проекта, именуется как «Вёрстка программного кода». Основной задачей уровня является кодирование или написание кода (скрипта) программы, основываясь на разработанном входе проектирования алгоритма будущего приложения. Выбирается среда высокоуровневого объектно-ориентированного языка программирования. Производится компиляция программного кода.

После того, как программный код написан, оболочка интерфейса имеет рабочий вид, обращаемся к следующему уровню – «многостороннее тестирование». В ходе тестирования проводится апробация системы, каждого его компонента, с использованием реальных данных. Стоит отметить новое направление тестирования, в ходе которого, на стадии разработки бета версии ПО, предполагается доступ ряду пользователей (любой человек изъявивший желание участвовать в программе тестирования на своём устройстве) для использования на бесплатной основе, с целью выявления некорректной работы системы.

3.2 Структура модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе

Рассмотрев основные этапы разработки ПО и обозначив исходные задачи ГИС, сформируем детальную структуру всех компонентов модели геоинформационной системы управления навигацией (МГИСУН) с комплексированием картографических технологий поддержки решения навигации в Арктике (рисунок 54). Для синтеза модели используется среда офисного пакета прикладного ПО Microsoft Office 2019, компонент MS Visio Professional.

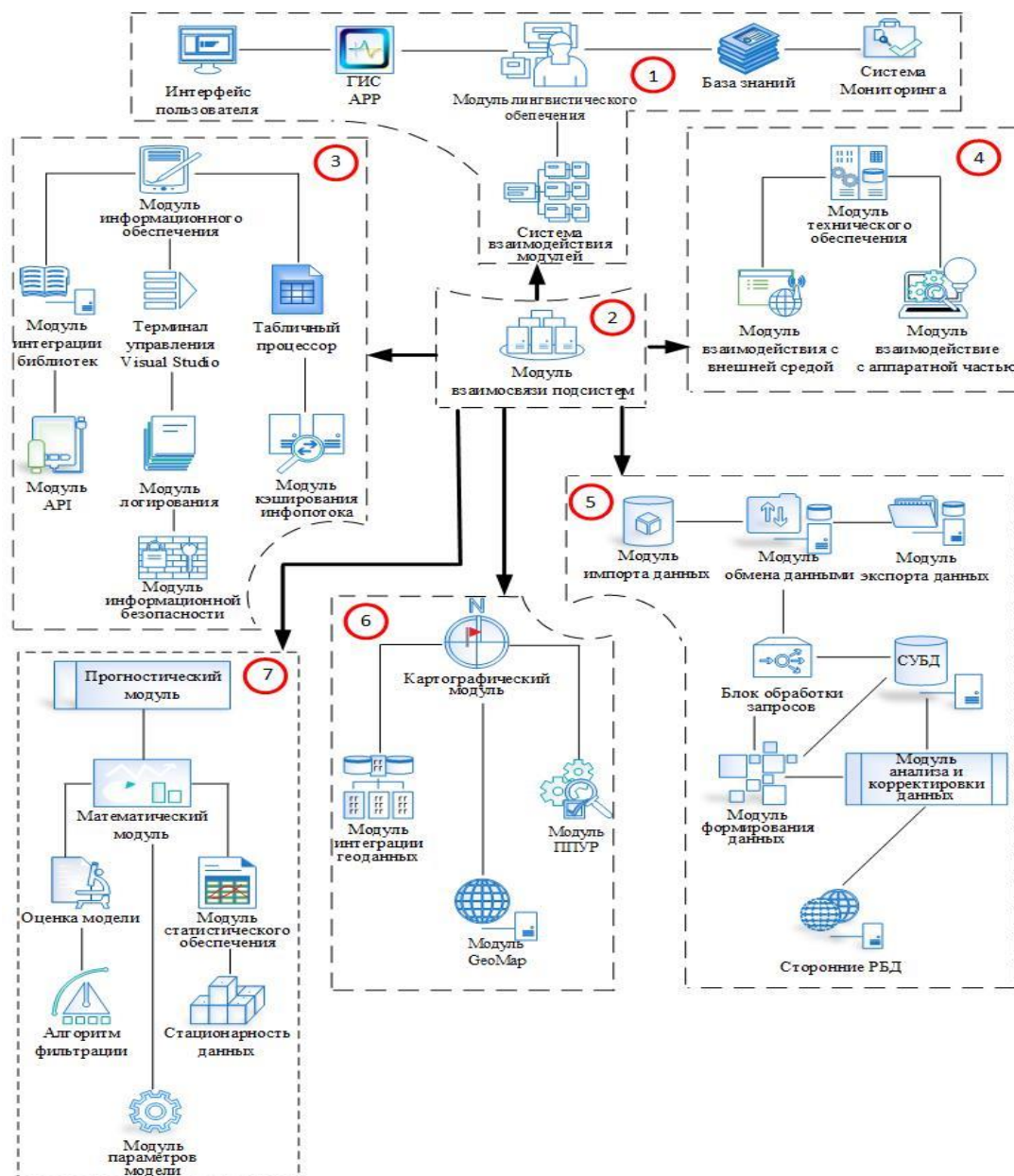


Рисунок 53. Структурные компоненты модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе Российской Федерации

Структура МГИСУН подразумевает взаимодействие семи функциональных узлов – подсистем (на рисунке 54 обозначены цифрой в красном круге):

1. Подсистема программного обеспечения.
2. Подсистема структурированного взаимодействия.
3. Подсистема информационного обеспечения.

4. Подсистема технического обеспечения.
5. Подсистема представления геоданных.
6. Подсистема геомоделирования.
7. Подсистема математико-аналитического обеспечения.

Ядром первой подсистемы является модуль «ГИС APP». Данный модуль является непосредственно приложением, образующую связь со всеми подсистемами передачи информации на систему взаимодействия модулей. Управление осуществляется через компонент «интерфейс пользователя», модуль «лингвистического обеспечения» и «базы знаний».

Подсистема структурированного взаимодействия базируется на одноимённом модуле и является центральным звеном – основной магистралью между всеми подсистемами. Данные проходящие через модуль взаимодействия трассируются непосредственно через ГИС APP.

Третья подсистема связывает ИС и среду разработки, а также управляет системными модулями. Так «модуль интеграции библиотек» обеспечивает подключение независимых компонентов – программ (в случае с разрабатываемой ГИС, практически каждый функциональный компонент представлен независимой библиотекой) и взаимодействует с API. Терминал управления VS (Visual Studio) является своего рода заплаткой, для возможного быстрого интегрирования готового программного продукта в среду разработки. Сервис «табличный процессор» взаимодействует с подсистемой технологической обработки данных и управляет всеми табличными наборами данных. Так как в алгоритм ПО заложена работа именно с БД в виде электронных таблиц, именно на уровне данной подсистемы, происходит кэширование информации. Это означает, что все обработанные данные хранятся в кэш памяти локальной ЭВМ. Таким образом файлы являются временными и не сохраняются на носителях информации, тем самым облегчая задачу компоненту «модуль ИБ» [63], который в свою очередь не имеет собственной архитектуры и механизмов безопасности, а лишь взаимодействует со штатными средствами защиты ОС. «Модуль логирования» создает файлы – логи, содержащие системную информацию работы ЭВМ, в которые заносятся определенные действия пользователя или программы. Доступ к логам осуществляется через терминал VS. За взаимодействие всех компонентов подсистемы отвечает «модуль информационного обеспечения».

Подсистема технического обеспечения, за счёт также одноимённого модуля, выполняет функции взаимодействия с внешней средой посредством протоколов передачи данных, а также в свою очередь обеспечивает связь с аппаратной частью ПК.

Алгоритмы взаимодействия компонентов подсистемы представления геоданных описаны во второй главе.

В задачи шестой подсистемы геомоделирования входят синхронизация с сервисом Геопар, который в свою очередь взаимодействует с ГИС серверами и предоставляет

картографические данные, при этом обеспечивает возможность геопривязки табличных данных; непосредственное построение маршрута навигации за счет компонента «модуль ППУР», который в свою очередь синхронизируется с сервисом «модуль интеграции геоданных» через картографический модуль; предоставления картографии.

Последняя, подсистема математико-аналитического обеспечения, является одним из главных функциональных звеньев формируемой ГИС. К математическому модулю относится основной сервис «Алгоритм фильтрации», отвечающий за вариации прогностической оценки, основанные на цифровых фильтрах, разработка о которых описана во второй главе. Так же к модулю относятся: сервис оценки модели – отвечает за оценку качества и адекватности модели; «модуль статистически» обеспечивает расчет стационарности данных и сопутствующие операции. Завершающим компонентом подсистемы является «модуль параметров модели», которые обеспечивает настройку прогнозируемого состояния системы.

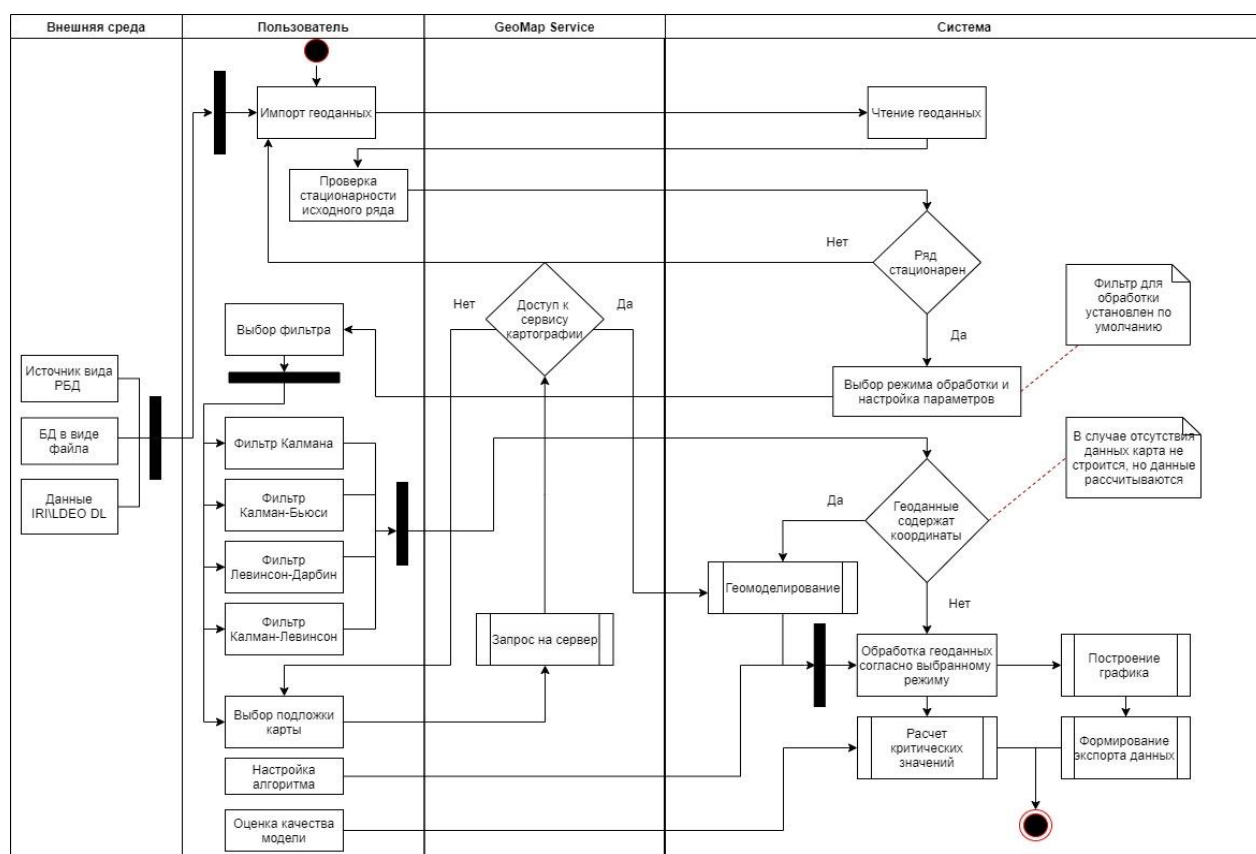


Рисунок 54. Диаграмма деятельности модели геоинформационной системы управления навигацией

Описав детально все структурные, функциональные компоненты ГИС, спроектируем UML модель в виде диаграммы (рисунок 64) детальности или активностей (activity diagram), с целью интерпретации спецификаций исполняемого поведения системы в виде координированного последовательного и параллельного выполнения подчинённых элементов – действий, соединённых между собой потоками, которые идут от выходов одного узла ко входам другого [122]. Данная диаграмма отражает динамическое поведения системы.

На представленной UML модели отражена динамическая зависимость отклика системы на поведение деятельности пользователя. При импортирование пользователем данных, система отвечает их чтением, после чего инициируется проверка данных на стационарность. Если ряд данных стационарен, система производит отклик в виде выбора режима обработки и настройки параметров. В случае нестационарности ряда, система отправляет пользователю запрос на импорт корректных данных. В тоже время, на стороне пользователя проецируется выбор одного из четырех фильтров, как системы прогнозирования.

После утверждения выбранного фильтра, система отвечает условием на наличие координат в геоданных. Если таковые имеются, система производит моделирование, строит карту и отправляет сигнал на дальнейшую обработку геоданных, согласно выбранному режиму. Построение карты производится путем взаимодействия с деятельностью пользователя (выбор подложки) через объект GeoMap Service, в свою очередь отправляющий запрос на доступ к сервису картографии и в случае недоступности последнего, объект GeoMap Service направляет пользователя на очередной выбор подложки. В случае положительного отклика на доступ к сервису картографии, информация передается на сторону системы к деятельности «геомоделирование».

При инициирование пользователем настройки алгоритма фильтрации, система вновь отвечает обновленной обработкой геоданных, далее строит график и обеспечивает экспортированием данных. Если пользователю необходимо оценить качество модели или проверить её адекватность, система произведет расчет критических значений и предоставит таковые на выход.

Стоит отметить, что в деятельность «выбор режима обработки и настройка параметров» установлен один из фильтров по умолчанию, с целью избежания пустых данных, параллельно подаваемых на расчет. Также построение карты не влияет на работу прогностических операций. Отсутствие карты не сказывается на прогнозе. Более того, на диаграмме, по мимо трех объектов (Пользователь, GeoMap service, Система), присутствует объект «Внешняя среда», содержащий деятельности: «Источник вида РБД», «БД в виде файла» и данные IRI\LEO DL. Данный объект является внешним источником данных и взаимодействует с пользователем посредством деятельности «Импорт геоданных».

Требования, предъявляемые к техническим характеристикам ГИС

Завершающим этапом формирования МГИСУН является непосредственно сама разработка ПО на высокоуровневом языке программирования. *Обозначим технические характеристики и особенности для реализации проекта и системные требования*

концептуальной ГИС, предъявляемые ЭВМ пользователя:

- Среда разработки – Microsoft Visual Studio Community 2019;
- Язык программирования – C Sharp (C#);
- Установка дистрибутива – исключительно на локальной ЭВМ;
- Подключение к глобальной сети интернет – необязательно;
- Поддержка форматов БД - .xls, .xlsx, csv, среда IRMLDEO DL;
- Обязательные условия и очередность структуры файлов БД: 1 – столбец дата, 2 – столбец долгота, 3 – столбец широта, 4 - столбец исследуемый параметр;
- Длина строк файла БД – не определена (∞);
- Подложка карт – сервис GeoMap (требуется наличие выхода в интернет);
- Компоненты системы –независимая библиотека, формат расширения «.dll»;
- Особенности функционала: выбор и настройка алгоритма фильтрации, выбор источника данных, расчет стационарности данных и качества модели, выбор точки наблюдения, экспорт табличных данных прогноза, отображение прогноза на графике, построение маршрута на основе прогностических данных, выбор подложки карт, зумирование области графика\карты, переключения интерфейса между окном графика и карты, отображение гидрометеорологической составляющей в точках на маршруте;
- Максимальный и минимальный порог по оси Y – параметр от +150 до -100;
- Максимальный и минимальный порог по оси X – зависит от временного интервала;
- Наличие дополнительного ПО – Microsoft Access Database Engine 2016 (разрядность зависит от ОС), платформа .NET Framework 4.5.2 и выше;
- Настройки ИБ – определить компоненты APP как исключение;
- Браузер – на платформе Chromium;
- Разработка иконки (логотипа) ПО – графический редактор Adobe Photoshop CC.

Минимальные системные требования для работы ГИС: ОС – Windows 7,10; разрядность ОС – x32, x64; оперативная память – от 4Гб; процессор – AMD Athlon x2 \ Intel Celeron Dual Core; занимаемое место на носителе – 1Гб; видеоадаптер – 1 Гб, с поддержкой Microsoft DirectX 11, с минимальным разрешением 720p (1280 на 720 пикселей); скорость интернет-соединения (при необходимости) – 10Мб\с; наличие дополнительного ПО для работы ГИС: Microsoft Access Database Engine 2016 (разрядность зависит от ОС), платформа .NET Framework 4.5.2 и выше.

Программный алгоритм формируемой ГИС

Определив основные компоненты, взаимодействие и поведение системы с пользователем, а также описав технические и системные требования МГИСУН, разработаем алгоритм

центральной системы процессов [85] ГИС в виде блок-схемы (рисунок 56). Для разработки используется среда офисного пакета прикладного ПО Microsoft Office 2019, компонент MS Visio Professional 2019 Pro. Все компоненты МГИСУН, как описано ранее, разработаны независимыми модулями в виде библиотек и не отображаются в развернутом виде на представленной блок-схеме. Такой подход имеет особое преимущество. Оно заключается в том, что сторонние независимые компоненты в виде библиотек допускаются к интегрированию в существующую модель и проект ПО с уже используемыми компонентами. Центральной системой процессов ГИС, алгоритм работы, который изображен на блок-схеме (рисунок 56), является такой моделью, в которую будут интегрированы ранее разработанные библиотеки.

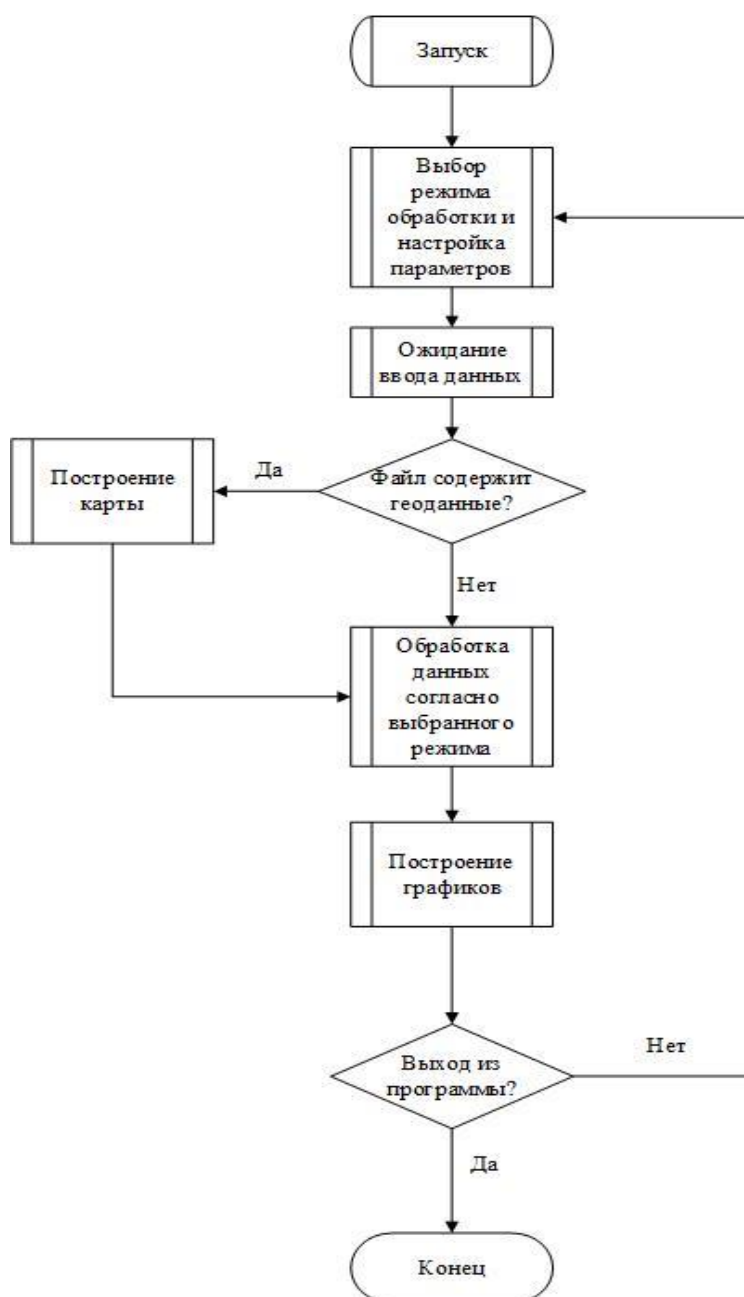


Рисунок 55. Блок-схема алгоритма центральной системы процессов МГИСУН

Во второй главе представлены следующие алгоритмы (в виде блок-схем) разработанных библиотек: модифицированные алгоритмы фильтров прогностической оценки; проверка исходного ряда на стационарность; оценка качества и адекватности разработанной модели.

Данные библиотеки интегрируются непосредственно в центральную систему процессов МГИСУН.

Программный алгоритм интегрируемой методики представления геоданных для моделей прогнозирования

Особое внимание стоит уделить цифровой методики представления геоданных, компоненты и структура которой рассмотрены во второй главе. Работа с геоданными несет в себе первостепенный характер, отражающий всю дальнейшую поведенческую модель системы.

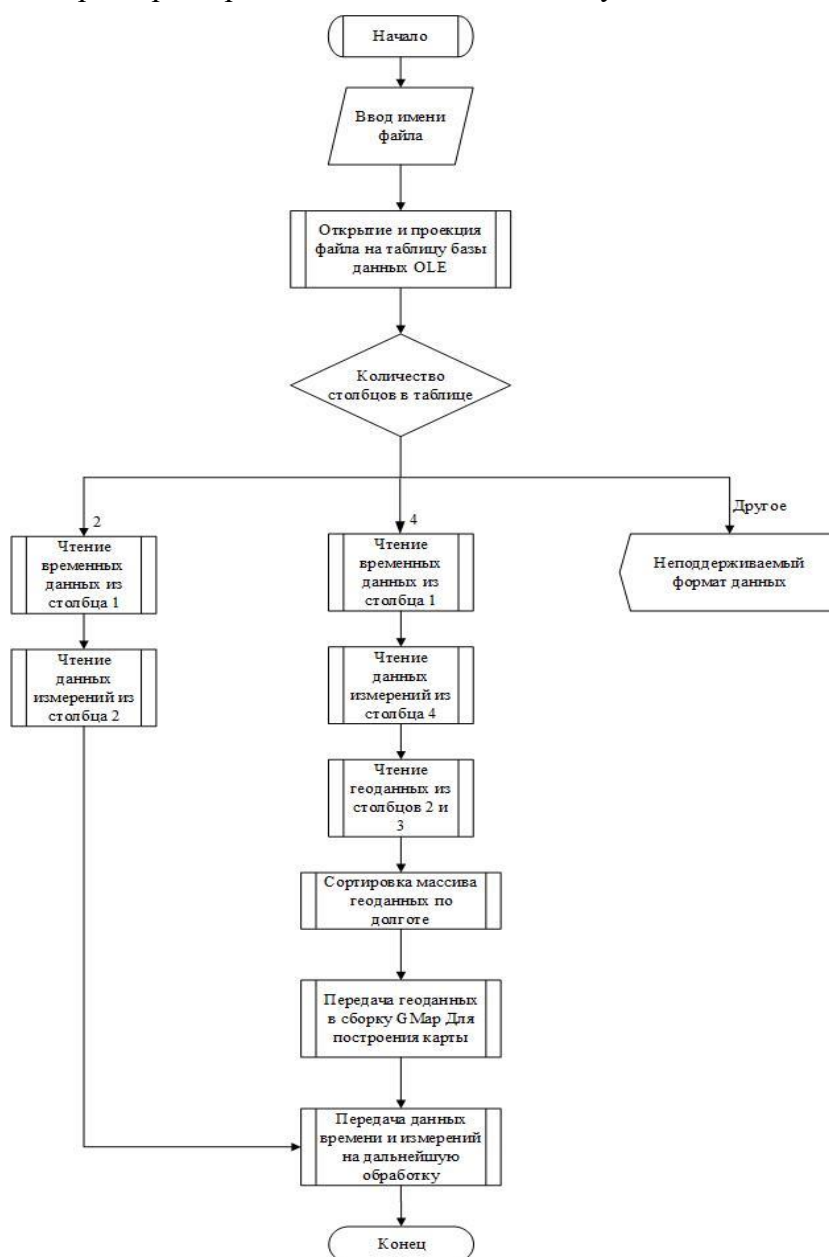


Рисунок 56. Блок-схема алгоритма методики представления геоданных для

Ошибки в представлении данных крайне нежелательны. В связи с этим, отдельно разработан алгоритм в виде блок-схемы (рисунок 57), представленный на программном уровне библиотекой.

Все приведенные на блок-схеме процессы определяют поведение системы относительно работы с геоданными. Так на входе импортируемого файла БД, в системе синтезируется его проецирование в таблицу базы данных OLE, посредством табличного процессора. БД OLE является COM-интерфейсом [97], в свою очередь который обеспечивают приложениям унифицированную работу с данными разнотипных источников информационного потока. После чего определяется количество столбцов в БД. В случае, если БД использует два столбца (временные данные и исследуемый параметр), то система передает таковые на процесс обработки в подсистему математического обеспечения. Соответственно, если используются четыре столбца, то данные проходят ряд этапов. Наиболее значимым этапом является подготовка координированных данных или как отмечено на блок-схеме «сортировка массива данных по долготе», результаты работы которого передаются на картографический сервис «сборка GeoМар». Сервис анализирует и структурирует пространственно-координированные геоданные для дальнейшей передачи их на прогностическую обработку и проецирования на карту.

3.3 Программная реализация и описание графического интерфейса пользователя модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе

Результирующим этапом формирования МГИСУН в Арктическом регионе России является верстка программного кода с последующей апробацией интерфейса пользователя. В качестве небольшого примечательного дополнения, был разработан логотип – иконка (рисунок 58) ГИС с помощью графического редактора Adobe Photoshop CC.

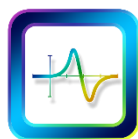


Рисунок 57. Логотип МГИСУН

Логотип используется в качестве иконки ПО, отражающий цвета природно-климатической составляющей, а также основну алгоритмов – функции прогнозирования.

На выходе формирования МГИСУН получаем многофункциональный интерфейс системы (рисунок 59), обеспечивающий взаимодействие пользователя (потребителя) со всеми разработанными и описанным в настоящем исследовании алгоритмами, моделями и методикой, а также структурной моделью, управление которой осуществляется благодаря интуитивно понятному графическому решению.

Графический интерфейс пользователя (ГИП или GUI) – совокупность средств для

сопряжения действий пользователя на ЭВМ, за счет представления возможных объектов и функциональных возможностей посредством отображения их в виде графических элементов.

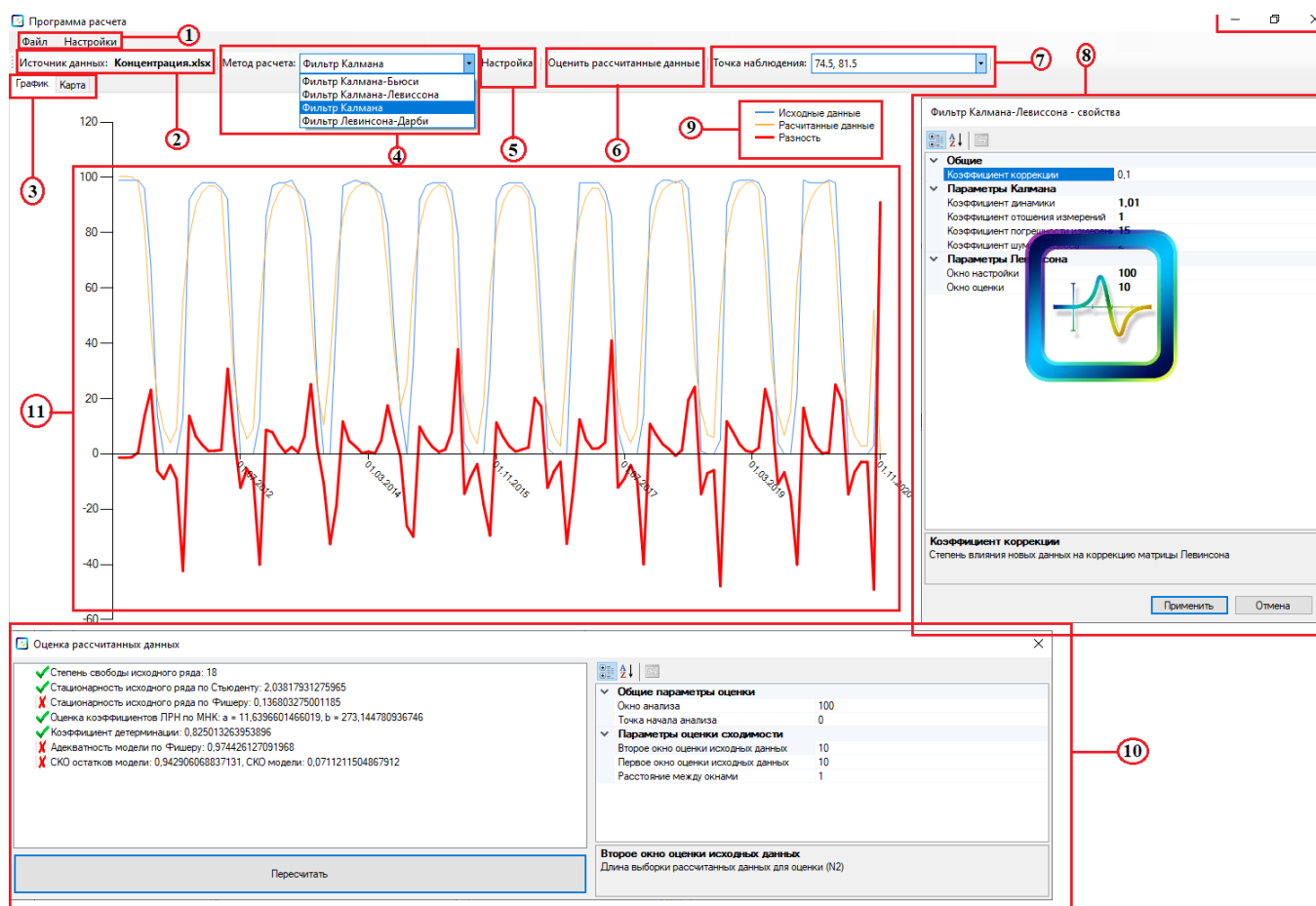


Рисунок 58. Графический интерфейс пользователя модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе РФ

ГИП МГИСУН делится на две крупные базовые составляющие:

- окно алгоритмического обеспечения, результаты работы которого представляются в виде графика функции прогнозирования гидрометеорологических параметров (рисунок 59);
- окно геомоделирования, результаты работы которого представлены в картографическом виде системы поддержки принятия управленческих решений (рисунок 60).

Разберем компоненты окна интерфейса алгоритмического обеспечения (на рисунке 59, все элементы интерфейса окна пронумерованы):

1. Меню управления ПО. В меню, посредством обращения к команде «Файл», содержатся такие функции как импорт\экспорт данных, выход из системы. Команда «Настройки» открывает диалоговое окно, сутью которого является выбор параметров взаимодействий ПО с ОС (разрешения экрана, управление надстройками и дополнительными библиотеками ОС, необходимые для корректной работы приложения).

2. Команда «Источник данных», позволяет выбирать данные как с локального или подключённого к локальному АРМ носителя информации, а также со внешних источников, в

частности сервера IRI\LDEO DL.

3. Окно вкладок – обеспечивает переключение между окнами алгоритмического обеспечения и геомоделирования.

4. Команда «Метод расчета данных» предполагает выбор вариантов алгоритма прогнозирования, основанный на одном из четырех фильтров. Каждый из вариантов обращается к одной из четырех ранее разработанных библиотек, внедренных в ГИС.

5. Кнопка настройка, вызывает окно, позволяющее настраивать параметрические свойства фильтра. Для каждого алгоритма определен свой ряд свойств. Перечислим общий перечень параметров: коэффициент коррекции – это степень влияния новых данных на коррекцию матрицы Левинсона; коэффициент динамики – переменная, описывающая динамику системы (отличие текущего состояния от предыдущего); коэффициент отношения измерений – переменная, описывающая величину текущего состояния к измеренному; коэффициент погрешности измерения – переменная, описывающая величину погрешности измерений; коэффициент шума процесса – переменная, описывающая величину дисперсии состояния системы; окно настройки – переменная, описывающая длину окна настройки фильтра Левинсона; окно оценки – переменная, определяющая количество опорных точек для расчета.

6. Команда «Оценить рассчитанные данные», открывает ранее реализованную библиотеку расчета стационарности ряда и оценки качества, адекватности модели.

7. Точка наблюдения – меню, предоставляющая выбор координат геопозиционной точки, откуда будут считываться данные.

8. Внешний вид окна параметрических свойств алгоритмов, описанные в пункте 5.

9. Легенда - присваивает имена элементов данных, отображаемых на диаграмме с присущими им цветом.

10. Интерфейс окна оценки данных и модели, функции которой описаны в пункте 6.

11. График функции прогнозирования – отражает результаты работы выбранного прогностического алгоритма. Оснастка является компонентом разработанных библиотек алгоритмов фильтрации.

Разработка подсистемы геомоделирования модели геоинформационного управления навигацией в Арктическом регионе России

Широкое применение ГИС нашли в системах поддержки принятия управленческих решений (ПППУР). Такие комплексы также называют информационно–управляющие системы (ИУС) [123].

Стоит отметить, что существуют более модифицированные системы, непосредственно

относящиеся к данному исследованию, называемые системы прогнозирования поддержки принятия управленческих решений (ПППУР). Системы позволяют давать прогностическую оценку резонансным событиям, полагаясь на обособленные данные, результаты которых представлены в виде многопараметрической картографической модели.

В функциональные задачи систем ПППУР входят: прогнозирование будущего состояния системы; планирование, на основании прогноза; контроль поведения системы.

Фундаментом систем ПППУР и ИУС является возможность обеспечивать информацией о прошлом, настоящем и будущем, а также всей связующей составляющей с данными критериями. При этом, такое обеспечение должно быть эффективным, надежным и своевременным.

Согласно источнику [123] виды управленческой деятельности делятся на три составляющие: стратегическое планирование — принятия решения относительно целей и стратегий исследуемой области; управленческий контроль — обеспечение ресурсов и их эффективное использование, исходя из поставленных задач; оперативный контроль — обеспечение выполнения конкретизированных задач.

В последнее время, задачи систем принятия управленческих решений перекладываются на нейросетевые алгоритмы [90]. Нейронные сети обучаются и внедряются практически во все сферы деятельности жизни, в том числе и в ГИС. Несомненно, такие сети имеют огромный потенциал и могли быть применимым в поставленных целях и задачах исследования, при этом, возможно показывая неплохой результат. Нерентабельность использования нейросетевых моделей обусловлено отсутствием достаточного количества информационных данных для обучения такой сети. Описание и влияние природных стохастических процессов является крайне тяжелой задачей в ходе обучения. Отмечено, что стохастические процессы также оказывают достаточное воздействие на рассмотренные алгоритмы фильтрации. Но, в отличие от трудоёмкого обучения нейросетей, рекурсивные фильтры справляются с данной задачей с весьма высоким процентом точности, что доказано благодаря описанному эксперименту. Именно данный факт играет решающую роль в выборе алгоритмов фильтрации, как части модели картографических технологий поддержки управленческого решения.

Если рассматривать ПППУР со стороны картографии, то напрашивается вывод, что сферы традиционного проектирование, в особенности составление карт и есть элемент управления. Карты создаются в целях управления и принятия решения. Посмотрев на карту, проведя картографический анализ, любой человек принимает решение о дальнейших действиях, базируясь на данных, использованные и отраженные на карте.

Успешность работы систем ПППУР зависит от [123]: своевременного доступа к БД; полноты и объективности данных; наличию алгоритмов эффективной обработки данных.

Решаемые задачи систем ПППУР и ИУС: аналитическая обработка данных;

геокодирование аналитических данных; автоматизированная проверка корректности данных; публикация данных с привязкой к территории и к исследуемой сфере с учетом временных периодов; предоставление информации в графическом; представление необходимых пространственных данных.

Обобщая и применяя вышеизложенную теорию в области ГИС, технология принятия решения сводится к ряду последовательных этапов [129]:

- декомпозиция стратегической цели на частные цели;
- на этапе анализа ресурсов для достижения целей, исследуются реальные ресурсы системы, посредством системного анализа с использованием экспертных методов;
- этап формирования решений на основе имеющихся ресурсов, подразумевает, что технологические решения становятся ресурсопригодными;
- этап формирования решений на основе информационной ситуации и информационной позиции объекта управления. Здесь технологические решения корректируются с учетом действий конкурентов и реальной окружающей ситуации;
- на этапе комплексной оценки решений осуществляется комплексный анализ и прорабатываются сценарии развития и варианты решений;
- реализация решений является одним из основ, котором необходимо реализовывать решению с учетом динамики изменения ситуации;
- последним этапом является контролем и корректировкой решения.

Таким образом можно утверждать, что ГИС сочетает в себе все составляющие автоматизированной системы управления [130], а также методы информационного управления, представленные в цифровой и визуальной форме.

Описание графического интерфейса пользователя модели геоинформационного управления навигацией в Арктическом регионе России (подсистема геомоделирования)

Разработанная МГИСУН предполагает использование системы ППУР, базирующиеся исключительно на программной реализации, сочетающая в себе комплексирование алгоритмов рекурсивной фильтрацией статистических данных для прогнозирования и оценки качества исходной информации. Интерфейс системы ППУР, являющейся частью модели ГИС, представленный в картографическом виде, изображен на рисунке 60.

Управление подсистемой геомоделирования в части ППУР, базируется также на графическом интерфейсе пользователя (ГИП), рассмотренного ранее, за одним исключением: в данном случае представлена работа со второй вкладкой «Карта». Система состоит из четырех составных элемента управления (на рисунке 60 элементы пронумерованы):

1. Подложка карты. Представляет собой интерактивную область ПО ГИС, в которую интегрируется та или иная картографическая подложка, слой. Картографический модуль, как отмечено выше, работает через взаимосвязанную подгружаемую, систему GeoMap. Сама подложка (представлен закрытый для использования слой «OpenSeaMap», сервиса OpenStreetMap) состоит из непосредственно графического изображения карты, рядом слоев и полигональной сетки. Использование полигональной сетки дает возможность визуализировать

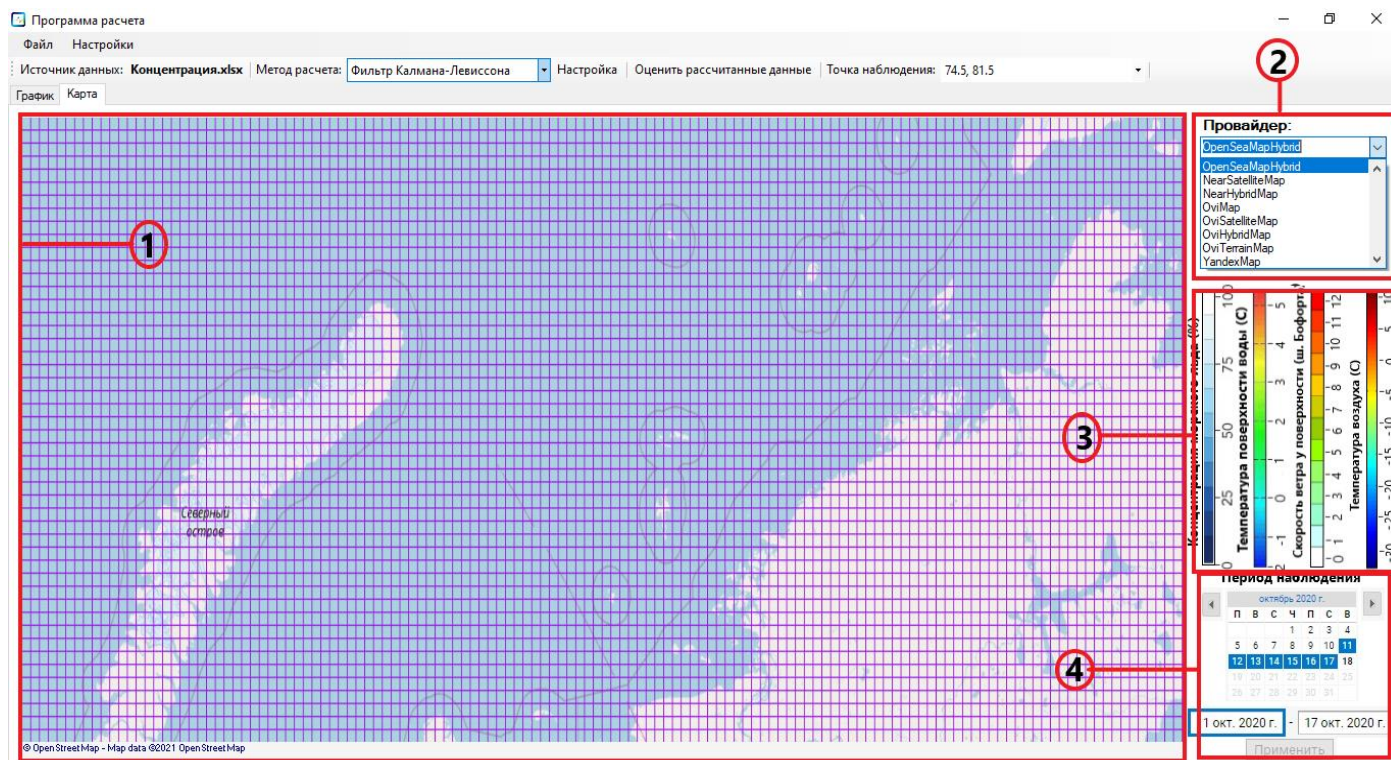


Рисунок 59. Графический интерфейс пользователя модели геоинформационного управления навигацией в Арктическом регионе России (подсистема геомоделирования)

исследуемые параметры, за счет цветовой градации, используя координатно-растровое наложение, с соблюдением масштабности. Карта имеет возможность масштабирования.

2. Элемент «Провайдер», предоставленный GeoMap, позволяет выбирать большое множество картографических подложек, слоев и целых автоматизированных систем. Обязательным условием является наличие подключения к глобальной сети, так как вышеперечисленное подгружается с серверов.

3. Шкалы, в виде цветных градаций, исследуемых параметров. Элемент является пассивным, используется в качестве наглядного отображения сравнительных характеристик, отраженных на карте.

4. «Период наблюдения» - элемент, позволяющий производить выборку необходимого временного интервала, отображаемых на карте спрогнозированных геоданных.

3.4 Апробация сформированной модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе Российской Федерации

Опишем функциональную работу подсистемы геомоделирования, как комплекса ПППУР. На вход МГИСУН подаются исходные геоданные, после чего выбирается алгоритм обработки (фильтр прогностической оценки). Параллельно выбирается точка наблюдения, при этом, в случае необходимости навигационного обеспечения, есть возможность выбрать ряд точек. Такая возможность реализуется за счет интерфейса ПО, а также, при наличии в исходном файле нескольких геопространственных координат. Если будет выбрана одна точка наблюдения, результатом будут служить, отображенные на карте, цветовой (растровой) градацией, спрогнозированные параметры исследуемых пространственно-координированных геоданных. В случае, если количество точек наблюдения выбрано несколько, то в каждой точке синтезируется вышеописанный алгоритм, после чего, за счет модуля GeoMap, БД IRMLDEO DL и разработанного алгоритма (на программном уровне), строится возможный маршрут.

Проведем эксперимент-апробацию (рисунок 61, 62) с имеющимся обработанными геоданными. В качестве прогнозируемого параметра используем критерий «Концентрация морского льда», интервальная выборка за октябрь 2020, количество наблюдаемых точек три (ранее описанных).

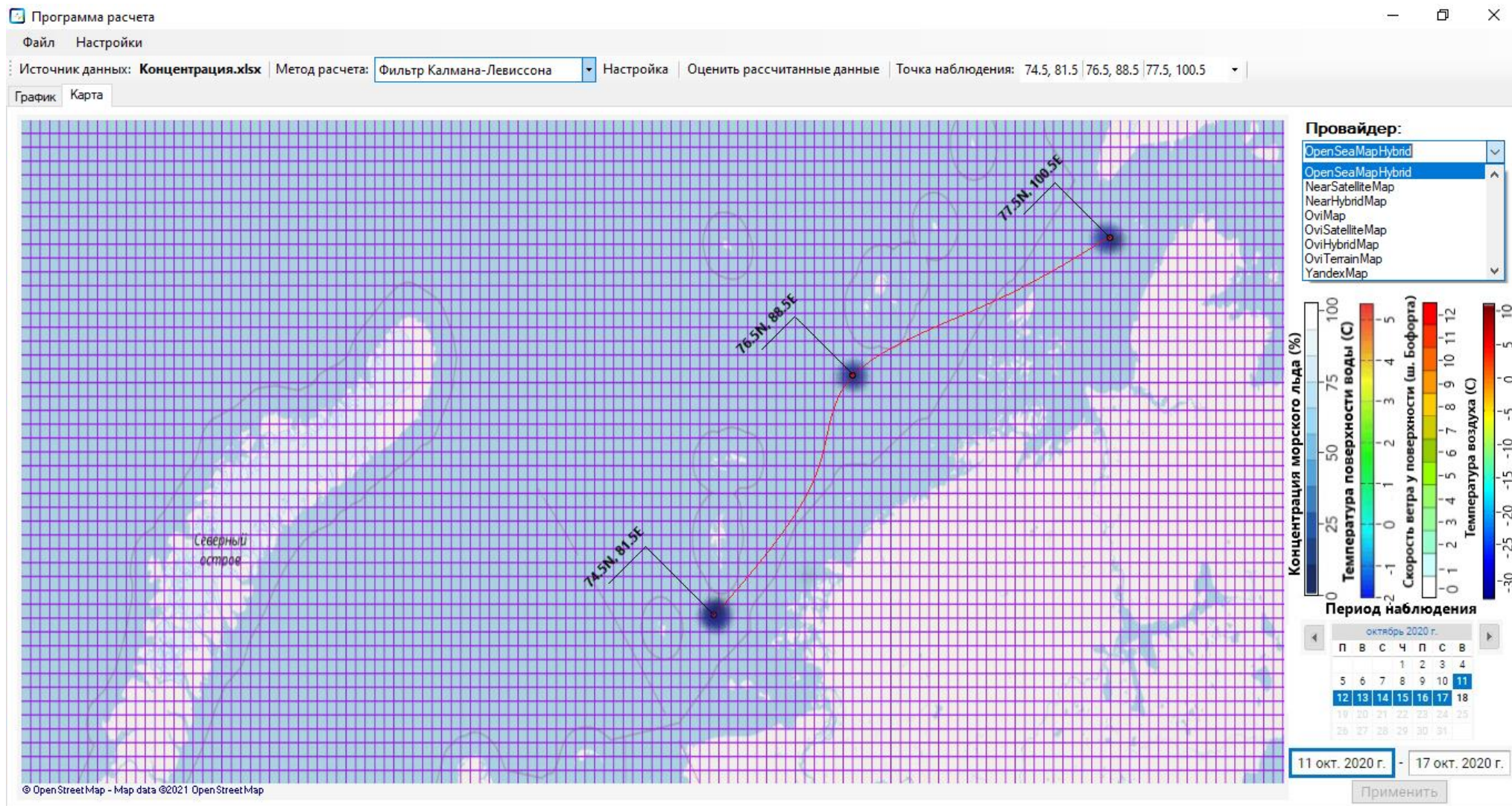


Рисунок 60. Результат апробации модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе России

Анализ результатов апробации показал, что входе инициирования разработанного алгоритма на картографическом слое привязываются заданные геопространственные координаты, соединенные навигационным путем, в виде красное линии, при этом вокруг каждой точки имеется закрашенный особым градиентом полигон (рисунок 62).

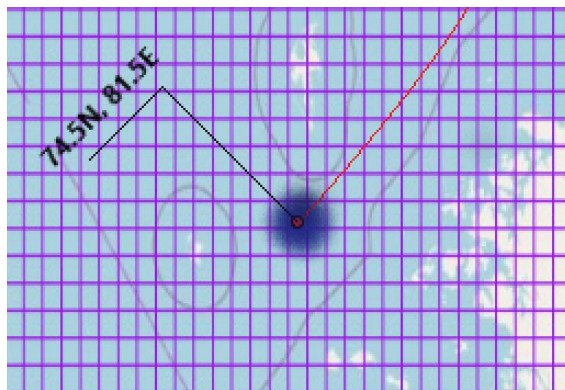


Рисунок 61. Детальное представление градиента на полигоне исследуемого параметра

Разберем детальнее. Ранее описывалось, что каждый параметр описывается некой цветной шкалой с определенным градиентом (рисунок 63). Привязка градиента осуществляется через растровые геопространственные координаты, отраженные в масштабируемой полигональной сетке. Данный синтез осуществляется благодаря наличию взаимосвязи (привязке) полигонов в сетке и независимыми переменными (также в виде сетки), сформированными при выборке данных в библиотеке IRLDEO. Так, в главе 2, описано, что при выборке данных параметра «Температура поверхности воды», формируется сетка из 132 точек-полигонов. Далее, имея координированный картографический слой [100], отраженный в виде множества полигонов или сетки, а также имея данные, представленные в виде подобных геопространственных координат, на программном уровне, за счет языка высокоуровневого программирования C#, синтезируется градиент (закрашивается точка) в точке, согласно равным координатам обеих сеток.

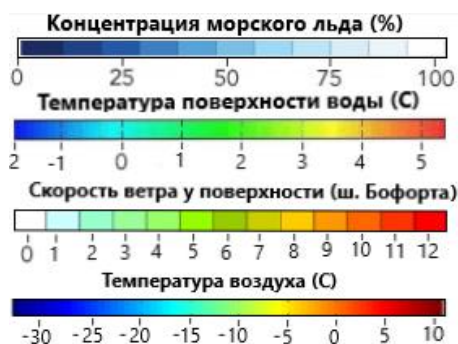


Рисунок 62. Градиентные шкалы исследуемых параметров

Таким образом можно утверждать, что площадь исследуемой точки равна количеству полигонов, из которых состоит такая точка. Стоит отметить шкалы градиента параметра «Скорость ветра у поверхности». Данный параметр рассчитывается по шкале Ф. Бофорта.

Относительно системы управления навигацией, то в данном случае необходимо пояснить ряд аспектов. В частности, соединительный маршрут между точками, изображенный красной линией, является программно-сформированным и отображает лишь суть работы алгоритма. Модель предполагает, что маршрут состоит из гигантского множества пространственных географических координат, представленных в виде точек. Как уже известно, каждая точка имеет цветовой градиент того или иного параметра, визуально отражающий прогностические данные. Соответственно, если взять ряд точек располагающиеся на достаточной, для полигональной заливки, близости, то навигационная линия маршрута будет проходить через полигоны, градиент которых являются благоприятным, относительно исследуемого параметра, для прохождения судна.

На рисунке 61, точки, исследуемого параметра, располагаются на достаточно большом расстоянии. Тем не менее, линия проходит внутри полигона и не отклоняется, так как согласно градиентной шкале, точка закрашена темно-синими, в местах черными, оттенками, что в свою очередь говорит об отсутствии льда в данной геолокации. Отрезок между точки является проектным отображением работы модели, по мере увеличения координатных точек, растёт точность системы управления навигацией на маршруте.

Имея достаточное количество данных, в частности представленных в многочисленных геопространственных координатах, использование модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе России, считается актуальным.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

В третьей главе обозначены основные функциональные задачи и свойства модели геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе России. Проведён анализ обобщённых этапов формирования ГИС.

В ходе формирования, на одном из этапов, была разработана и представлена модель диаграммы прецедентов будущей ГИС на языке UML, в среде облачного сервиса «diagrams.net», а также рассмотрены основные функциональные возможности моделируемой системы на её основе. Непосредственная реализация ГИС была рассмотрена в виде технологических ряда уровней. Каждый из уровня был подробно описан и проанализирован.

На основе многоуровневой системы аспектов спроектирована структура МГИСУН, используя среду MS Visio Professional. Структура подверглась детальному рассмотрению, пояснены все взаимосвязанные модули и компоненты. На основе данной структуры была разработана диаграмма детальности или активностей (activity diagram), с целью интерпретации

спецификаций исполняемого поведения системы в виде координированного последовательного и параллельного выполнения подчинённых элементов, соединённых между собой потоками.

Одним из завершающих этапов формирования МГИСУН является непосредственно сама разработка ПО на высокоуровневом языке программирования. В ходе данного этапа были определены технические характеристики и системные требования среды использования. Разработан алгоритм в виде блок-схемы центральной системы процессов ГИС, в дополнение реализована блок-схема алгоритма методики представления геоданных. В качестве небольшого примечательного дополнения, был разработан логотип ГИС в среде Adobe Photoshop CS.

Как одни из итогов разработки МГИСУН получаем многофункциональный интерфейс системы, обеспечивающий взаимодействие пользователя со всеми разработанными и описанным в настоящем исследовании алгоритмами, а также структурной моделью, управление которой осуществляется благодаря интуитивно понятному графическому решению.

Финальным этапом формирования МГИСУН является реализация системы ПППУР, непосредственно как интегрируемый модуль-подсистема. На этапе поставлены задачи основных функций систем ПППУР.

Посредством языка программирования C#, было разработано ПО, в виде интегрируемой библиотеки, базирующаяся исключительно на программной реализации, сочетающая в себе комплексирование алгоритмов рекурсивной фильтрацией статистических данных для прогнозирования и оценки качества исходной информации. Рассмотрены все компоненты ГИП подсистемы геомоделирования. Проведен эксперимент-апробация, на ранее представленных данных, анализ которого показал, что входе инициирования разработанного алгоритма на картографическом слое привязываются заданные геопространственные координаты, соединенные навигационным путем, при этом вокруг каждой точки имеется закрашенный особым градиентом полигон. Пояснен алгоритм привязки градиента к прогностическим геоданным.

Таким образом, сформированная модель геоинформационной системы управления навигацией в Арктическом регионе России, позволяет конечным потребителям получить сведения, помогающие принять эффективное управленческое решение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования автором были получены следующие результаты:

1. Разработаны требования к геоинформационной системе управления навигацией в Арктическом регионе России, основанные на анализе геополитической и гидрометеорологической обстановки, навигационной составляющей и многопараметрическом анализе характеристик геоинформационных систем. На этапах разработки, были представлены критерии, влияющие на будущее освоение Арктического региона. Выявлены основные направления зависимых потребностей региона, анализ которых, в свою очередь, говорит о необходимости развития и актуальности использования Северного морского пути. Методом ДЗ обусловлена зависимость суровых климатических условий для навигации и требованиями, предъявляемым к мореплаванию. Проведен анализ более 50 современных ГИС, в ходе которых была разработана масштабная аналитическая матрица сравнительных функций и типов современных ГИС. Результатом столь детального анализа, было выявлено отсутствие на сегодняшний день ГИС удовлетворяющих поставленным требованиям исследования.

2. Составлена методика представления геоданных для моделей прогнозирования будущего состояния обстановки Арктического региона, основанная на модифицированных алгоритмах рекурсивной фильтрации, которая использует новые модели и методики оценки навигационной обстановки на маршрутах в Арктическом регионе, цифровую рекурсивную фильтрацию статистических данных для прогнозирования и оценки качества исходной информации, а также является независимым интегрируемым модулем ГИС. Данный результат обусловлен рядом исследований, в ходе которых был проведен анализ современных методов прогнозирования в интересах обеспечения навигации, разработаны модели, на основе модифицированных рекурсивных алгоритмов цифровой фильтрации данных, с целью прогнозирования будущего состояния системы. Каждый из фильтров представлен в виде ПО – независимой интегрируемой библиотекой.

3. Представлена разработанная модель прогнозирования состояния обстановки Арктического региона, основанная на модифицированных алгоритмах рекурсивной фильтрации, отличающаяся тем, что она синтезирована путем совмещения рекурсивных фильтров и использует методику представления геоданных, что дает возможность повысить точность прогнозов до 90 %. Синтез, ранее не разрабатываемой модели, базируется на последовательном подключении процессов реализованных линейных фильтров. Сращивание двух моделей цифровых фильтров (Калмана и Левинсона) обусловлено исключительно на программном уровне.

4. Автором полностью сформирована модель геоинформационной системы управления

навигацией в Арктическом регионе Российской Федерации, которая отличается тем, что использует прогностические рекурсивные алгоритмы цифровой фильтрации, методику представления геоданных для поддержки принятия управленческих решений навигацией в Арктическом регионе РФ. В результате формирования модели ГИС, были обозначены основные функциональные задачи каждого компонента системы, а также проведен анализ этапов формирования. Разработана и детально описана функциональная структура компонентов МГИСУН. Реализованная, посредством высокоуровневого языка программирования C# модель, представлена в виде многофункционального пользовательского интерфейса, сочетающий в себе систему прогнозирования (основанная на модифицированных алгоритмах фильтрации) и систему управления навигацией в Арктическом регионе России.

Как указано в ходе исследования, центральной моделью ГИС является гибридный фильтр Калман-Левинсона, имеющий множество перспективных преимуществ. Стоит отметить, что алгоритм Калмана является БИХ-фильтром (фильтром с бесконечной импульсной характеристикой), а алгоритм Левинсона – КИХ-фильтром (соответственно, с конечной). Их корректное совмещение, необходимость и эффективность взаимодействия требует дальнейшего достаточно объемного, трудоемкого отдельного исследования. В частности, создания абсолютного нового математического аппарата – алгоритма совмещения фильтров.

Не смотря на ряд недостатков, эксперименты проведенный в ходе исследования показали весьма положительный результат, требующий дальнейшего развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безруков, П.А. Политико-географические проблема делимитации Севера и Арктики России / П.А. Безруков // География и природные ресурсы. – 2015 – № 4. – С. 68-80.
2. Васильев, В.В. Метод комплексного природохозяйственного районирования и выделение южной границы Российской Арктики / В.В. Васильев, В.С. Селин // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2014. – № 1 (16). – С. 64-71.
3. Лукин, Ю.Ф. Концептуальные подходы к определению внутренних границ и развитию Российской Арктики в меняющемся мире / Ю.Ф. Лукин // Арктика и Север. – 2012. – № 6. – С. 94-109.
4. Арктическая энциклопедия: дополненное и переработанное издание «Северной энциклопедии»: в 2 т. — Т. 2. — М.: Паулсен, 2017. — 664 с.
5. Барциц И. Российский арктический сектор: правовой статус // Обозреватель–Observer. — 2000. — №12. — С. 121—125. — URL:
6. Arctic Human Development Report. — Akureyri: Stefansson Arctic Inst., 2004. — 242 p.
7. Maps / Arctic Council.— URL: <https://www.arctic-council.org/index.php/en/learn-more/maps>.
8. Кондратьев В.Б. Минеральные ресурсы и будущее Арктики. Горная промышленность. 2020;(1): 87 – 96. DOI 10.30686/1609-9192-2020-1-87-96.
9. Humpert M. What is the Northern Sea Route? The Economist. September 24, 2018. Available: <https://www.economist.com/theeconomist-explains/2018/09/24/what-is-the-northern-sea-route>
10. Transit Statistics. Northern Sea Route Information Office. Available at: https://web.archive.org/web/20160904171211/http://www.arctic-liaison.com/nsr_transits
11. Bird K.J., Charpentier R.R., Gautier D.L., Houseknecht D.W., Klett T.R., Pitman J.K., Moore T.E., Schenk C.J., Tennyson M.E., Wandrey C.J. Circum-Arctic Resource Appraisal: Estimates of Undiscovered Oil and Gas North of the Arctic Circle. USGS Science for a Changing World. 2008. Available at: <https://pubs.usgs.gov/fs/2008/3049/fs2008-3049.pdf>
12. Michaud D. After the Ice: Mineral Riches of the Arctic. May 14, 2014. Available at: <https://www.911metallurgist.com/blog/mineralriches-of-the-arctic>
13. Козлов А., Вершубская Г., Козлова М. Коренные народы северной России. Антропология и здоровье // Пищевые компоненты приполярного региона. — 2001. — № 1. — С. 124.
14. Большаков В. Н., Богданов В. Д. Освоение Арктики. Риск утраты биологических ресурсов // Вестник Уральского отделения РАН. 2009. — № 3. — С. 29–35.
15. Занин А. В. Перспективы морской добычи нефти и газа на территории Арктического шельфа и способы их транспортировки / Омск: Наука и молодежь в 21 веке. материалы 2-й Всероссийской научно-практической конференции. — 2016. — С. 134–138.

16. Измайлова А.В. Водные ресурсы озер Российской Федерации // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 5–14.
17. Магрицкий Д.В., Повалишников Е.С., Фролова Н.Л. — История изучения стока воды и водного режима рек Арктической зоны России в XX в. и начале XXI в. // Арктика и Антарктика. — 2019. — № 3. — С. 61 - 96. DOI: 10.7256/2453-8922.2019.3.29939 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=29939
18. Водные ресурсы и их влияние на состояние и перспективы развития региональных земельных рынков в мире (обзор составлен на основании данных ООН, ЮНЕСКО, Агентства международного развития США, Международного института управления водными ресурсами). Информационно – аналитическая служба Федерального портала «Индикаторы рынка земли». URL: <https://www.land-in.ru> Режим доступа свободный
19. Koncagül Engin, Tran Michael, Connor Richard, Uhlenbrook Stefan. The United Nations world water development report 2019: leaving no one behind, facts and figures // Всемирная программа ЮНЕСКО. CC BY-SA 3.0 IGO, SC-2019/WS/9, 2019. – 11 p.
20. Загорская С.С., Ефремова А.С. Сравнительный анализ использования Северного морского пути и конкурентных транспортных коридоров // Аллея науки. – 2018. – № 7. – С: 352 – 355. eISSN: 2587-6244
21. Горелов В.Л., Мельникова Е.Н. Основы прогнозирования систем. – М. : Высш. шк., 1986.
22. Костенко И.П. Введение в вероятностное прогнозирование. – М. : Институт компьютерных исследований, 2004. – 316 с.
23. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. // Учебник. СПб.: Изд. РГГМУ, 2007. — 436 с
24. БЭС – Большой энциклопедический словарь [Текст] / гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Большая рос. энциклопедия, 1998. – 1450 с.
25. Сидельников Ю.В., Константиновская Л.В. «Экспертное прогнозирование. Вводный курс» // Готовится к изданию в 2021 году
26. Макоско А.А. Гидрометеорологическое обеспечение плавания по трассам Северного морского пути // Арктика: экология и экономика. — 2013 — №3(11). — С. 40-49. — УДК: 551.5:656.62
27. Миронов Е. У., Клячкин С. В., Юлин А. В., Новые методы и технологии ледовых прогнозов в арктических морях // Метеорология и гидрология. – 2019 - № 4 – С. 26 – 35. - УДК 551.467.3.03(98), DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12102
28. Стегний, В. Н. Социальное прогнозирование и проектирование: учебник для академического бакалавриата / В. Н. Стегний. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва :

- Издательство Юрайт, 2019. — 182 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-07184-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/438999>
29. Васильев А.А. Вильфанд Р.М. Прогноз погоды // М., изд-во Гидрометцентра. — 2008- 62с
30. Толмачева Н.И., Тимофеева А.Г. Средства измерений гидрометеорологического назначения // Учебное пособие. М., ИПК Росгидромета, 2017, 223 с.
31. Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы // СПб.: изд-во РГГМУ, 2006,
32. Гершензон Г.С. Техника службы погоды. // М.: Знание, 1971, 63 с.
33. Бучинский А.Ф., Г.Г. Фадеев Гидрометеорологическое обеспечение судоходства. Часть 2. // Синоптическая метеорология. С-Петербург., СПГУВК, 2005.
34. Вербицкая Е. М. Современные методы и технологии прогнозирования метеорологических параметров // Методическое пособие по использованию численных прогнозов погоды, Хабаровск 2018. - С. 87, УДК 551.509.513
35. Абузьяров З. К., И. О. Думанская, Е. С. Нестеров. Оперативное океанографическое обслуживание // – М.; Обнинск: «ИГ–СОЦИН», 2009. УДК 551.465
36. Бондарева Э.Д., Метеорология: дорожная синоптика и прогноз условий движения транспорта // Учебник 2-е изд., испр. и доп. - Сер. 11 — Москва: Издательство Юрайт, 2017. — 106 с. — (Университеты России). ISBN: 978-5-534-04477-5
37. Истомин Е.П. Сетевые методы и модели распределения автоматизированных систем: диссертация на соискание докт. техн. наук: 05.13.06/ Истомин Евгений Петрович. – СПб., 1998. – 263 с.
38. Егоров А.Г., Спичкин В.А. Метод локально - генетической типизации ледовых условий // Тр. ААНИИ. 1994. Т. 432. С.146-163
39. Карклин В.П., Карелин И.Д., Юлин А.В. Метод прогноза сроков окончательного разрушения припая в районах восточной части моря Лаптевых заблаговременностью до одного месяца. Информационный сборник. Гидрометцентр России. № 40. 2013. С.97-114.
40. Ковалев Е.Г., Третьяков В.Ю., Юлин А.В. Опыт использования модернизированного метода анализа ледовых процессов на основе совмещения ГИС-технологий с АПС "Пегас" на примере морей Северной Атлантики. Труды ААНИИ, т. 445, 2002, с. 24-30.
41. Карклин В.П., Карелин И.Д., Юлин А.В. Метод прогноза сроков окончательного разрушения припая в районах восточной части моря Лаптевых заблаговременностью до одного месяца. Информационный сборник. Гидрометцентр России. № 40. 2013. С.97-114.
42. Ковалев Е.Г., Третьяков В.Ю., Юлин А.В. Опыт использования модернизированного метода анализа ледовых процессов на основе совмещения ГИС-технологий с АПС "Пегас" на примере морей Северной Атлантики. Труды ААНИИ, т. 445, 2002, с. 24-30.

43. Кудрявая К.И., Серяков Е.И., Скриптунова Л.И., Морские гидрологические прогнозы // Учебник – Л.: Гидрометеиздат, 1974 — 312 с.
44. Миронов Е.У., Ашик И.М., Дымов В.И., Кулаков М.Ю., Клячкин С.В. Модели и методы расчета и прогноза ледовых и океанографических условий в арктических морях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2 (85). С. 16–28.
45. Картография // Малый энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 4 т. — СПб., 1907—1909.
46. Берлянт А. М. Картография: //Учебник для вузов. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 336 с. ISBN 5-78567-0142-7
47. Дубровский А.В. Д797 Земельно-информационные системы в кадастре [Текст]: учеб.-метод. пособие // А.В. Дубровский. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 112 с.
48. Майкл Н. ДеМерс. Географические информационные системы. Основы // Пер. с англ. - М.:Дата+, 1999.-491 с.
49. Основы геоинформатики: В 2-х кн. Кн. 1: учеб. пособие для студ. вузов // Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; под ред. В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр "Академия", 2004
50. Раклов В.П. Картография и ГИС // – М.: Академический проект; Киров: Константа, 2011. – 214 с
51. Блиновская Я.Ю., Задоя Д.С. Введение в геоинформационные системы // – М.: Форум; Инфра-М, 2013. – 112 с
52. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков // – М.: КДУ, 2008. – 424 с
53. Блиновская Я.Ю., Д.С. Задоя., Введение в геоинформационные системы// учеб. Пособие. — 2-е изд. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. — 112 с.
54. Тихоненко, Д. В., Я. И. Шамлицкий, Автоматизированные геоинформационные системы: //учеб. пособие., Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2014. – 132 с.
55. Ковин Р. В., Марков Н. Г., Геоинформационные системы: учебное пособие // - Томск: Изд – во Томского политехнического университета, 2008. – 175 с.
56. В.А. Середович, В.Н. Ключниченко, Геоинформационные системы (назначение, функции, классификация) // – Новосибирск: СГГА, 2008. – 192 с. ISBN 978-5-87693-265-5
57. Ципилева Т.А., Геоинформационные системы: Учебное пособие. // – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2004. – 162 с.
58. Мартыненко А.И., Бугаевский Ю.Л., Шибалов С.Н. Основы ГИС: теория и практика. // — М., 1995, 232 с.

59. Степанов С.Ю. Анализ моделей и систем обработки гетерогенных данных для использования в прикладных ГИС/ Истомин Е.П., Колбина О.Н., Степанов С.Ю., Сидоренко А.Ю. // Научный вестник. 2015. N 4(6). с. 53-62 (ISSN 2411-1872, Св-во рег. СМИ ЭЛ № ФС 77-55459).
60. Степанов С.Ю. Анализ статистических данных космических измерений с приполярной территории для разработки стохастической модели оценки георисков/ Истомин Е.П., Сидоренко А.Ю.// Информационные технологии системы: управление, экономика, транспорт, право: Сб.науч.тр./Вып. 2 (11) -СПб: ООО «Андреевский издательный дом» - 2013г.,245 с.
61. Истомин Е.П., Степанов С.Ю., Колбина О.Н., Петров Я.А., Сидоренко А.Ю., Геоинформационная система управления пространственно-распределенными разнородными гидрометеорологическими данными для принятия управленческих решений по оптимизации регулирования отпуска тепла на тэц. // Естественные и технические науки. 2019. № 4 (130). С. 134-136.
62. Отраслевой стандарт Минобразования России. Информационные технологии в высшей школе. Геоинформатика и географические информационные системы. Общие положения. ОСТ ВШ 02.001-97. Дата введения 01.03.98.
63. Татарникова Т.М., Сидоренко А.Ю., Степанов С.Ю., Петров Я.А., Реализация метода для защиты пространственных данных ГИС на основе нейронной сети // Естественные и технические науки. 2020. № 1 (139). С. 134-136.
64. Development of a conceptual GIS model to support management decision making Istomin E., Petrov Y., Stepanov S., Sidorenko A., Vagizov M IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020
65. Сидоренко А.Ю. Модели обработки гетерогенных данных с помощью ГИС программ для решения задач оценки вероятностных событий/ Истомин Е.П., Колбина О.Н., Степанов С.Ю., Сидоренко А.Ю. // Наука, образование, общество. 2015. N 4(6). с. 20-27. (ISSN 2411-2224, Св-во рег. СМИ ЭЛ № ФС 77-56325)
66. ГОСТ 22268-76 Геодезия. Термины и определения (с Изменением № 1)
67. Татарникова Т.М., Сидоренко А.Ю., Степанов С.Ю., Петров Я.А., Разработка метода защиты геоинформационных систем и пространственных данных на основе нейронной сети Международный научно-практический журнал «Программные продукты и системы» DOI:10.15827/0236-235X.130.229-235 Дата подачи статьи: 2020-03-02 УДК: 004.056.5 Статья опубликована в выпуске журнала № 2 за 2020 год. [на стр. 229-235]

68. Сидоренко А. Ю., Прогноз концентрации плотности льда тематического слоя с помощью оптимального фильтра Калмана, Степанов С. Ю., Истомин Е. П., Сидоренко А. Ю. // Сб.науч.тр./Вып. 3 (12) -СПб: ООО «Андреевский издательный дом»
69. Самардак А.С. Геоинформационные системы: Учебное пособие. — Владивосток: ТИДОТ ДВГУ, 2005
70. Application of a remote sensing data processing method for assessment ice cohesion in the Arctic navigation A Sidorenko, S Stepanov, Y Petrov and I Martyn IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2020-08-13 | journal-article DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012128 Part of ISSN: 1755-1315
71. Татарникова Т.М., Сидоренко А.Ю., Степанов С.Ю., Петров Я.А., Вагизов В., Концептуальная модель анализа состояния территорий по данным дистанционного зондирования земли // ИНФОРМАЦИЯ и КОСМОС №3, 2020
72. Министерство природных ресурсов и экологии Российской федерации, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. Руководящий документ РД 52.27.881-2019//ФГБУ «Гидрометцентр России» Москва, 2019
73. Application of Kalman-Bucy filter for vessel traffic control systems in the northern sea route E Istomin, A Sidorenko, S Stepanov, Y Petrov and I Martyn IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020 | conference-paper DOI: 10.1088/1757-899X/817/1/012012EID: 2-s2.0-85087694141 Part of ISBN: 1757899X 17578981
74. Истомин Е.П., Сидоренко А.Ю., Колбина О.Н., Степанов С.Ю., Петров Я.А., Математическая модель обработки пространственно-распределенных разнородных геоданных для принятия управленческих решений по прокладке оптимальных маршрутов следования судов в Арктике//Естественные и технические науки 2019.№4 (130).С.130-133.
75. Spatial-temporal variability of ice cover of the Bering sea I Martyn, Y Petrov, S Stepanov and A Sidorenko IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2020-08-13 | journal-article DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012198 Part of ISSN: 1755-1315
76. Development of a software module for the analysis of the forest using remote sensing data of the Earth Tatarnikova T., Petrov Y., Stepanov S., Sidorenko A. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020
77. Сидоренко А.Ю., Степанов С.Ю., Петров Я.А., Iri data library как инструмент хранения и обработки геоданных // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2020. № 1 (37). С. 5-13.
78. ISO/IEC 2382:2015 Information technology — Vocabulary ISO / IEC [ISO / IEC 2382-1: 1993]
79. Степанов С.Ю. Механизмы моделей и систем интеграции разнородных

- геопространственных данных/ Истомин Е.П., Колбина О.Н., Степанов С.Ю., Сидоренко А.Ю. // Наука и современность. 2015. N 1(3). с. 89-97 (ISSN 2411-2127)
80. Васильев Б. В. Прогнозирование надежности и эффективности радиоэлектронных устройств. // М.: Сов.радио,1970. – 336 с.
81. Сидоренко А.Ю., Прогнозирование гидрометеорологической обстановки западного сектора Северного морского пути с применением линейного фильтра Калмана-Бьюси/Сидоренко А.Ю., Новиков В.В., Истомин Е.П., Степанов С.Ю.// Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право: Сб. тр. Международной практической конференции «Инфогео-2014»/Вып. 3(14) – СПб: ООО «Андреевский издательский дом» - 2014 г., 116 с.
82. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана - Бьюси. М.: Наука, 1982. – 200 с.
83. Степанов С.Ю. Сложная информационная система прогнозирования рисков с применением фильтра Калмана – Бьюси / Истомин Е.П., Новиков В.В., Сидоренко А.Ю., Колбина О.Н., Степанов С.Ю. // – Ученые записки РГГМУ, выпуск 36, РГГМУ, 2014.
84. Мудров В. И., Кушко В. М. Методы обработки измерений. // М.: Сов.радио, 1976. – 192 с.
85. Study of intra-day dynamics of currents in the area of the navigable strait of Baltiysk to adjust the movement of water transport E Istomin, I Martyn, Y Petrov, S Stepanov and A Sidorenko IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020 | conference-paper DOI: 10.1088/1757-899X/817/1/012013EID: 2-s2.0-85087690595
86. Model of optimum integration of diverse geodata for the benefit of management of forestry, Istomin E., Stepanov S., Petrov Y., Kolbina O., Sidorenko A. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019 conference-paper DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012013EID: 2-s2.0-85072956026 Part of ISBN: 17551315 17551307
87. Пугачев В. С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М.: Физматгиз, 1962. – 166 с.
88. Истомин Е.П., Сидоренко А.Ю., Степанов С.Ю., Петров Я.А., Язданов Р.Н., Григоренко Н.В., О прикладных аспектах использования ГИС специального назначения // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2019. № 3 (35). С. 6-14.
89. R. E. Kalman and R. W. Koepecke, “The Role of Digital Computers in the Dynamic Optimization of Chemical Reactors,” Proc. Western Joint Computer Conference, 1959, pp. 116.
90. Сидоренко А.Ю., Степанов С.Ю., Петров Я.А., Мартын И.А., Морозов Д.П., Шишков Л.А., Технологии искусственного интеллекта в геоинформационных системах // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2019. № 3 (35). С. 115-122.

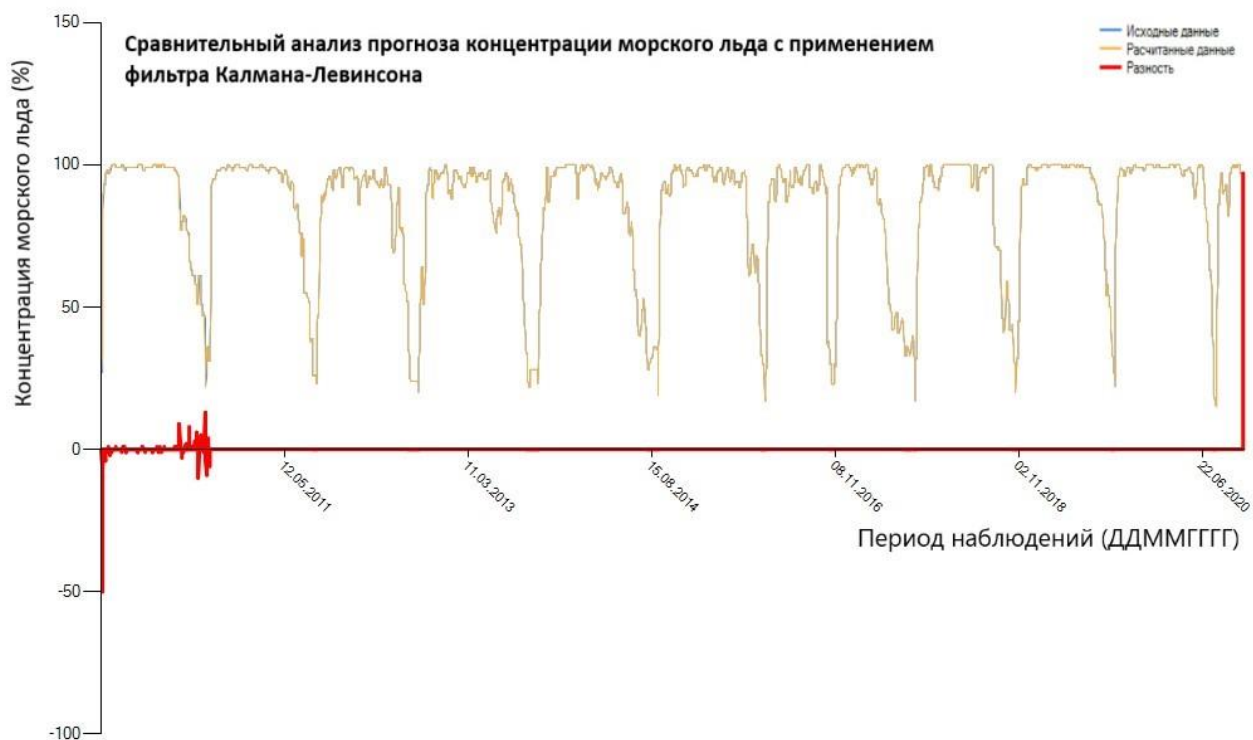
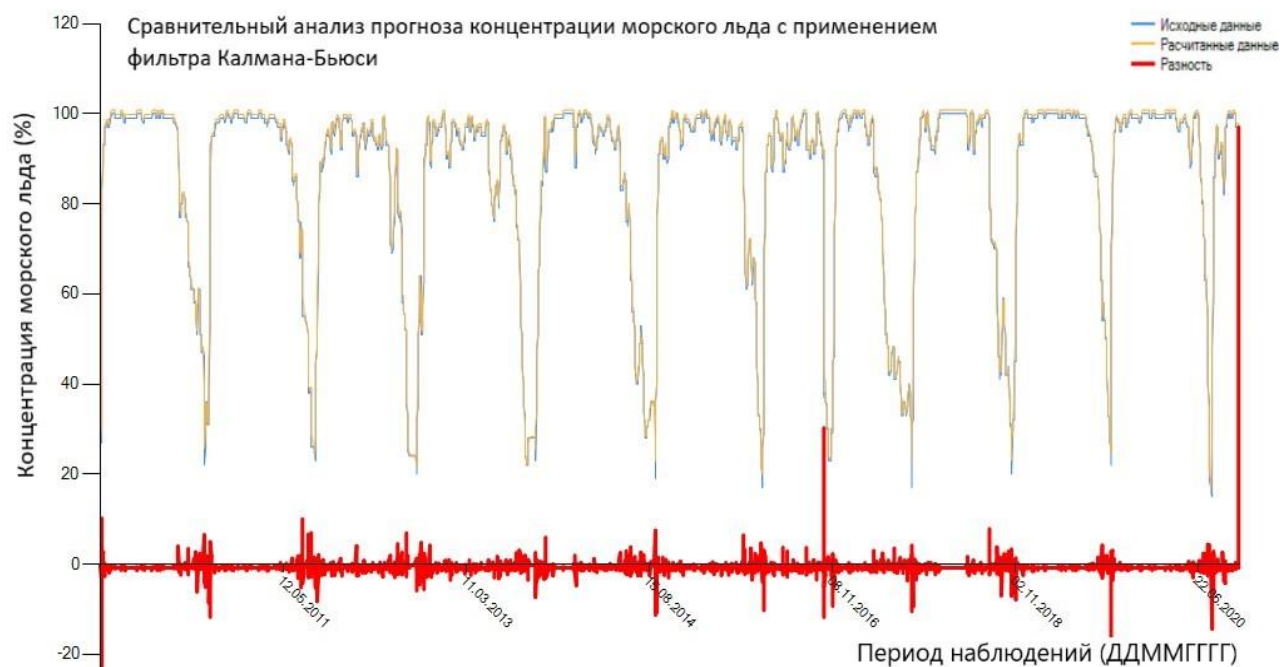
91. R. E. Kalman. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. *Transactions of the ASME – Journal of Basic Engineering*, No. 82 (Series D). (1960), pp. 35-45
92. Хабаров Д.А., Адиев Т.С., Попова О.О., Чугунов В.А., Кожевников В.А. Анализ современных технологий дистанционного зондирования Земли // Московский экономический журнал. 2019. №1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennyh-tehnologiy-distantionnogo-zondirovaniya-zemli> (дата обращения: 28.02.2020)
93. Мартын И.А., Царев В.А., Краева Е.В., Сидоренко А.Ю., Петров Я.А., Степанов С.Ю., Моделирование характеристик ветровых волн на акватории порта // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2019. № 4 (36). С. 124.
94. ГИС Лаборатория [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gis-lab.info/> (дата обращения: 02.02.2020)
95. Мартын И.А., Краева Е.В., Сидоренко А.Ю., Петров Я.А., Степанов С.Ю., Применение данных спутникового дистанционного зондирования для оценки наступления Эль-Ниньо // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2019. № 4 (36). С. 99-101
96. Институт Земли Колумбийского университета [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.earth.columbia.edu/> (дата обращения: 10.02.2020)
97. About technology of risk management in forestry, Istomin E., Petrov Y., Stepanov S., Kolbina O., Sidorenko A. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019 | conference-paper DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012011EID: 2-s2.0-85072972443 Part of ISBN: 17551315 17551307
98. International Research Institute for Climate and Society (IRI), (2016). Introduction to the Data Library (DL) - Data Selection in Space. November 29, Version 1.0. Palisades: IRI.
99. NOAA and Liquid Robotics Collaborate to Protect Marine Sanctuaries. 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oceannews.com/news/subsea-intervention-survey/noaa-and-liquid-robotics-collaborate-to-protect-marine-sanctuaries> (дата обращения: 10.02.2020)
100. Monitoring forest fires and their consequences using MODIS spectroradiometer data I Martyn, Y Petrov, S Stepanov, A Sidorenko and M Vagizov IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2020 | conference-paper DOI: 10.1088/1755- 315/507/1/012019EID: 2-s2.0-85087912679 Part of ISBN: 17551315 17551307
101. Smith, T.M., R.W. Reynolds, Thomas C. Peterson, and Jay Lawrimore, 2008: Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006). *Journal of Climate*, 21, 2283-2296.

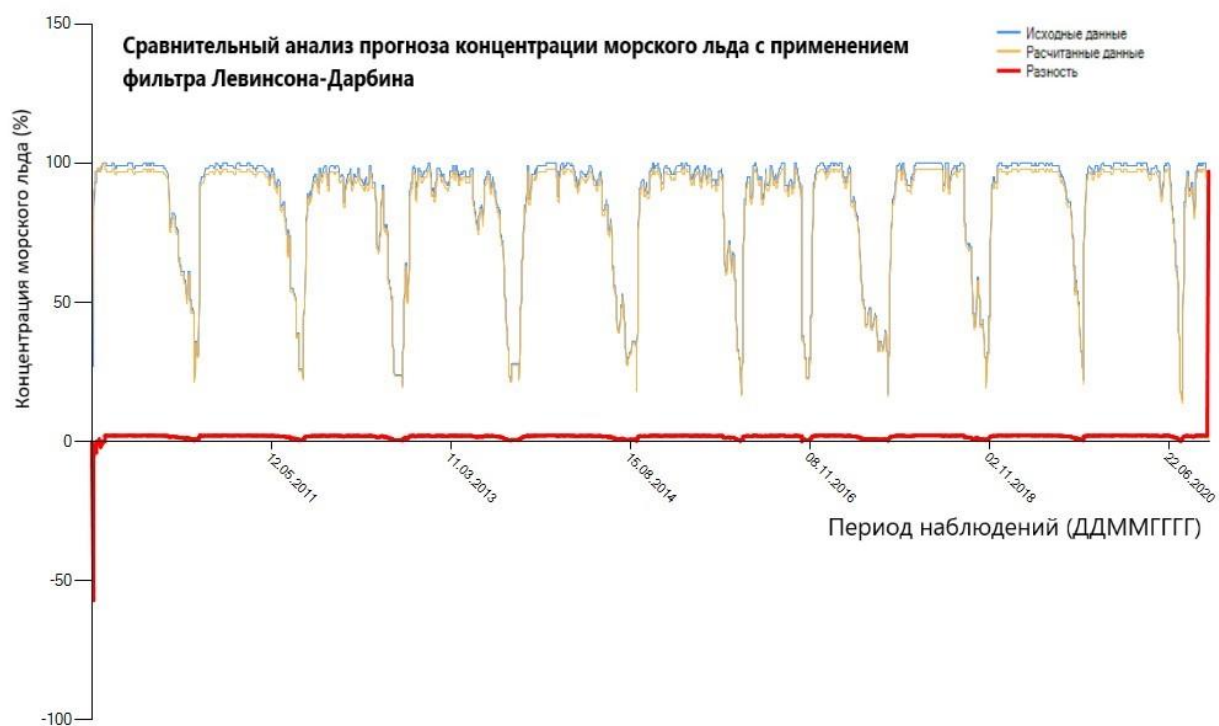
102. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч. У. «Факторный анализ: статистические методы и практические вопросы»/сборник работ «Факторный, дискриминантный и кластерный анализ»:пер.с англ.;Под.ред. И.С. Енюкова— М.: «Финансы и статистика», 1989. — 215 с.
103. About the methodology of geo-risk management in forestry E Istomin, Y Petrov, S Stepanov, A Sidorenko and I Martyn IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2020 | conference-paper DOI: 10.1088/1755-1315/507/1/012006EID: 2-s2.0-85087872822Part of ISBN: 17551315 17551307
104. Указа президента РФ от 26 октября 2020 года № 645 «О стратегии развития арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года»
105. Степанов С.Ю., Петров Я.А., Вагизов М.Р., Сидоренко А.Ю.,Мониторинг данных дистанционного зондирования земли по данным спутника landsat // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2020.№1 (37).С.206-216.
106. Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Руководящий документ РД 52.27.881-2019. // ФГБУ «Гидрометцентр России». Москва, 2019
107. Горлов А.А. Океанологические исследования поверхностными беспилотниками повышенной автономности // Научное обозрение. Технические науки.—2018.—№5.—С. 5-13
108. A conceptual model for geodata processing for sustainable forest management T Tatarnikova, S Stepanov, Y Petrov, A Sidorenko and I Martyn IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2020 | conference-paper DOI: 10.1088/1755-1315/507/1/012029EID: 2-s2.0-85087922845 Part of ISBN: 17551315 17551307P
109. Истомин Е.П., Степанов С.Ю., Петров Я.А., Сидоренко А.Ю. Концептуальная модель обработки данных дистанционного зондирования земли в интересах управления территориями. // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2020. № 1 (37). С. 195-205
110. A. E. Frazho, Kalman and Levinson Filtering // A&AE 567 Lecture Notes, Purdue University
111. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. — М.: Горячая линия - Телеком, 2013. — 288 с. — 500 экз. — ISBN 978-5-9912-0326-5
112. Степанов С.Ю., Петров Я.А., Сидоренко А.Ю., Геопространственный региональный анализ фотосинтетически активной биомассы по данным дистанционного зондирования земли// Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2020. № 1 (37). С. 186-194.

113. Burlov V G, Istomin E P., Abramov V M, Fokicheva A A and Sokolov A G 2018 Risk management method in parametric geosystems. *Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, (Bulgaria)* vol. 18 (2.2) p 377
114. Мартын И.А., Степанов С.Ю., Сидоренко А.Ю., Классификация подстилающей поверхности по данным спутниковых снимков // В сборнике: Актуальные вопросы в лесном хозяйстве. Материалы III международной научно-практической конференции молодых ученых. 2019. С. 189-192.
115. Bucy, R.S. and Joseph, P.D., *Filtering for Stochastic Processes with Applications to Guidance*, John Wiley & Sons, 1968; 2nd Edition, AMS Chelsea Publ., 2005. [ISBN 0-8218-3782-6](https://doi.org/10.1007/978-3-0346-0292-1_15)
116. М. Б. Прохоров, В. К. Саульев, Метод оптимальной фильтрации Калмана–Бьюси и его обобщения, Итоги науки и техн. Сер. Мат. анализ, 1977, том 14, 167– 207
117. Sorman O., T. E. Bullock. Kalman filter design using the Levinson algorithm and output statistics // Proceedings of 23rd Conference on Decision and Control, Las Vegas, NV, 01.12.1984
118. J. Durbin. The fitting of time series models // Rev. Inst. Int. Statist.—1960.—V. 28, № 3.—P. 23–243.
119. N. Levinson. The Wiener RMS (root mean square) error criterion in filter design and prediction // J. Math. Phys. Mass. Inst. Tech. 25 (1947), 261– 278.
120. Frazho A.E., Bhosri W. (2010) The Levinson Algorithm. In: An Operator Perspective on Signals and Systems. Operator Theory: Advances and Applications (Linear Operators and Linear Systems), vol 204. Birkhäuser Basel. https://doi.org/10.1007/978-3-0346-0292-1_15
121. Петров О.А. Использование алгоритма Левинсона-Дурбина для решения системы линейных уравнений и «Инфокоммуникационные технологии», том 1, №1, 2003г.
122. Грейди Буч, Джеймс Рамбо, Айвар Джекобсон. Язык UML. Руководство пользователя, The Unified Modeling Language user guide. — 2-е изд. — М., СПб.: ДМК Пресс, Питер, 2004. — 432 с. — ISBN 5-94074-260-2.
123. Геоинформатика: Учеб. для студ. вузов / Е.Г.Капралов, Г35 А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.; Под ред. В. С. Тикунова. – М.: Издательский центр Академия», 2005. – 480 с, [8] с. цв. ил.: ил. (Классический университетский учебник) ISBN 5-7695-1924-X
124. Болбаков, Р. Г. Принятие решений в геоинформационных системах. State Counsellor. 2015, Vol. 4 Issue 12, p11-15. 5p.
125. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Геоинформационные системы как новые автоматизированные системы управления // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2003. - №1.- с.115-124.

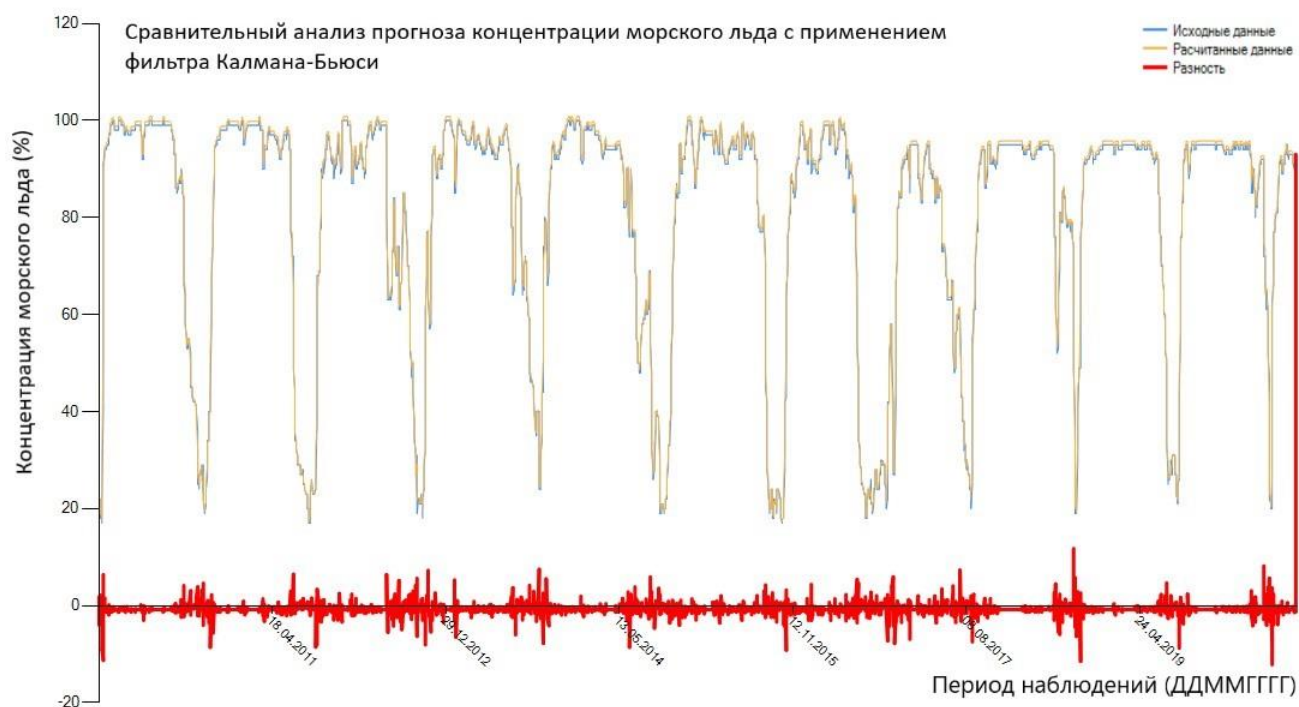
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Результаты апробации моделей рекурсивной фильтрации

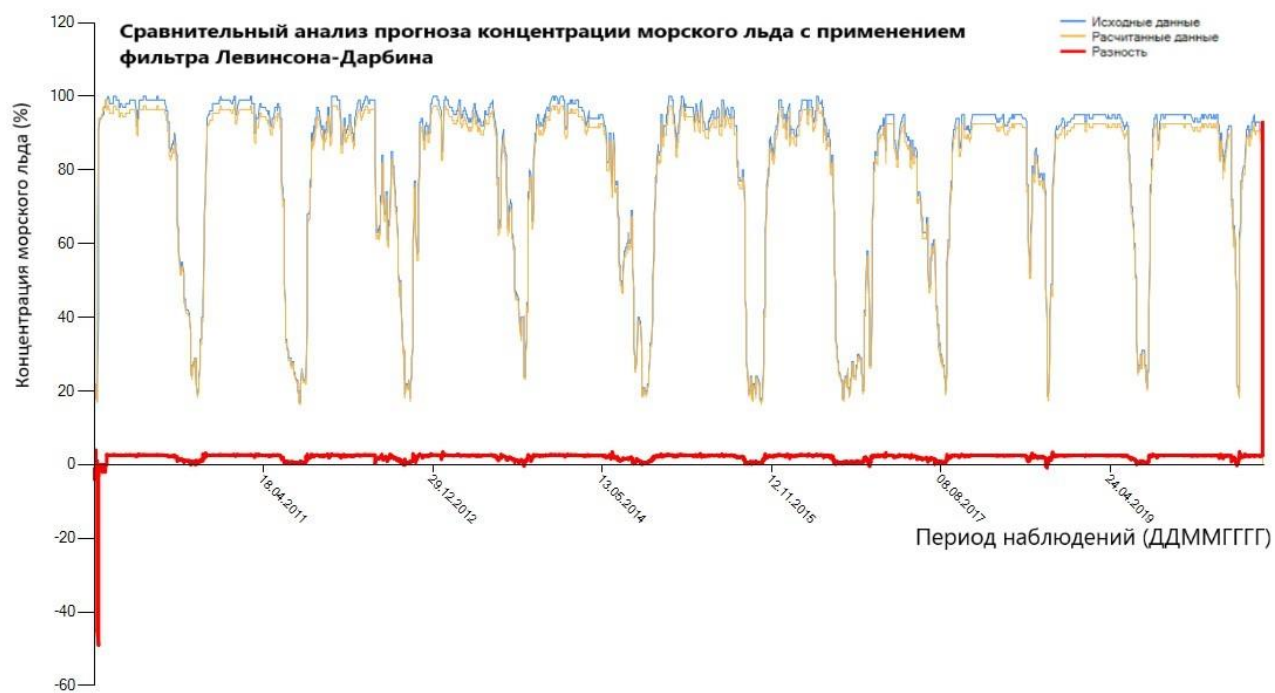
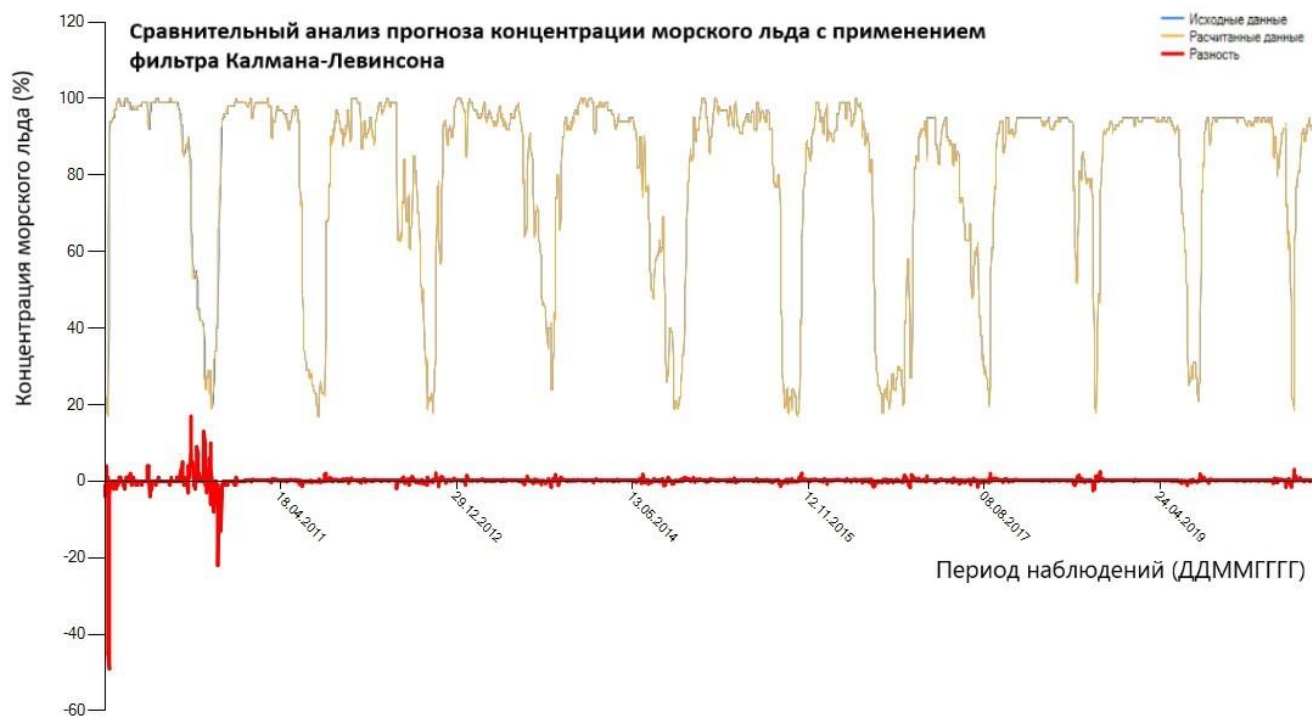
Результат апробации параметра «Концентрация морского льда» в геопозиционной точке с координатами 76.5N, 88.5E



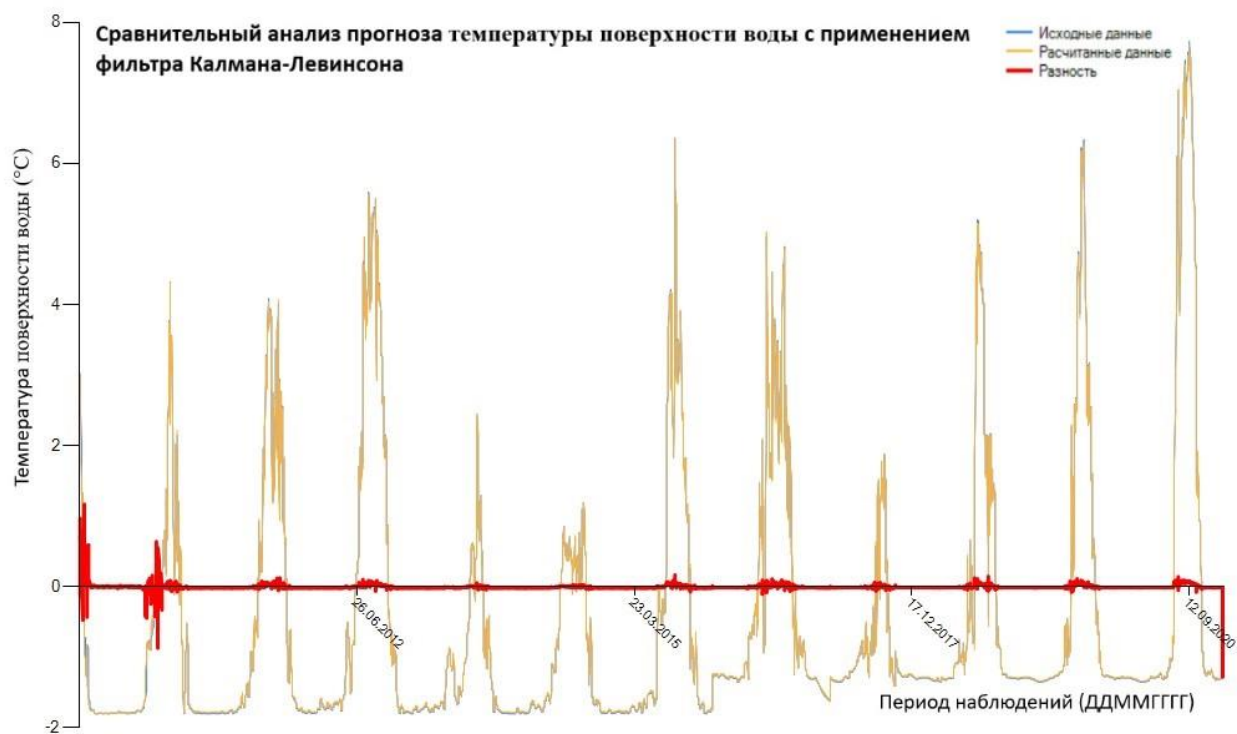
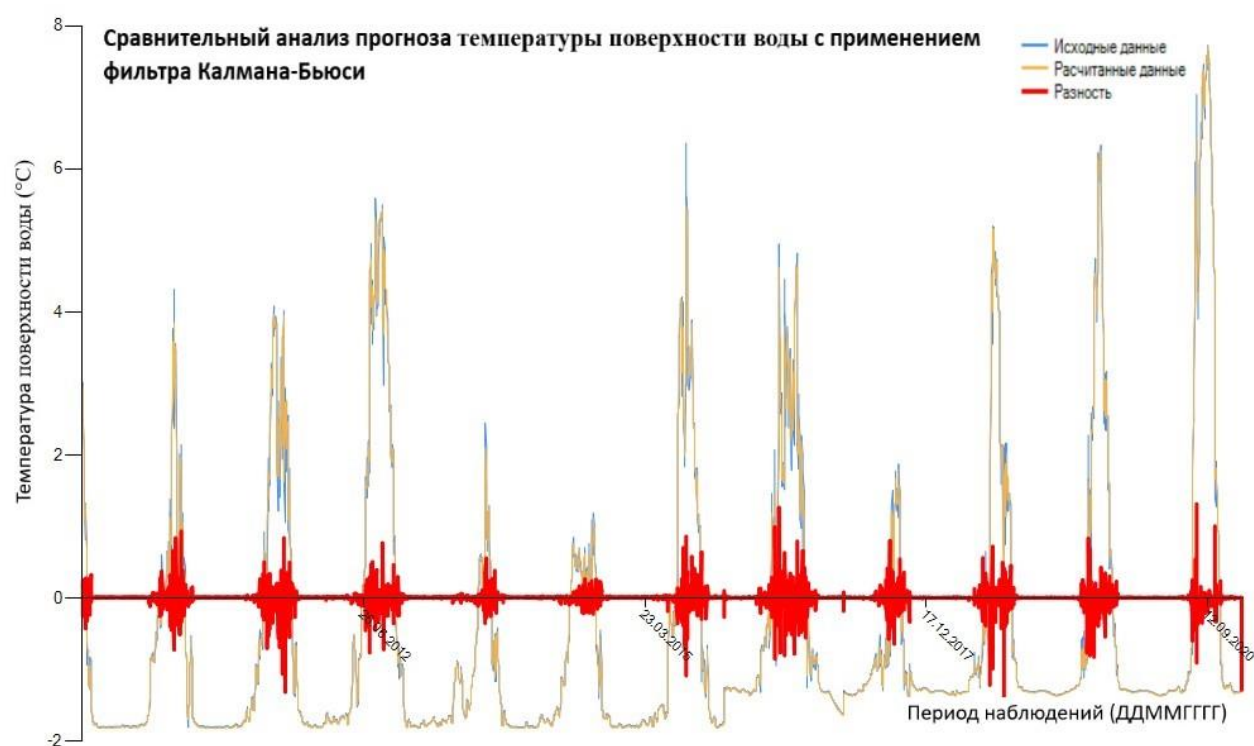


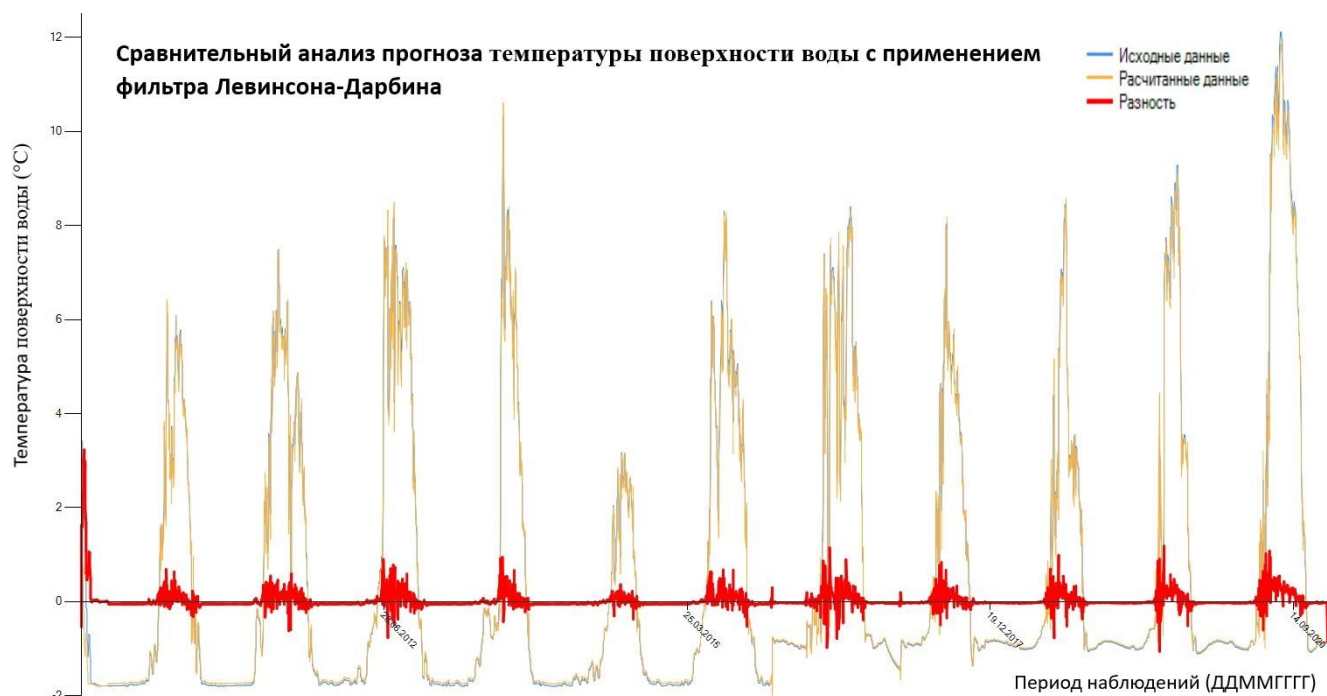
Результат апробации параметра «Концентрация морского льда» в геопозиционной точке с координатами 77.5N, 100.5E



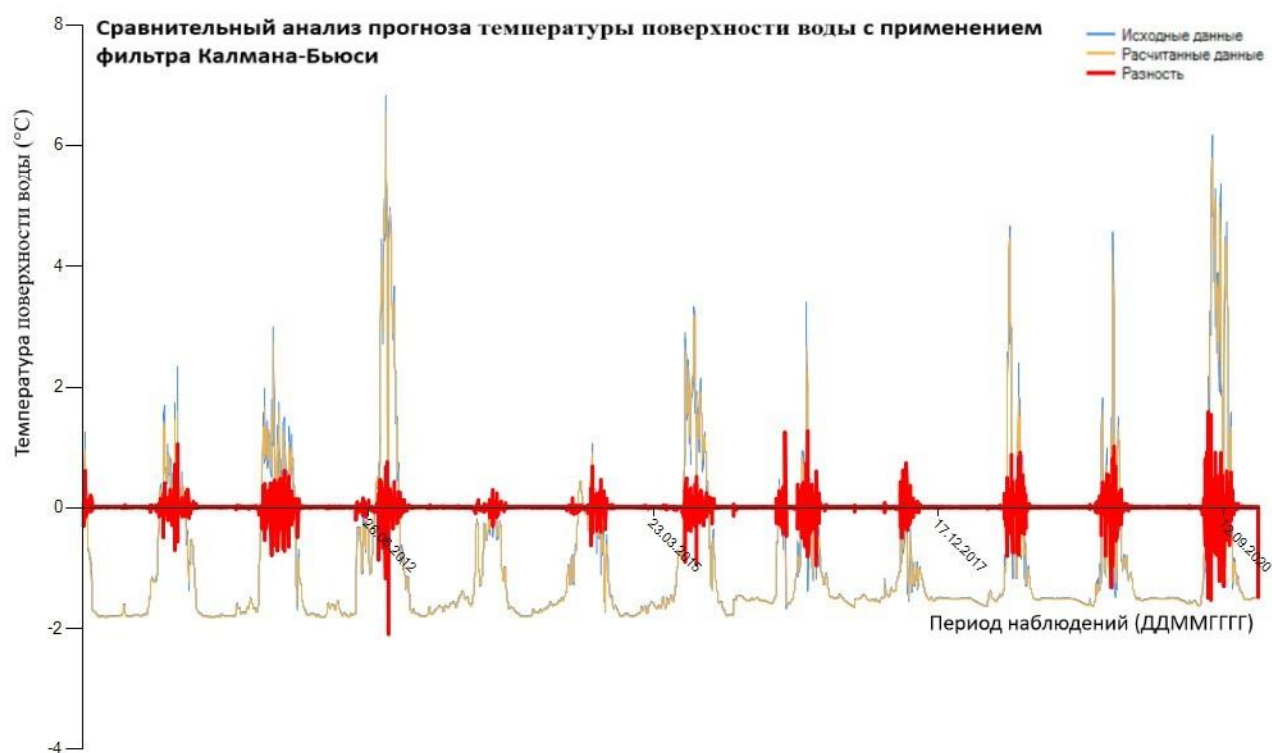


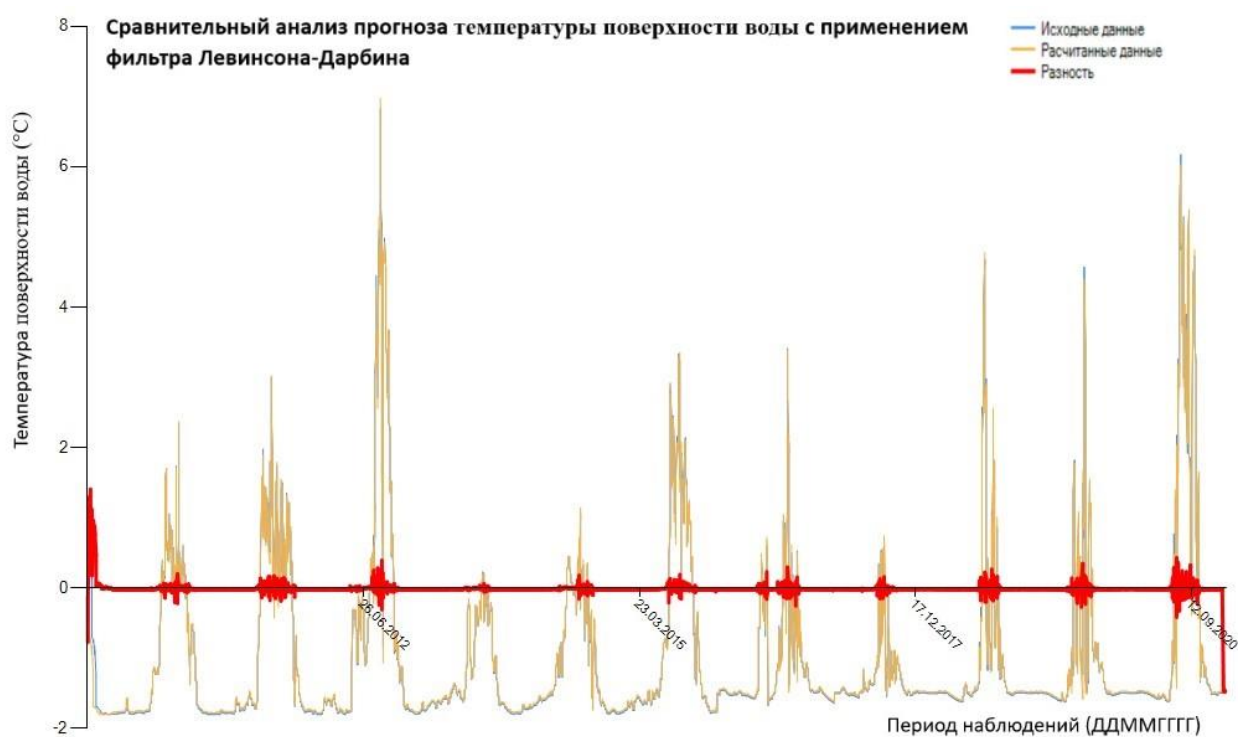
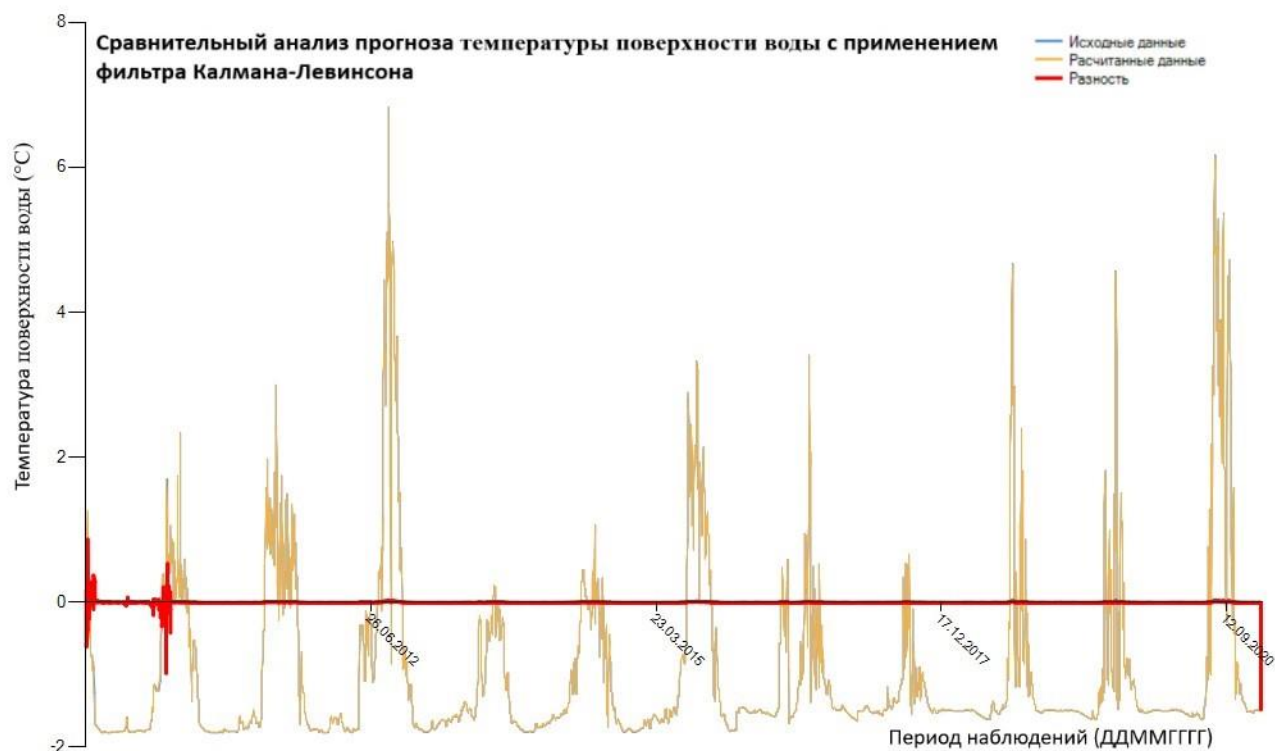
**Результат апробации параметра «Температура поверхности воды» в геопозиционной
точке с координатами 76.5N, 88.5E**



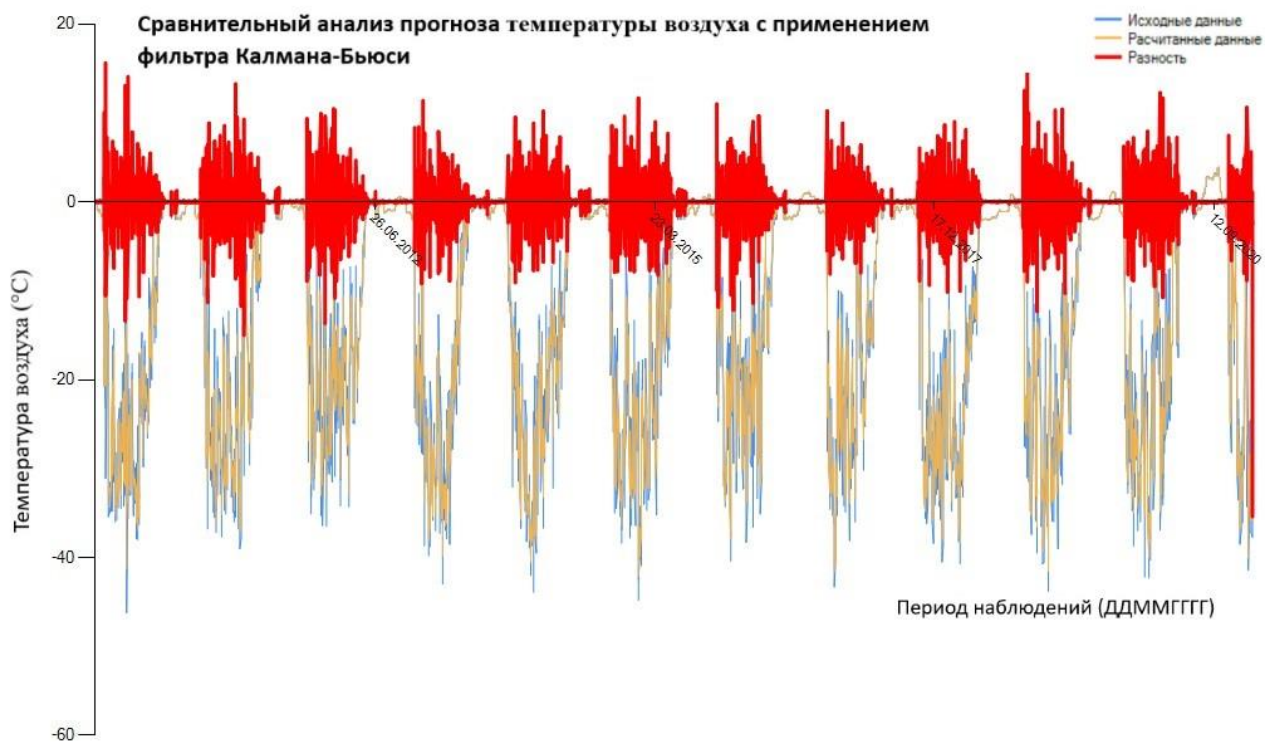
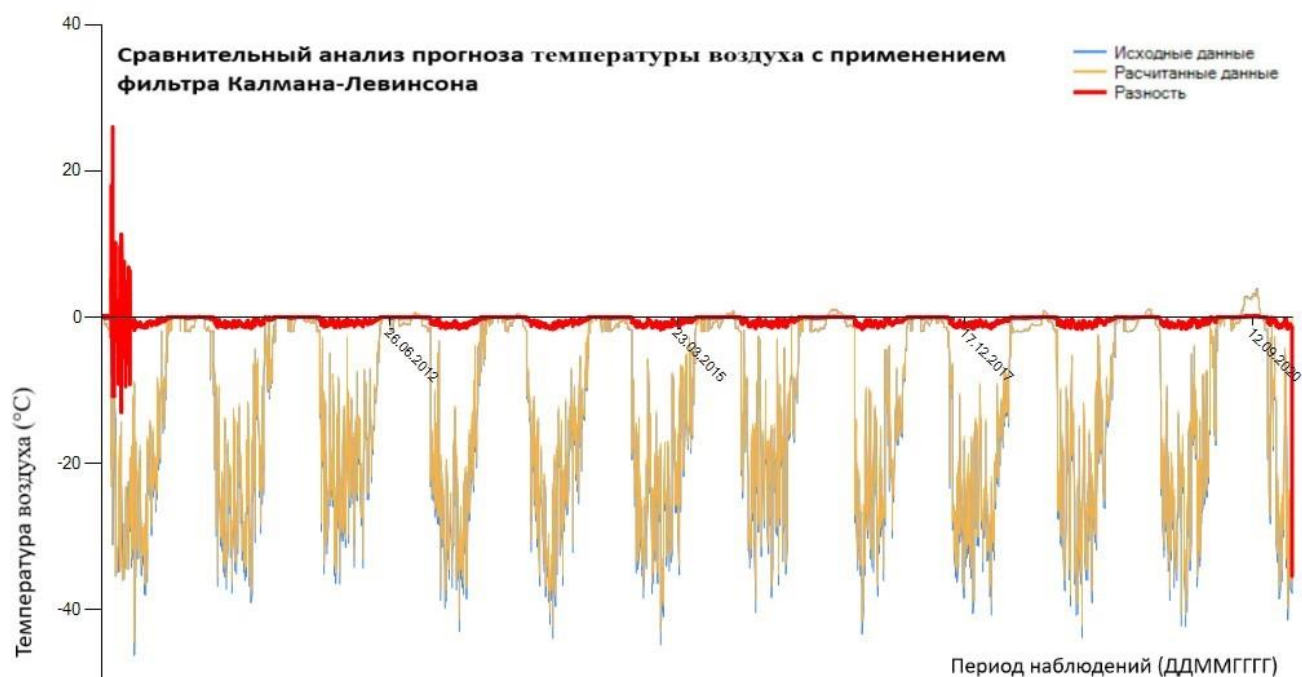


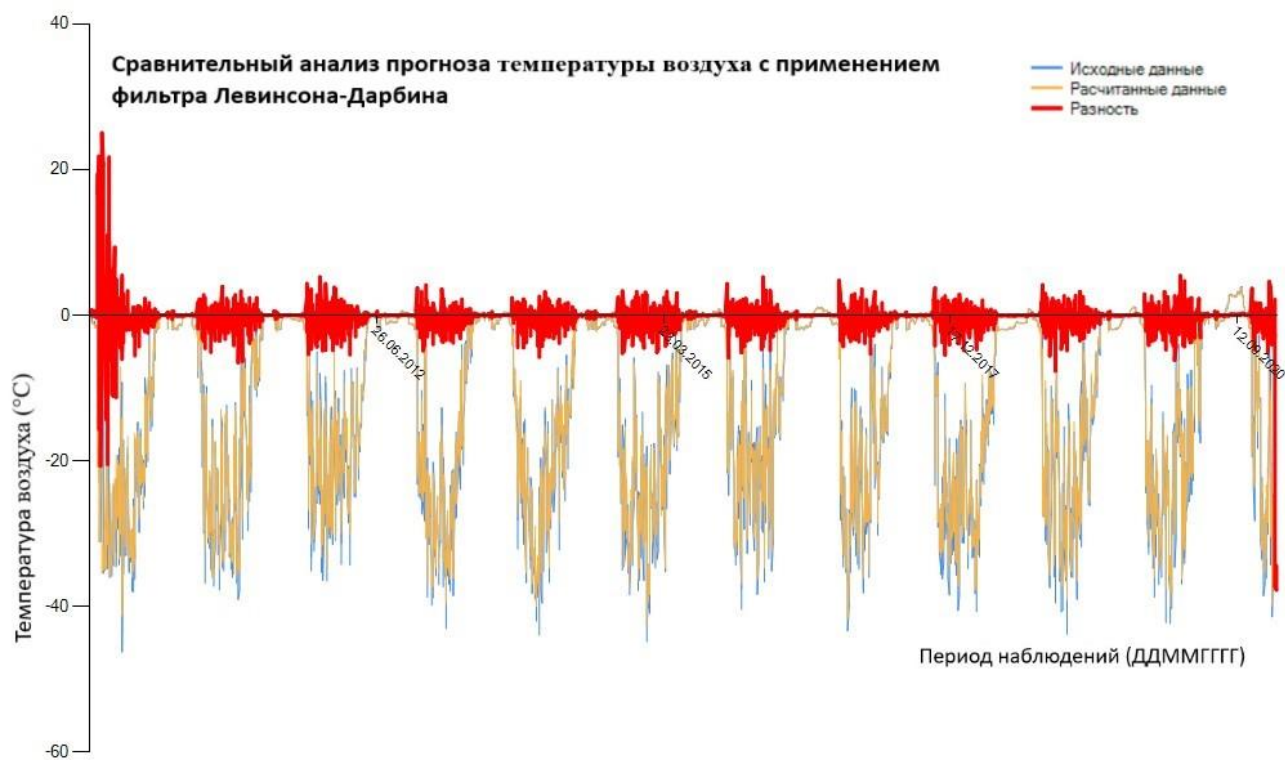
Результат апробации параметра «Температура поверхности воды» в геопозиционной точке с координатами 77.5N, 100.5E



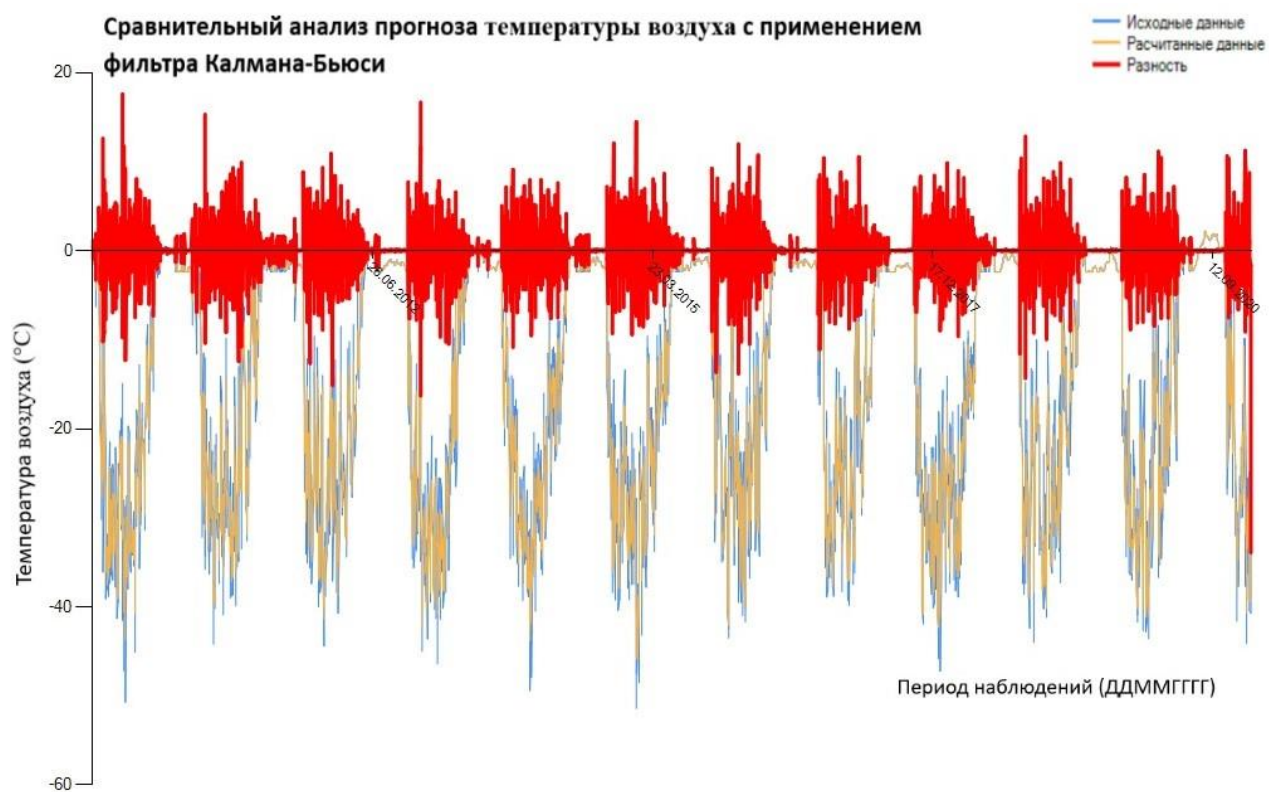


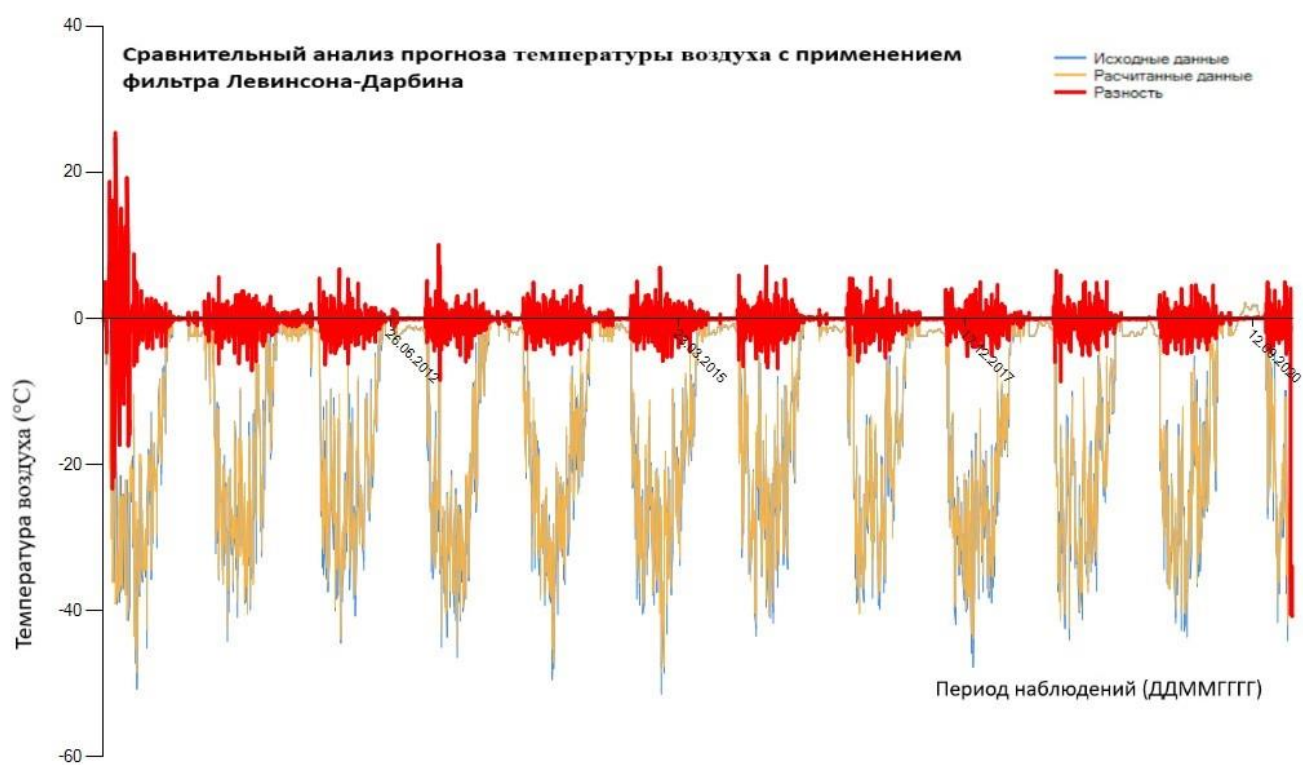
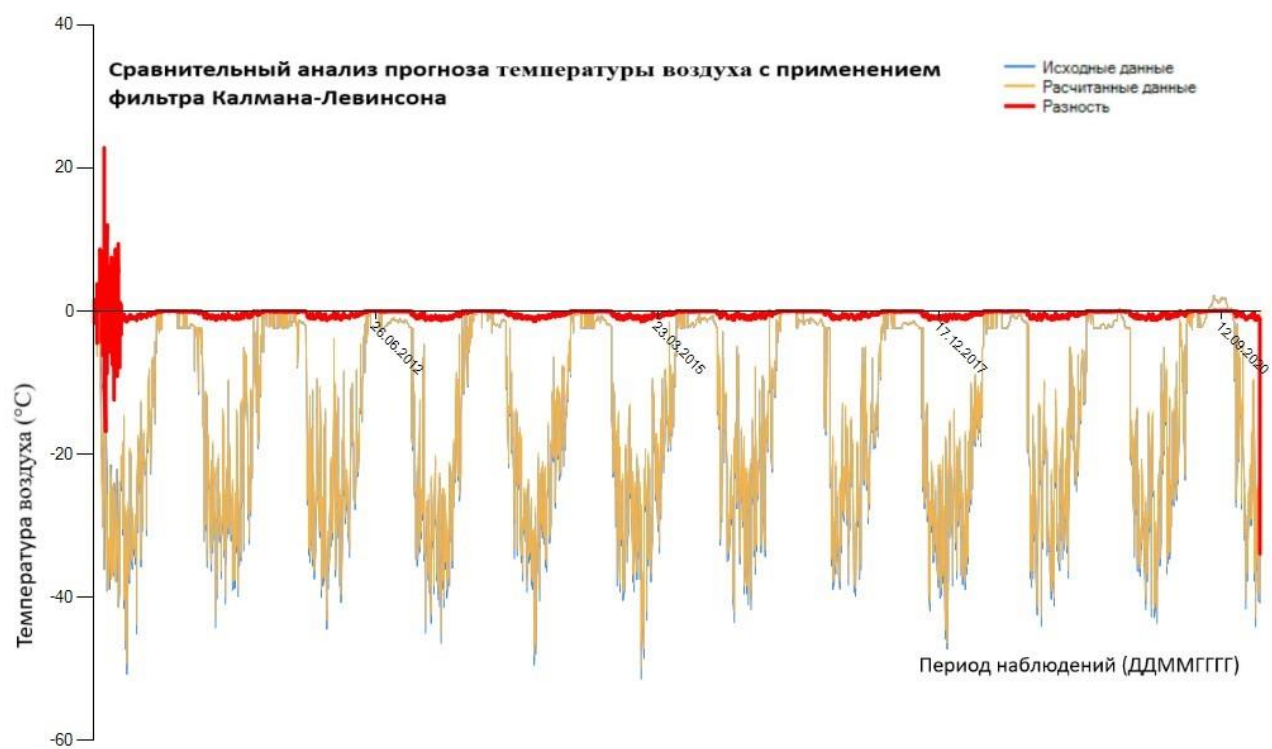
Результат апробации параметра «Температура воздуха» в геопозиционной точке с координатами 76.5N, 88.5E



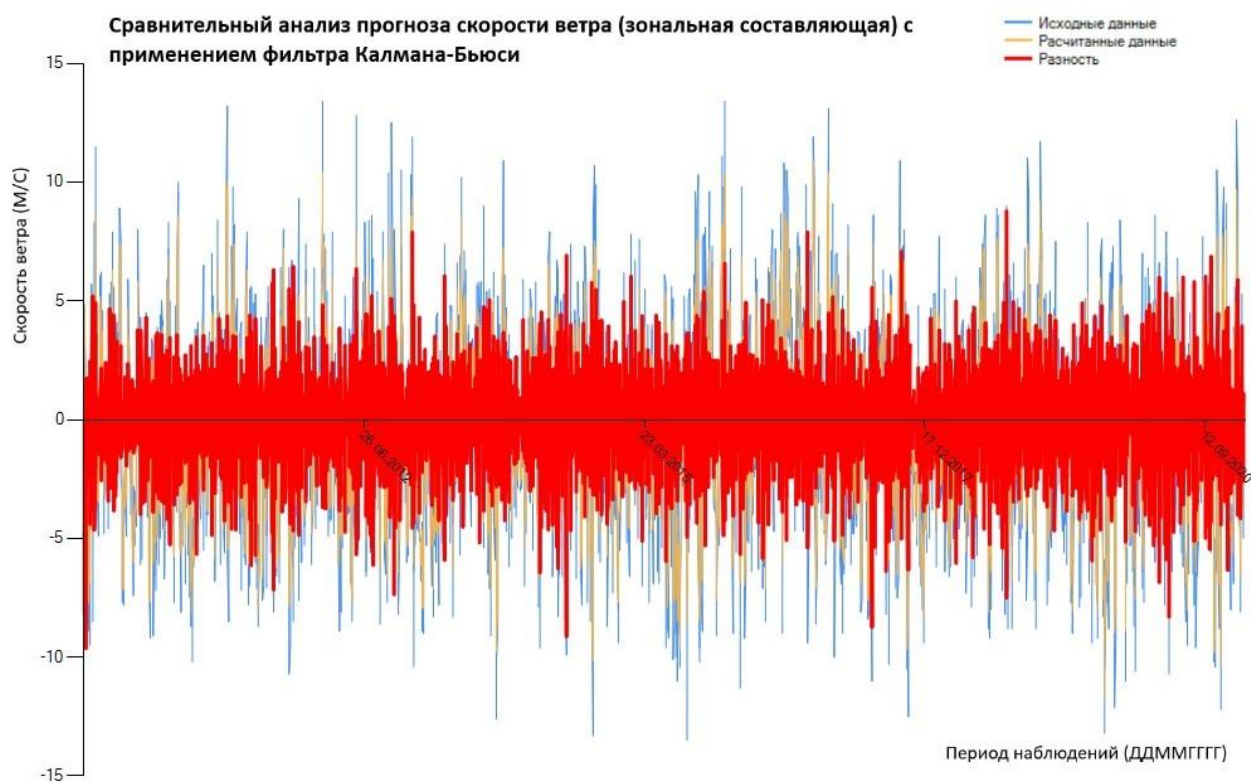
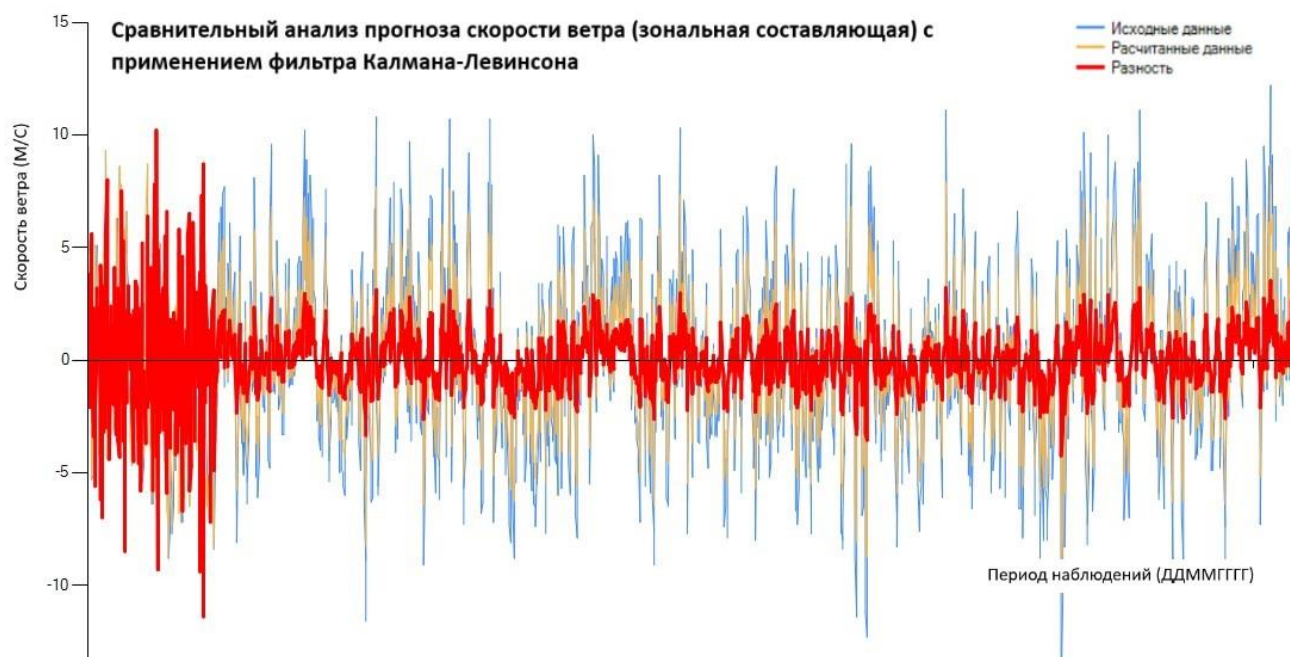


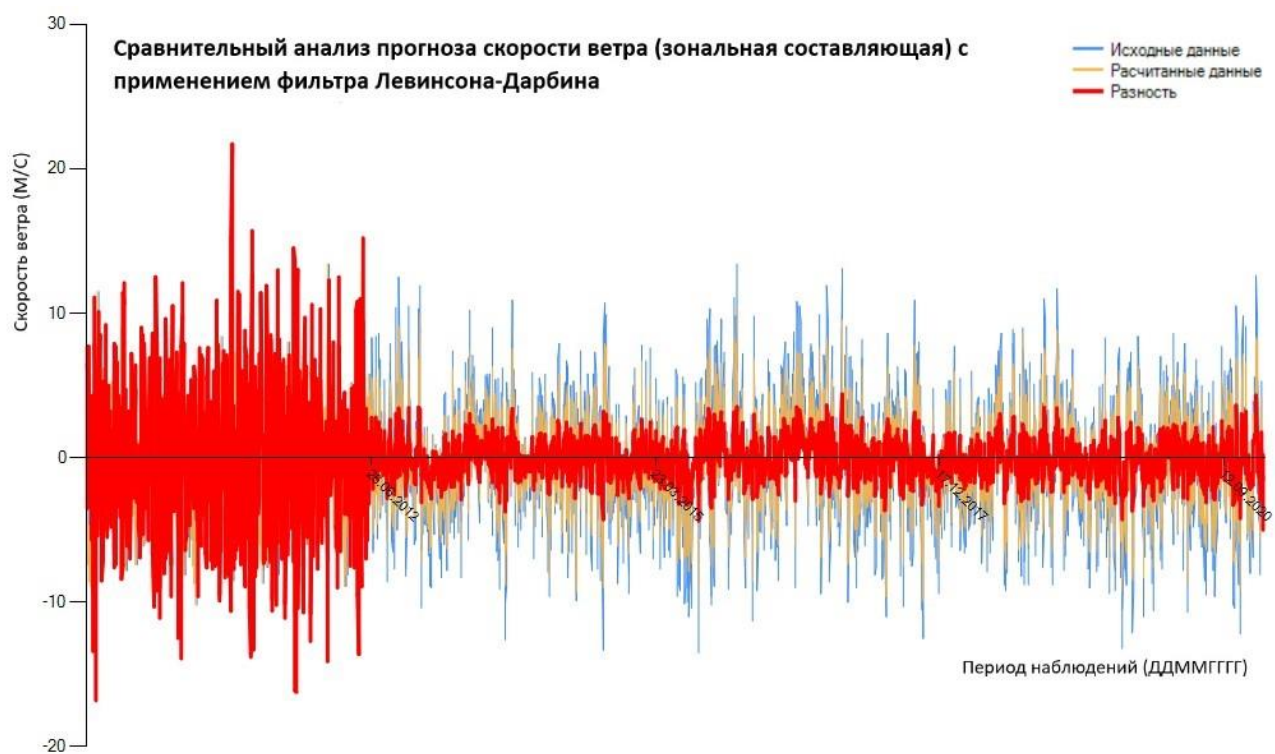
Результат апробации параметра «Температура воздуха» в геопозиционной точке с координатами 77.5N, 100.5E



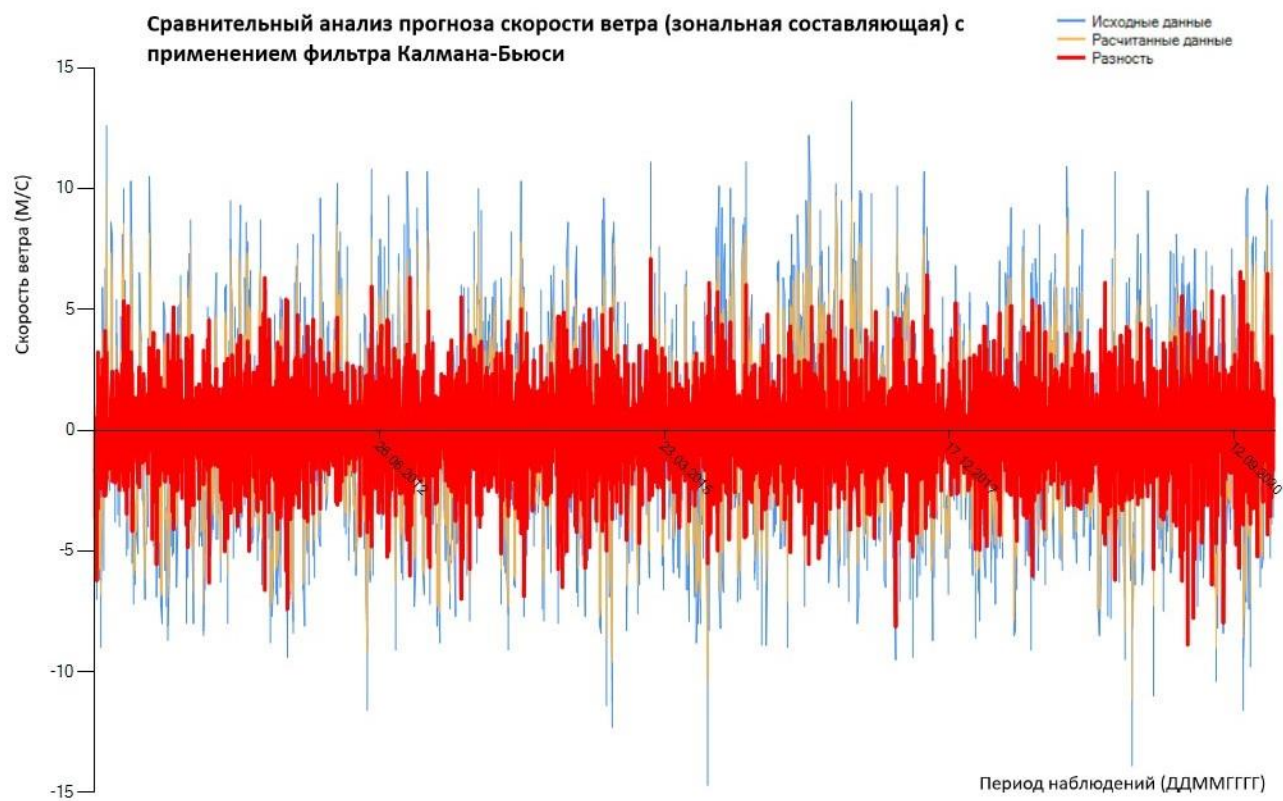


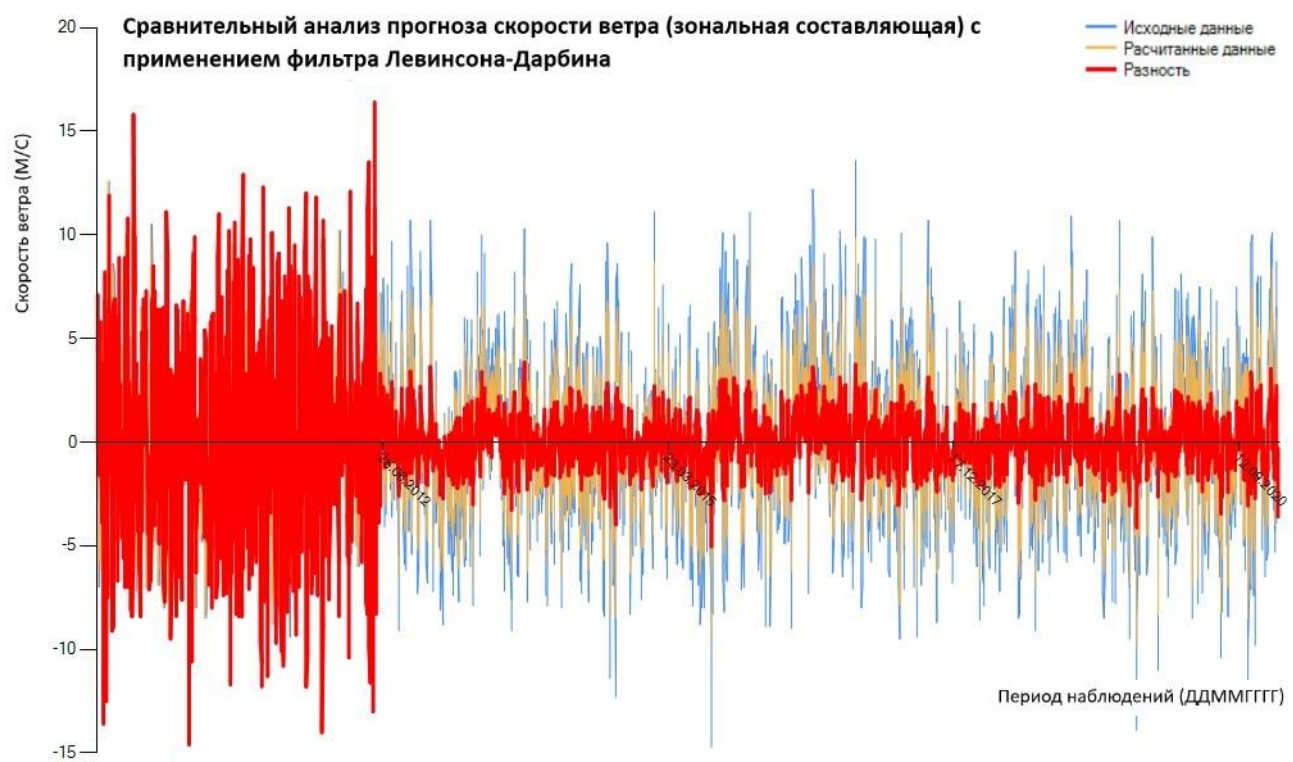
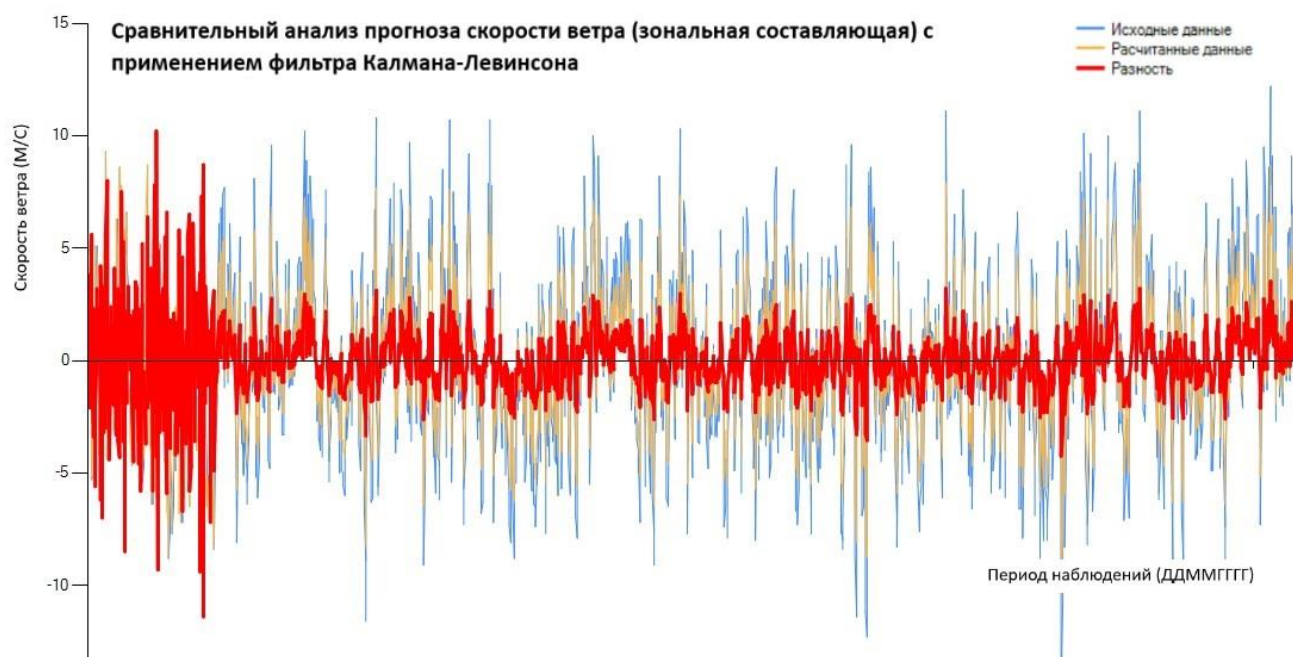
Результат апробации параметра «Скорость ветра» в геопозиционной точке с координатами 76.5N, 88.5E





Результат апробации параметра «Скорость ветра» в геопозиционной точке с координатами 77.5N, 100.5E





ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Матрица сравнительных функций и типов ГИС

[illegible]

Запросы		+	+	+	-	+	атрибутивные, пространственн ые	+-	-	-	+	атрибутивные, пространственн ые	+-	атрибутивные, пространственн ые	атрибутивные	атрибутивные, пространственн ые	+-	+-	+
Работа с запросами БД		+	+	-	-	-	-	+-	-	-	+	-	-	-	-	+	+-	+	+
Моделирование \картирование	Точечное	цвет, размер, форма, узор заливки	цвет, размер, форма, узор заливки	цвет	+	SLD	цвет, размер, форма, изображение	+-	+	+	цвет, размер, форма, контур, стиль заливки,	цвет, размер, форма (p)	+-	SLD	цвет, размер, форма, изображение	+	+-	+	+
	Линейное	цвет, полоса	цвет, полоса, pattern	+-	+	SLD	цвет, полоса, прозрачность	+-	+	+	цвет, размер,	цвет, полоса	+-	SLD	цвет, размер,	+	+-	+	+
	Полигонаое	цвет, контур	цвет, контур	цвет	+	SLD	цвет, контур, узоры заливки, прозрачность	прозрачность	+	+	цвет, контур, стиль заливки	цвет, контур, узоры заливки	+-	SLD	цвет, контур, узоры заливки.	цвет, контур, узоры заливки, прозрачность	+-	+	+-
	Текстовая разметка	+	+	-	+	SLD	+	+-	+	+-	+	+	+	SLD	+	+	+-	+	+
Геомаркетинг		-	-	-	-	+-	-	-	-	-	-	+-	-	-	-	+-	-	-	-
Координаты Преобразования		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Прогнозирование	На основе ДДЗ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Встроенный компонент	-	+-	-	-	+-	+-	-	-	-	-	+-	-	-	-	+-	-	-	-
Тематическое картирование	Графики	Гистограмма,Круговые диаграммы, Градуированный символ,	Гистограмма,Круговые диаграммы	гистограмма, прямоугольная диаграмма, двумерная диаграмма	+	-	-	+-	+	+-	Гистограмма andКруговые диаграммы	Гистограмма,Круговые диаграммы	Гистограмма,Круговые диаграммы,	-	-	Гистограмма,Круговые диаграммы, Градуированный символ,	+-	+	+
	Классифицирование	равный диапазон, интервал, std_deviation, квантили,	равный диапазон , квантиль	квантиль, равный диапазон, процентиль, прямоугольная карта,	+	Квантиль, равный интервал	равный диапазон,	+-	+	+-	Градуированный цвет / символ, справочная таблица	равный диапазон	+-	равный диапазон	равный диапазон, изменение скорости,	естественный интервал, равный диапазон, квантиль	+-	+	+
Моудль работы с мировым океаном		-	+-	+-	-	+-	+-	+-	-	-	-	+-	-	-	+-	+	-	+	-
Поддержка GPS		+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-
Базовые инструменты векторного пространственного анализа	Интерполяция	IDW, Splines (2D and 3D RST, B-Splines)	GRASS	-	+	-	+(gvSIG + Sextante)	+-	+	-	+	-	+	+	+	+	+-	+-	+-
	Пространственная статистика	R-stats	+	Модель лага и ошибки, тесты Лагранжа	+	-	+	-	+	-	Геоэстатистический анализ	-	Геоэстатистический анализ	-	Базовая растровая статистика	Геоэстатистический анализ	+-	+-	-
	Буферизация	+	GRASS	-	+	+	+	+-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Геометрическая связь по атрибутам	+	-	-	+-	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+
	Агрегирование\объединение пространственных атрибутов	+	GRASS	-	+-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+
	Создания нового набора данных полным методом	+	+-	-	+-	+-	+-	+-	-	-	+-	+-	+-	+-	+	+	-	+	-
	Добавление набора данных к существующим	+	+-	+	+-	+-	+-	+-	-	-	+-	+-	+-	+-	+-	+	-	-	-
	Пространственный корреляционный анализ	+	-	+	+-	-	+(gvSIG + Sextante)	+-	-	-	+	+-	+-	-	-	+	-	+	+
Многоязыковая поддержка	+-	+	+	-	+-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+-
	Языки	AR , CS, DE, EL, ES, FR, IT, JA, PL, PT, PT_BR, RU, SL, TH, TR, VI, ZH	+	-	+	EN, FR, IT, DE, ES	EN, ES, VA, GL, CZ, DE, EU, FR, IT, PT, CN, PL, RO	-	+	+	EN, DE	EN, FI, DE, FR, ES, P, IT	+-	EN, ES, PT	CS, DE, EL, EN, ES, FA, FR, IT, JP, NL, PT, TH, ZH-CHS/ZH-CN	EN, ES, DE, FR, JA, Others	+	+	+-
Поддержка OGC		WMS, WFS, WPS (pyWPS)	WMS, WFS	-	+	+-	+-	+-	+	+	+-	WFS(p),	+-	+-	+-	WMS, WMC, SLD, WFS, WCS, Z39.50, CS-W, OpenLS, GML,,	+	+	+-
Поддержка разных Проекций		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Инструменты исследования данных	Гистограммы	+	+	+	+	+-	+	+-	+	+	-	-	+-	-	-	+	-	+	+
	классификация	+	GRASS	-	+	+-	+(gvSIG + Sextante)	+-	+	+	+	-	+-	-	-	+	-	-	-

Создание топологий		+	GRASS	-	+	+	+(lines)	+ -	+	-	TIN	+	-	+	+	+	+	-	-
	Онлайн создание	+	+	-	+	+	+	+ -	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
	Триангуляция	+	+	-	+	+	+	+ -	+	-	+	+ -	-	-	-	+	+	-	+
Механизмы обобщения	Упрощение линий	+	GRASS	-	+	+	+(gvSIG + Sextante)	+ -	+	-	+	+ -	+ -	+	+	+	+	-	+
3D - визуализация		+	GRASS	+	+	+	-	+ -	+	+	+	+ -	+ -	+	+	+	+	+	+ -
Инструменты DEM	TIN	+	GRASS	+	+ -	GRASS	+(gvSIG + Sextante)	+ -	+	+	+	+ -	+ -	+	+	+	+	+	+ -
	Анализ местности	+	GRASS	+	+ -	GRASS	+(gvSIG + Sextante)	+ -	+	+	+	+ -	+ -	+	+	+	+	+	+ -
	Анализ видимости	+	GRASS	+	+ -	GRASS	+(gvSIG + Sextante)	+ -	-	+	+	-	+ -	+ -	-	+	+	+	+ -
Построение гистограмм		GRASS	+	+	+ -	GRASS	+	+ -	+	-	-	-	+	-	+	+ -	-	+	+ -
Инструменты анализа изображений	Географическая привязка	+	+	+	+ -	GRASS	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
	Орто-ректификация	+	+	+	+ -	GRASS	-	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+
	Фильтр операций	+	GRASS	+	+ -	GRASS	+	+	+	+	+	-	+ -	+	+	+	+	+	+
Подключение плагинов		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Функции программирования		Bash, Python, Perl	Python	-	-	Groovy, BeanShell	Jython	-	+	+	Python	BeanShell	ILWIS Scripting Language	-	C#, VB.Net	Python, VBScript, Perl, Javascript	+	+	C++, Delphi, Visual J++

ПРИЛОЖЕНИЕ В. Код программы МГИСУН на языке C#

Листинг (пример исходного кода) программы «МГИСУН». Модуль библиотеки «Фильтр Калмана»

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Linq;
using System.Numerics;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using ProcessingBase;
namespace KalmanProcessor{
    public class KalmanProcessorFactory : ProcessingBase.IProcessEngineFactory {
        public string Name => "KalmanFilterEngine";
        public string Description => "Фильтр Калмана";
        public IProcessEngine CreateEngine(IProcessEngineProperties props) {
            return new KalmanProcessor(props);
        }
        public void DestroyEngine() {
            GC.Collect();
        }
        public IProcessEngineProperties GetDefaultProperties() {
            return new KalmanProcessorProps() as IProcessEngineProperties;
        }
        public class KalmanProcessorProps : IProcessEngineProperties {
            [DisplayName("Коэффициент динамики"),
            DefaultValue(1),
            ReadOnly(false),
            Category("Параметры обработки"),
            Description("Переменная, описывающая динамику системы (предполагаемую величину
отличия текущего состояния от предыдущего)")]
            public double F { get; set; } // factor of real value to previous real value
            [DisplayName("Коэффициент шума процесса"),
            DefaultValue(2),
            ReadOnly(false),
            Category("Параметры обработки"),
```

```

Description("Переменная, описывающая величину дисперсии состояния системы")]
public double Q { get; set; } // measurement noise
[DisplayName("Коэффициент отношения измерений"),
DefaultValue(1),
ReadOnly(false),
Category("Параметры обработки"),
Description("Переменная, описывающая величину отношения текущего состояния
системы к измеренному")]
public double H { get; set; } // factor of measured value to real value
[DisplayName("Коэффициент погрешности измерений"),
DefaultValue(15),
ReadOnly(false),
Category("Параметры обработки"),
Description("Переменная, описывающая величину погрешности измерений")]
public double R { get; set; } // environment noise
//[DisplayName("Коэффициент сходимости"),
//DefaultValue(0.1),
//ReadOnly(true),
//Category("Параметры обработки"),
//Description("Величина, определяющая величину сглаживания значений и скорости
схождения фильтра")]
//public double Covariance { get; set; }
public KalmanProcessorProps()
{
    F = 1.01;
    Q = 2;
    H = 1;
    R = 15;
    //Covariance = 0.1;
    public void Serialize()
    {
        return;
    }
    public void Deserialize()
    {
        return;
    }
}

public class KalmanProcessor : IProcessEngine
{
    public double Covariance { get; set; }
    public double State { get; private set; }
}

```

```

public double X0 { get; set; } // predicted state
public double P0 { get; set; } // predicted covariance
public int PredictionPeriod => 1;
private bool bFirstRun;
private KalmanProcessorProps props;
public KalmanProcessor(IProcessEngineProperties props)      {
    this.props = props as KalmanProcessorProps;
    bFirstRun = true;
}
public double Process(double value)      {
    if (bFirstRun) { State = value; Covariance = 0.1; bFirstRun = false; }
    //time update - prediction
    X0 = props.F * State;
    P0 = props.F * Covariance * props.F + props.Q;
    //measurement update - correction
    var K = props.H * P0 / (props.H * P0 * props.H + props.R);
    State = X0 + K * (value - props.H * X0);
    Covariance = (1 - K * props.H) * P0;
    return State;
}
public double[] Process(double[] values)      {
    var ret = new List<double>();
    foreach (var v in values) ret.Add(Process(v));
    return ret.ToArray();
}
public Complex Process(Complex value)      {
    return new Complex(0,0);
}
public Complex[] Process(Complex[] values)      {
    var ret = new List<Complex>();
    foreach (var v in values) ret.Add(Process(v));
    return ret.ToArray();
}
public void Reset()      {
    bFirstRun = true;
}
}

```

Листинг (пример исходного кода) программы «МГИСУН». Модуль библиотеки «Фильтр Калмана-Бьюси»

```
using ProcessingBase;
```

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Linq;
using System.Numerics;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
namespace HybriKalmanProcessor{
    public class HybridKalmanProcessorFactory : IProcessEngineFactory    {
        public string Name => "HybridKalmanFilterEngine";
        public string Description => "Фильтр Калмана-Бьюси";
        public IProcessEngine CreateEngine(IProcessEngineProperties props)    {
            return new HybridKalmanProcessor(props);    }
        public void DestroyEngine()    {
            GC.Collect();    }
        public IProcessEngineProperties GetDefaultProperties()    {
            return new HybridKalmanProcessorProps() as IProcessEngineProperties; }}
    public class HybridKalmanProcessorProps : IProcessEngineProperties    {
        [DisplayName("Коэффициент динамики"),
        DefaultValue(1),
        ReadOnly(false),
        Category("Параметры обработки"),
        Description("Переменная, описывающая динамику системы (предполагаемую величину
отличия текущего состояния от предыдущего)")]
        public double F { get; set; } // factor of real value to previous real value
        [DisplayName("Коэффициент шума процесса"),
        DefaultValue(2),
        ReadOnly(false),
        Category("Параметры обработки"),
        Description("Переменная, описывающая величину дисперсии состояния системы")]
        public double Q { get; set; } // measurement noise
        [DisplayName("Коэффициент отошения измерений"),
        DefaultValue(1),
        ReadOnly(false),
        Category("Параметры обработки"),

```

```

        Description("Переменная, описывающая величину отношения текущего состояния
системы к измеренному")]
        public double H { get; set; } // factor of measured value to real value
        [DisplayName("Коэффициент погрешности измерений"),
        DefaultValue(15),
        ReadOnly(false),
        Category("Параметры обработки"),
        Description("Переменная, описывающая величину погрешности измерений")]
        public double R { get; set; } // environment noise
        //[DisplayName("Коэффициент сходимости"),
        //DefaultValue(0.1),
        //ReadOnly(true),
        //Category("Параметры обработки"),
        //Description("Величина, определяющая величину сглаживания значений и скорости
схождения фильтра")]
        //public double Covariance { get; set; }
        public HybridKalmanProcessorProps()
        {
            F = 1.01;
            Q = 2;
            H = 1;
            R = 15;
            //Covariance = 0.1;        }
        public void Serialize()        {
            return;        }
        public void Deserialize()        {
            return;        }    }

    public class HybridKalmanProcessor : IProcessEngine    {
        public double Covariance { get; set; }
        public double State { get; private set; }
        public double X0 { get; set; } // predicted state
        public double P0 { get; set; } // predicted covariance
        public int PredictionPerod => 1;
        private bool bFirstRun;
        private HybridKalmanProcessorProps props;

```

```

public HybridKalmanProcessor(IProcessEngineProperties props)      {
    this.props = props as HybridKalmanProcessorProps;
    bFirstRun = true;      }

public double Process(double value)      {
    if (bFirstRun) { State = value; Covariance = 0.1; bFirstRun = false; }
    //time update - prediction
    X0 = props.F * State;
    P0 = props.F * Covariance + Covariance * props.F + props.Q;
    //measurement update - correction
    var K = props.H * P0 / (props.H * P0 * props.H + props.R);
    State = X0 + K * (value - props.H * X0);
    Covariance = (1 - K * props.H) * P0;
    return State;      }

public double[] Process(double[] values)      {
    var ret = new List<double>();
    foreach (var v in values) ret.Add(Process(v));
    return ret.ToArray();      }

public Complex Process(Complex value)      {
    return new Complex(0, 0);      }

public Complex[] Process(Complex[] values)      {
    var ret = new List<Complex>();
    foreach (var v in values) ret.Add(Process(v));
    return ret.ToArray();      }

public void Reset()      {
    bFirstRun = true;      }      }}

```

Листинг (пример исходного кода) программного обеспечения «МГИСУН». Модуль библиотеки «Фильтр Левинсона-Дарбина».

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using ProcessingBase;

```



```

using System.Numerics;
using System.ComponentModel;
namespace LevinsonDurbinProcessor{
    public class LevinsonDurbinProcessorFactory : IProcessEngineFactory  {
        public string Name => "LevinsonDurbingEngine";
        public string Description => "Фильтр Левинсона-Дарби";
        public IProcessEngine CreateEngine(IProcessEngineProperties props)      {
            return new LevinsonDurbinProcessorEngine(props) as IProcessEngine;  }
        public void DestroyEngine()      {      }
        public IProcessEngineProperties GetDefaultProperties()      {
            return new LevinsonDurbinProcessorProperties();      }      }
    public class LevinsonDurbinProcessorProperties : IProcessEngineProperties  {
        [DisplayName("Окно оценки"),
        DefaultValue(5),
        ReadOnly(false),
        Category("Параметры обработки"),
        Description("Переменная, определяющая количество опорных точек для расчета")]
        public int Length { get; set; }
        [DisplayName("Окно настройки"),
        DefaultValue(10),
        ReadOnly(false),
        Category("Параметры обработки"),
        Description("Переменная, определяющая длину окна настройки фильтра")]
        public int TuneLength { get; set; }
        public LevinsonDurbinProcessorProperties()      {
            Length = 10;
            TuneLength = 100;      }
        public void Deserialize()      {      }
        public void Serialize()      {      }      }
    public class LevinsonDurbinProcessorEngine : IProcessEngine  {
        private LevinsonDurbinProcessorProperties prop;
        private List<double> coefs;
        private List<double> reg;
        private List<double> delay;
        private List<double> initial_values;

```

```

private bool tuneDone;
private int regLength;
public int PredictionPeriod { get => prop.Length; }
private void CalculateLDCoefs()
{
    int N = initial_values.Count - 1;
    int m = prop.Length;
    // INITIALIZE R WITH AUTOCORRELATION COEFFICIENTS
    double[] R = new double[m+1];
    for (int i = 0; i <= m; i++)
    {
        for (int j = 0; j <= N - i; j++)
        {
            R[i] += initial_values[j] * initial_values[j + i];
        }
    }
    // INITIALIZE Ak
    double[] Ak = new double[m + 1];
    Ak[0] = 1.0;
    // INITIALIZE Ek
    double Ek = R[0];
    // LEVINSON-DURBIN RECURSION
    for (int k = 0; k < m; k++)
    {
        // COMPUTE LAMBDA
        double lambda = 0.0;
        for (int j = 0; j <= k; j++)
        {
            lambda -= Ak[j] * R[k + 1 - j];
        }
        lambda /= Ek;
        // UPDATE Ak
        for (int n = 0; n <= (k + 1) / 2; n++)
        {
            double temp = Ak[k + 1 - n] + lambda * Ak[n];
            Ak[n] = Ak[n] + lambda * Ak[k + 1 - n];
            Ak[k + 1 - n] = temp;
        }
        // UPDATE Ek
        Ek *= 1.0 - lambda * lambda;
    }
    // ASSIGN COEFFICIENTS
    coefs.Clear();
    coefs.AddRange(Ak);
    coefs.RemoveAt(0);
    reg.Clear();

```

```

        for (int i = initial_values.Count - coefs.Count; i < initial_values.Count; i++) {
reg.Add(initial_values[i]); }
        regLength = reg.Count;    }
public LevinsonDurpinProcessorEngine(IProcessEngineProperties props)    {
    prop = props as LevinsonDurbinProcessorProperties;

    coefs = new List<double>(prop.Length);
    reg = new List<double>(prop.Length);
    initial_values = new List<double>(prop.TuneLength);
    delay = new List<double>();
    delayLength = prop.Length;
    tuneDone = false;    }
private int delayLength;
public double Process(double value)    {
    if (!tuneDone)    {
        initial_values.Add(value);
        if (initial_values.Count == prop.TuneLength)    {
            CalculateLDCoefs();
            tuneDone = true;    }
        return value;    }
    double res = 0;
    for (int i = 0; i < coefs.Count; i++) res -= reg[i] * coefs[i];
    reg.Add(value);
    if (reg.Count >= regLength) reg.RemoveAt(0);
    //delay.Add(res);
    //if (delay.Count > PredictionPerod) delay.RemoveAt(0);
    //else return value;
    return res; //delay[0];    }
public double[] Process(double[] values)    {
    //List<double> predicted = new List<double>();
    //foreach (var v in values) predicted.Add(Process(v));
    //List<double> ret = new List<double>();
    //for (int i = PredictionPerod; i < predicted.Count; i++) ret.Add(predicted[i]);
    return new double[0];    }
public Complex Process(Complex value)    {

```

```

        throw new NotImplementedException();    }
    public Complex[] Process(Complex[] values)    {
        throw new NotImplementedException();    }
    public void Reset()    {
        coefs.Clear();
        reg.Clear();
        initial_values.Clear();
        tuneDone = false;    }    }}

```

Листинг (пример исходного кода) программы «МГИСУН». Модуль библиотеки «Фильтр Калмана-Левинсона».

```

using ProcessingBase;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
namespace KalmanLevinsonProcessor{
    public class KalmanLevinsonProcessorFactory : IProcessEngineFactory {
        public string Name => "KalmanLevinsonEngine";
        public string Description => "Фильтр Калмана-Левиссона";
        public IProcessEngine CreateEngine(IProcessEngineProperties props)    {
            return new KalmanLevinsonProcessor(props) as IProcessEngine;    }
        public void DestroyEngine()    {    }
        public IProcessEngineProperties GetDefaultProperties()    {
            return new KalmanLevinsonProcessorProperties();    }    }
    public class KalmanLevinsonProcessorProperties : IProcessEngineProperties    {
        [DisplayName("Окно оценки"),
        DefaultValue(5),
        ReadOnly(false),
        Category("Параметры Левиссона"),
        Description("Переменная, определяющая количество опорных точек для расчета")]
        public int Length { get; set; }
    }
}

```

```

[DisplayName("Окно настройки"),
DefaultValue(10),
ReadOnly(false),
Category("Параметры Левиссона"),
Description("Переменная, определяющая длину окна настройки фильтра")]
public int TuneLength { get; set; }
[DisplayName("Коэффициент динамики"),
DefaultValue(1),
ReadOnly(false),
Category("Параметры Калмана"),
Description("Переменная, описывающая динамику системы (предполагаемую величину
отличия текущего состояния от предыдущего)")]
public double F { get; set; } // factor of real value to previous real value
[DisplayName("Коэффициент шума процесса"),
DefaultValue(2),
ReadOnly(false),
Category("Параметры Калмана"),
Description("Переменная, описывающая величину дисперсии состояния системы")]
public double Q { get; set; } // measurement noise
[DisplayName("Коэффициент отошения измерений"),
DefaultValue(1),
ReadOnly(false),
Category("Параметры Калмана"),
Description("Переменная, описывающая величину отношения текущего состояния
системы к измеренному")]
public double H { get; set; } // factor of measured value to real value
[DisplayName("Коэффициент погрешности измерений"),
DefaultValue(15),
ReadOnly(false),
Category("Параметры Калмана"),
Description("Переменная, описывающая величину погрешности измерений")]
public double R { get; set; } // environment noise
[DisplayName("Коэффициент коррекции"),
DefaultValue(0.1),
ReadOnly(false),

```

```

Category("Общие"),
Description("Степень влияния новых данных на коррекцию матрицы Левинсона")]
public double CorrCoef { get; set; } // environment noise
public KalmanLevinsonProcessorProperties()
{
    F = 1.01;
    Q = 2;
    H = 1;
    R = 15;
    Length = 10;
    TuneLength = 100;
    CorrCoef = 0.1;
}
public void Deserialize()
{
}
public void Serialize()
{
}
public class KalmanLevinsonProcessor : IProcessEngine
{
    public int PredictionPerod => props.Length + 1;
    private KalmanLevinsonProcessorProperties props;
    public double Covariance { get; set; }
    public double State { get; private set; }
    public double X0 { get; set; } // predicted state
    public double P0 { get; set; } // predicted covariance
    private bool bFirstRun;
    private List<double> coefs;
    private List<double> reg;
    private List<double> delay;
    private List<double> initial_values;
    private bool tuneDone;
    private int regLength;
    public KalmanLevinsonProcessor(IProcessEngineProperties prop)
    {
        props = prop as KalmanLevinsonProcessorProperties;
        coefs = new List<double>(props.Length);
        reg = new List<double>(props.Length);
        initial_values = new List<double>(props.TuneLength);
        correctionCounter = props.Length / 2;
        delay = new List<double>();
        //delayLength = prop.Length;
    }
}

```

```

        tuneDone = false;          }
private IEnumerable<double> CalculateLDCoefs()      {
    int N = initial_values.Count - 1;
    int m = props.Length;
    // INITIALIZE R WITH AUTOCORRELATION COEFFICIENTS
    double[] R = new double[m + 1];
    for (int i = 0; i <= m; i++)          {
        for (int j = 0; j <= N - i; j++)      {
            R[i] += initial_values[j] * initial_values[j + i];    }
    }
    // INITIALIZE Ak
    double[] Ak = new double[m + 1];
    Ak[0] = 1.0;
    // INITIALIZE Ek
    double Ek = R[0];
    // LEVINSON-DURBIN RECURSION
    for (int k = 0; k < m; k++)          {
        // COMPUTE LAMBDA
        double lambda = 0.0;
        for (int j = 0; j <= k; j++)      {
            lambda -= Ak[j] * R[k + 1 - j];
        }
        lambda /= Ek;
        // UPDATE Ak
        for (int n = 0; n <= (k + 1) / 2; n++)      {
            double temp = Ak[k + 1 - n] + lambda * Ak[n];
            Ak[n] = Ak[n] + lambda * Ak[k + 1 - n];
            Ak[k + 1 - n] = temp;
        }
        // UPDATE Ek
        Ek *= 1.0 - lambda * lambda;
    }
    // ASSIGN COEFFICIENTS
    List<double> ret = new List<double>(Ak);
    ret.RemoveAt(0);
    return ret;          }
private int correctionCounter;
public double Process(double value)      {
    if (bFirstRun) { State = value; Covariance = 0.1; bFirstRun = false; }

```

```

//time update - prediction
X0 = props.F * State;
P0 = props.F * Covariance * props.F + props.Q;
//measurement update - correction
var K = props.H * P0 / (props.H * P0 * props.H + props.R);
State = X0 + K * (value - props.H * X0);
Covariance = (1 - K * props.H) * P0;
value = State;
initial_values.Add(value);
if (initial_values.Count == props.TuneLength)
{
    if (!tuneDone)
    {
        List<double> new_coefs = CalculateLDCoefs() as List<double>;
        coefs.Clear();
        coefs.AddRange(new_coefs);
        reg.Clear();
        for (int i = initial_values.Count - coefs.Count; i < initial_values.Count;
i++) { reg.Add(initial_values[i]); }
        regLength = reg.Count;
        tuneDone = true;
        return value;
    }
    initial_values.RemoveAt(0);
}
if (!tuneDone) return value;
if (correctionCounter <= 0)
{
    List<double> new_coefs = CalculateLDCoefs() as List<double>;
    for (int i = 0; i < coefs.Count; i++) coefs[i] += props.CorrCoef * new_coefs[i];
    correctionCounter = props.Length / 2;
}
else correctionCounter--;
double res = 0;
for (int i = 0; i < coefs.Count; i++) res -= reg[i] * coefs[i];
reg.Add(value);
if (reg.Count >= regLength) reg.RemoveAt(0);
//delay.Add(res);
//if (delay.Count > PredictionPerod) delay.RemoveAt(0);
//else return value;
return res; //delay[0];
}

```



```

public double[] Process(double[] values)      {
    throw new NotImplementedException();      }
public System.Numerics.Complex Process(System.Numerics.Complex value)  {
    throw new NotImplementedException();      }
public System.Numerics.Complex[] Process(System.Numerics.Complex[] values)  {
    throw new NotImplementedException();      }
public void Reset()      {
    throw new NotImplementedException();      }   }}

```

Листинг (пример исходного кода) программы «МГИСУН». Главная форма.

```

using GMap.NET;
using GMap.NET.WindowsForms;
using ProcessingBase;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Collections.ObjectModel;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Device.Location;
using System.Drawing;
using System.Globalization;
using System.IO;
using System.Linq;
using System.Reflection;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting;
namespace KalmanFramework{
    public partial class MainForm : Form      {
        private class EngineData      {
            public List<DateTime> Dates { get; set; }
            public List<double> Values { get; set; }      }
        private const string graphSourceDataIdentifier = "sourceData";
        private ZoomableGraph chartZoomEngine;
        private EnginePropertiesEditor engineEditor;

```

```

private IProcessEngineFactory _current_active_processor;
private Dictionary<string, IProcessEngineFactory> _loaded_processors;
private Dictionary<GeoCoordinate, EngineData> loaded_data;
private GeoCoordinate currentGeoPoint;
public MainForm()
{
    InitializeComponent();
    InitializeMaps();
    InitializeGraph();
    chartZoomEngine = new ZoomableGraph(chartMain);
    engineEditor = new EnginePropertiesEditor();// { TopLevel = false, Parent = this
    filterResponse = new List<double>();
    loaded_data = new Dictionary<GeoCoordinate, EngineData>();
    currentGeoPoint = GeoCoordinate.Unknown;
    geoPoint_combo.Items.Add(currentGeoPoint);
    geoPoint_combo.Enabled = false;
    string _app_folder =
System.IO.Path.GetDirectoryName(Assembly.GetExecutingAssembly().Location);
    _current_active_processor = null;
    _loaded_processors = new Dictionary<string, IProcessEngineFactory>();
    ObservableCollection<IProcessEngineFactory> processorFactories =
PluginService.GetProcessorFactories(_app_folder, true);
    if (processorFactories.Count > 0)
    {
        foreach (IProcessEngineFactory factory in processorFactories)
        {
            //(MainMenuStrip.Items["filterMethod_combo"] as
ToolStripDropDownItem).DropDownItems.Add(new ToolStripMenuItem(factory.Description, null,
ProcessorSelection_Click, factory.Name));
            filterMethod_combo.Items.Add(new
ToolStripMenuItem(factory.Description, null, ProcessorSelection_Click, factory.Name));
            _loaded_processors.Add(factory.Name, factory);
        }
        int index = filterMethod_combo.Items.IndexOf((from item in
filterMethod_combo.Items.OfType<ToolStripMenuItem>()
where item.Name == "KalmanFilterEngine"
select item).First());
        filterMethod_combo.SelectedIndex = index < 0 ? 0 : index;
        //ProcessorSelection_Click(filterMethod_combo.Items[filterMethod_combo.SelectedIndex], new

```

```

EventArgs());                                //_current_active_processor                                =
_loaded_processors[(filterMethod_combo.SelectedItem as ToolStripMenuItem).Name];
        //engineEditor.UpdatePropertyObject(_current_active_processor.Description,
_current_active_processor.GetDefaultProperties());                                }                                }
    private void InitializeGraph()            {
        chartMain.Series["dataDiff"].Color = Color.Red;
        chartMain.Series["dataDiff"].BorderWidth = 3;
        chartMain.ChartAreas[0].AxisX.MajorGrid.Enabled = false;
        chartMain.ChartAreas[0].AxisY.MajorGrid.Enabled = false;
        chartMain.ChartAreas[0].AxisX.Crossing = 0;
        chartMain.ChartAreas[0].AxisY.Crossing = 0;                                }
    private void InitializeMaps() {
        //Настройки для компонента GMap.
        gMapControl1.Bearing = 0;
        //CanDragMap - Если параметр установлен в True,
        //пользователь может перетаскивать карту
        ///с помощью правой кнопки мыши.
        gMapControl1.CanDragMap = true;
        //Указываем, что перетаскивание карты осуществляется
        //с использованием левой клавишей мыши.
        //По умолчанию - правая.
        gMapControl1.DragButton = MouseButtons.Left;
        gMapControl1.GrayScaleMode = true;
        //MarkersEnabled - Если параметр установлен в True,
        //любые маркеры, заданные вручную будет показаны.
        //Если нет, они не появятся.
        gMapControl1.MarkersEnabled = true;
        //Указываем значение максимального приближения.
        gMapControl1.MaxZoom = 18;
        //Указываем значение минимального приближения.
        gMapControl1.MinZoom = 2;
        //Устанавливаем центр приближения/удаления
        //курсор мыши.
        gMapControl1.MouseWheelZoomType =
            GMap.NET.MouseWheelZoomType.MousePositionAndCenter;

```

```

//Отказываемся от негативного режима.
gMapControl1.NegativeMode = false;
//Разрешаем полигоны.
gMapControl1.PolygonsEnabled = true;
//Разрешаем маршруты
gMapControl1.RoutesEnabled = true;
//Скрываем внешнюю сетку карты
//с заголовками.
gMapControl1.ShowTileGridLines = false;
//Скрываем крестик в центре.
gMapControl1.ShowCenter = false;
//Указываем, что при загрузке карты будет использоваться
//18ти кратное приближение.
gMapControl1.Zoom = 13;
//Указываем что все края элемента управления
//закрепляются у краев содержащего его элемента
//управления(главной формы), а их размеры изменяются
//соответствующим образом.
gMapControl1.Dock = DockStyle.Fill;
//Указываем что будем использовать карты Google.
gMapControl1.MapProvider =
GMap.NET.MapProviders.GMapProviders.GoogleMap;
GMap.NET.GMaps.Instance.Mode =
GMap.NET.AccessMode.ServerOnly;
comboBoxGeoProvider.DataSource =
GMap.NET.MapProviders.GMapProviders.List;
comboBoxGeoProvider.DisplayMember = "Name";
comboBoxGeoProvider.ValueMember = "Id";
comboBoxGeoProvider.SelectedItem =
GMap.NET.MapProviders.GMapProviders.GoogleMap;
gMapControl1.Position = new GMap.NET.PointLatLng(55.75393, 37.620795);}
private void ProcessorSelection_Click(object sender, EventArgs e)
{
ToolStripMenuItem instrument_item = (sender as ToolStripComboBox).SelectedItem
as ToolStripMenuItem;
//instrument_item.Checked = !instrument_item.Checked;

```

```

        _current_active_processor = _loaded_processors[instrument_item.Name];
        engineEditor.UpdatePropertyObject(_current_active_processor.Description,
        _current_active_processor.GetDefaultProperties());

        if (loaded_data.Count > 0) Task.Factory.StartNew(() => ProcessCurrentData());}

private string GetConnectionString(FileInfo _file)        {
    Dictionary<string, string> props = new Dictionary<string, string>();
    // XLSX - Excel 2007, 2010, 2012, 2013
    if (_file.Extension == ".xlsx")                    {
        props["Provider"] = "Microsoft.ACE.OLEDB.12.0;";
        props["Extended Properties"] = "Excel 12.0 XML";
        props["Data Source"] = _file.FullName;          }
    else if (_file.Extension == ".xls")                 {
        props["Provider"] = "Microsoft.Jet.OLEDB.4.0";
        props["Extended Properties"] = "Excel 8.0";
        props["Data Source"] = _file.FullName;          }
    else throw new Exception("Неизвестное расширение файла!");
    StringBuilder sb = new StringBuilder();
    foreach (KeyValuePair<string, string> prop in props) {
        sb.Append(prop.Key);
        sb.Append('=');
        sb.Append(prop.Value);
        sb.Append(';');                                }
    return sb.ToString();                               }

private List<double> filterResponse;
private void ReadSourceFile(FileInfo _file) {
    try
        {
            DataSet ds = new DataSet();
            string connectionString = GetConnectionString(_file);
            using (System.Data.OleDb.OleDbConnection conn = new
System.Data.OleDb.OleDbConnection(connectionString)) {
                conn.Open();
                System.Data.OleDb.OleDbCommand cmd = new
System.Data.OleDb.OleDbCommand
                {
                    Connection = conn
                };
                // Get all Sheets in Excel File

```

```

        DataTable dtSheet =
conn.GetOleDbSchemaTable(System.Data.OleDb.OleDbSchemaGuid.Tables, null);

        // Loop through all Sheets to get data
        foreach (DataRow dr in dtSheet.Rows)
        {
            string sheetName = dr["TABLE_NAME"].ToString();
            // Get all rows from the Sheet
            cmd.CommandText = "SELECT * FROM [" + sheetName + "];"
            DataTable dt = new DataTable
            {
                TableName = sheetName
            };
            System.Data.OleDb.OleDbDataAdapter da = new
System.Data.OleDb.OleDbDataAdapter(cmd);
            da.Fill(dt);
            ds.Tables.Add(dt);
        }
        loaded_data.Clear();
        switch (ds.Tables[0].Columns.Count)
        {
            case 2:
                loaded_data.Add(GeoCoordinate.Unknown, new
EngineData() { Dates = new List<DateTime>(), Values = new List<double>() });
                for (int i = 1; i < ds.Tables[0].Rows.Count; i++){

                    loaded_data[GeoCoordinate.Unknown].Dates.Add(DateTime.Parse(ds.Tables[0].Rows[i].ItemArra
y[0].ToString()));
                    loaded_data[GeoCoordinate.Unknown].Values.Add(double.Parse(ds.Tables[0].Rows[i].ItemArray[
1].ToString()));
                }
                currentGeoPoint = GeoCoordinate.Unknown;
                Invoke(new Action() => {
                    geoPoint_combo.Items.Add(GeoCoordinate.Unknown);
                    geoPoint_combo.Enabled = false; }));
                ProcessCurrentData();
                break;
            case 4:
                for (int i = 1; i < ds.Tables[0].Rows.Count; i++){
                    GeoCoordinate point = new
GeoCoordinate(double.Parse(ds.Tables[0].Rows[i].ItemArray[1].ToString()),
double.Parse(ds.Tables[0].Rows[i].ItemArray[2].ToString()));

```

```

        if (!loaded_data.Keys.Contains(point))
loaded_data.Add(point, new EngineData() { Dates = new List<DateTime>(), Values = new List<double>()
});
        loaded_data[point].Dates.Add(DateTime.Parse(ds.Tables[0].Rows[i].ItemArray[0].ToString()))
        loaded_data[point].Values.Add(double.Parse(ds.Tables[0].Rows[i].ItemArray[3].ToString()));}
        Invoke(new Action() =>
        {
            geoPoint_combo.Items.Clear();
            foreach (var g in loaded_data.Keys)
            {
                geoPoint_combo.Items.Add(g);
            }
            geoPoint_combo.Enabled = true;
            geoPoint_combo.SelectedIndex = 0;
            gMapControl1.Overlays.Clear();
            GMapOverlay routes = new
            GMapOverlay("route");
            List<PointLatLng> points = new
            List<PointLatLng>();
            foreach (var p in loaded_data.Keys)
            {
                points.Add(new PointLatLng(p.Latitude, p.Longitude < 0 ? p.Longitude + 180 : p.Longitude));
            }
            points.Sort(delegate (PointLatLng x,
            PointLatLng y)
            {
                if (x.Lng == y.Lng) return 0;
                if (x.Lng > y.Lng) return -1;
                if (x.Lng < y.Lng) return 1;
                return 0;
            });
            GMapRoute route = new GMapRoute(points,
            "Путь");
            route.Stroke = new Pen(Color.Red, 3);
            routes.Routes.Add(route);
            GMapOverlay polygons = new
            GMapOverlay("polygons");
            foreach (var p in loaded_data.Keys) {
                List<double> values =
                loaded_data[p].Values;
                double intensty = values.Average() /
                values.Max();

```

```

List<PointLatLng>()
List<PointLatLng> ppoints = new
PointLatLng(p.Latitude, p.Longitude < 0 ? p.Longitude + 180 : p.Longitude);
PointLatLng(centralPoint.Lat - 2, centralPoint.Lng + 2));
PointLatLng(centralPoint.Lat + 2, centralPoint.Lng + 2));
PointLatLng(centralPoint.Lat + 2, centralPoint.Lng - 2));
PointLatLng(centralPoint.Lat - 2, centralPoint.Lng - 2));
GMapPolygon mapPolygon = new
GMapPolygon(ppoints, p.ToString());
Pen(Color.Black, 2);
SolidBrush(Color.FromArgb((int)(255*intensity), Color.Red));
GMapPolygon.Stroke = new
GMapPolygon.Fill = new
polygons.Polygons.Add(mapPolygon);
}
gMapControl1.Overlays.Add(routes);
gMapControl1.Overlays.Add(polygons);
gMapControl1.Position = points[0]; }));
break;
default:
throw new Exception("Неизвестный формат данных в
файле");
}
}
}
catch (Exception e)
{
MessageBox.Show(e.Message, "Ошибка", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Error);
}
}
private void geoPointChanged_Click(object sender, EventArgs e)
{
currentGeoPoint = (sender as ToolStripComboBox).SelectedItem as GeoCoordinate;
Task.Factory.StartNew(() => ProcessCurrentData());
}
private void ProcessCurrentData()
{
if (_current_active_processor == null) return;

```



```

        List<DateTime> dates = loaded_data[currentGeoPoint].Dates;
        List<double> values = loaded_data[currentGeoPoint].Values;
        IProcessEngine processEngine =
_current_active_processor.CreateEngine(engineEditor.CurrentProperties);
        filterResponse.Clear();
        foreach (var v in values) filterResponse.Add(processEngine.Process(v));
        List<double> out_values = new List<double>();
        List<double> fill_values = new List<double>();
        for (int i = processEngine.PredictionPeriod; i < dates.Count; i++)
out_values.Add(filterResponse[i]);
        for (int i = 0; i < processEngine.PredictionPeriod; i++) out_values.Add(0);
        //for (int i = 0; i < processEngine.PredictionPeriod; i++) fill_values.Add(0);
        //for (int i = processEngine.PredictionPeriod; i < dates.Count; i++)
out_values.Add(filterResponse[i]);
        //out_values.AddRange(filterResponse);
        if (chartMain.InvokeRequired)
        {
            chartMain.Invoke(new Action(() =>
            {
                foreach (var s in chartMain.Series) s.Points.Clear();
                for (int i = 0; i < dates.Count; i++)
                {
                    //double response = processEngine.Process(values[i]);
                    //double diff = i - processEngine.PredictionPeriod < 0 ? 0 : values[i -
processEngine.PredictionPeriod] - response;
                    chartMain.Series["sourceData"].Points.AddXY(dates[i].ToShortDateString(),
values[i]);
                    chartMain.Series["filterResponse"].Points.AddXY(dates[i].ToShortDateString(),
out_values[i]);
                    chartMain.Series["dataDiff"].Points.AddXY(dates[i].ToShortDateString(), values[i] -
out_values[i]);
                }
            }
            ));
        }
        else
        {
            foreach (var s in chartMain.Series) s.Points.Clear();
            for (int i = 0; i < dates.Count; i++)
            {
                //double response = processEngine.Process(values[i]);
                //double diff = i - processEngine.PredictionPeriod < 0 ? 0 : values[i -
processEngine.PredictionPeriod] - response;

```

```

        chartMain.Series["sourceData"].Points.AddXY(dates[i].ToShortDateString(), values[i]);
        chartMain.Series["filterResponse"].Points.AddXY(dates[i].ToShortDateString(),
out_values[i]);
        chartMain.Series["dataDiff"].Points.AddXY(dates[i].ToShortDateString(), values[i] -
out_values[i]);
    }
    }
    Invoke(new Action(() => responseEstimate_button.Enabled = true));
}
private void OpenDataSourceFile(object sender, EventArgs e)
{
    OpenFileDialog dlg = new OpenFileDialog
    {
        DefaultExt = "xlsx",
        Filter = "Файл данных Exel (*.xlsx)|*.xlsx|Все файлы (*.*)|*.*" };
    if (dlg.ShowDialog() == DialogResult.OK)
    {
        FileInfo fi = new FileInfo(dlg.FileName);
        labelSourceFileName.Text = fi.Name;
        Task.Factory.StartNew(() => ReadSourceFile(fi));
    }
}
private void updateGraph_button_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Task.Factory.StartNew(() => ProcessCurrentData());
}
private void toolStripButtonEngineEdit_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (engineEditor != null && engineEditor.ShowDialog() == DialogResult.OK){
        Task.Factory.StartNew(() => ProcessCurrentData());
    }
}
private void comboBoxGeoProvider_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e){
    var prov = comboBoxGeoProvider.SelectedItem as
GMap.NET.MapProviders.GMapProvider;
    gMapControl1.MapProvider = prov;
    //gMapControl1.Update();
}
private void экспортРезультатовToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e){
    if (filterResponse.Count <= 0)
    {
        MessageBox.Show("Нет данных для экспорта", "Увы...",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);
        return;
    }
    SaveFileDialog sd = new SaveFileDialog() { Filter = "Файл данных CSV
(*.csv)|*.csv|Файл данных Exel (*.xlsx)|*.xlsx" };
    if (sd.ShowDialog() == DialogResult.OK)
    {
        FileInfo fi = new FileInfo(sd.FileName);
        switch (fi.Extension)
        {
            case ".csv":

```

```

        ExportResponseToCSV(fi);
        break;
    case ".xlsx":
        ExportResponseToXLSX(fi);
        break;
    default:
        break;
    }
}

private void ExportResponseToXLSX(FileInfo fi)
{
    private void ExportResponseToCSV(FileInfo fi)
    {
        try
        {
            using (StreamWriter sw = new StreamWriter(new FileStream(fi.FullName,
            FileMode.Create, FileAccess.Write)))
            {
                for (int i = 0; i < filterResponse.Count; i++)
                {
                    string csvString =
                    $"{loaded_data[currentGeoPoint].Dates[i].ToShortDateString()};{loaded_data[currentGeoPoint].Values[i]
                    };{filterResponse[i]}";

                    sw.WriteLine(csvString);
                }
            }
        }
        catch (Exception e)
        {
            MessageBox.Show(e.Message, "Ошибка", MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Error);
        }
    }

    private void responseEstimate_button_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        EstimateResponseForm er = new
        EstimateResponseForm(loaded_data[currentGeoPoint].Values, filterResponse);
        er.ShowDialog();
    }
}

```

Листинг (пример исходного кода) программы «МГИСУН». Модуль оценки качества и адекватности моделей.

```

using KalmanFramework.Helpers;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

```

```

using System.Windows.Forms;
namespace KalmanFramework{
    public partial class EstimateResponseForm : Form {
        private EstimationProperties prop;
        private List<double> sourceFull;
        private List<double> responseFull;
        public EstimateResponseForm(List<double> src = null, List<double> resp = null)
        {
            InitializeComponent();
            prop = new EstimationProperties();
            results_list.StateImageList = imageList1;
            results_list.Columns.Add("", -2, HorizontalAlignment.Left);
            results_list.View = View.Details;
            propertyGrid1.SelectedObject = prop;
            sourceFull = src;
            responseFull = resp;
            Task.Factory.StartNew(()=>EstimateData());        }
        private void EstimateData() {
            try
            {
                if (sourceFull == null || sourceFull.Count == 0) throw new Exception("Нет
исходных данных для проведения анализа");
                if (responseFull == null || responseFull.Count == 0) throw new Exception("Нет
расчетных данных для проведения анализа");
                if (prop.StartPoint + prop.N1 + prop.N2 + prop.ConvergenceDelta >
sourceFull.Count) throw new Exception("Длины исходных данных недостаточно для проведения
анализа");
                if (prop.StartPoint + prop.TotalEstimateLength > responseFull.Count ||
prop.StartPoint + prop.TotalEstimateLength > sourceFull.Count) throw new Exception("Длины данных
недостаточно для проведения анализа");
                List<double> source = new List<double>();
                for (int i = 0; i < prop.TotalEstimateLength; i++)
source.Add(sourceFull[prop.StartPoint + i]);
                List<double> response = new List<double>();
                for (int i = 0; i < prop.TotalEstimateLength; i++)
response.Add(responseFull[prop.StartPoint + i]);

```

```

        if (InvokeRequired) Invoke(new Action(() => results_list.Items.Clear()));
        #region Проверка исходного ряда на стационарность
        double meanSrc1 = 0;
        double meanSrc2 = 0;
        for (int i = 0; i < prop.N1; i++) meanSrc1 += sourceFull[prop.StartPoint + i] /
prop.N1;
        for (int i = 0; i < prop.N2; i++) meanSrc2 += sourceFull[prop.StartPoint + i +
prop.N1 + prop.ConvergenceDelta] / prop.N2;
        double D1 = 0;
        double D2 = 0;
        for (int i = 0; i < prop.N1; i++) D1 += (sourceFull[prop.StartPoint + i] *
sourceFull[prop.StartPoint + i] - meanSrc1 * meanSrc1) / prop.N1;
        for (int i = 0; i < prop.N2; i++) D2 += (sourceFull[prop.StartPoint + i + prop.N1
+ prop.ConvergenceDelta] * sourceFull[prop.StartPoint + i + prop.N1 + prop.ConvergenceDelta] - meanSrc2
* meanSrc2) / prop.N2;
        double srcStatStudent = (Math.Abs(meanSrc1 - meanSrc2) /
Math.Sqrt(prop.N1 * D1 + prop.N2 * D2)) * Math.Sqrt((prop.N1 * prop.N2 * (prop.N1 + prop.N2 - 2)) /
(prop.N1 + prop.N2));
        double srcStatFisher = D1 / D2;
        int nu = prop.N1 + prop.N2 - 2;
        if (InvokeRequired) Invoke(new Action(() =>
{
            results_list.Items.Add(new ListViewItem($"Степень свободы
исходного ряда: {nu}", nu > 0 ? 1 : 0));
            results_list.Items.Add(new ListViewItem($"Стационарность
исходного ряда по Стьюденту: {srcStatStudent}", StudentEstimator.EstimateByTable(srcStatStudent, nu)
? 1 : 0));
            results_list.Items.Add(new ListViewItem($"Стационарность
исходного ряда по Фишеру: {srcStatFisher}", srcStatFisher <= 0.1 ? 1 : 0));
        }));
        #endregion
        #region Оценка качества модели
        // ***** коэффициенты модели и их значимость (по
кр.Стьюдента)

        // ===== определение коэффициента корреляции Пирсона
        double covXY = 0;

```

```

double meanX = 0;
foreach (var x in source) meanX += x / source.Count;
double meanY = 0;
foreach (var y in response) meanY += y / response.Count;
for (int i = 0; i < source.Count; i++) covXY += (source[i] - meanX) *
(response[i] - meanY);

double mX = 0;
foreach (var x in source) mX += Math.Pow((x - meanX), 2);
double mY = 0;
foreach (var y in response) mY += Math.Pow((y - meanY), 2);
double rXY = covXY / Math.Sqrt(mX * mY); // <- искомый коэффициент
// ===== коэффициенты линейной модели
регрессии по МНК ( $y = a + bx$ )

double sumX = 0;
foreach (var x in source) sumX += x;
double sumY = 0;
foreach (var y in response) sumY += y;
double sumXY = 0;
for (int i = 0; i < source.Count; i++) sumXY += source[i] * response[i];
double sumXsqr = 0;
foreach (var x in source) sumXsqr += x * x;
double B = (sumX * sumY - source.Count * sumXY) / (sumX * sumX -
source.Count * sumXsqr);

double A = meanY - B * meanX;
// ===== параметры отклонений
double srcD = 0;
foreach (var v in source) srcD += (v * v - meanX * meanX) / source.Count;
double rspD = 0;
foreach (var v in response) rspD += (v * v - meanY * meanY) / response.Count;
double sigmaX = Math.Sqrt(srcD);
double sigmaY = Math.Sqrt(rspD);
double sigmaA = sigmaY * (1 - rXY * rXY) / (sigmaX *
Math.Sqrt(source.Count - 1));
double sigmaB = sigmaY * Math.Sqrt(1 - rXY * rXY) /
Math.Sqrt(source.Count - 1);

```

```

double tA = Math.Abs(A) / sigmaA;
double tB = Math.Abs(B) / sigmaB;
if (InvokeRequired) Invoke(new Action() =>
{
    results_list.Items.Add(new ListViewItem($"Оценка коэффициентов
ЛРН по МНК: a = {tA}, b = {tB}", tA <= 100 && tB <= 1000 ? 1 : 0));
    results_list.Items.Add(new ListViewItem($"Коэффициент
детерминации: {rXY*rXY}", rXY*rXY > 0.7 ? 1 : 0));
    // ***** Адекватность модели исходным данным
    List<double> Ey = new List<double>();
    for (int i = 0; i < source.Count; i++) Ey.Add(source[i] - response[i]);
    double Dy = 0;
    for (int i = 0; i < source.Count; i++) Dy += Math.Pow(Ey[i] - meanY, 2) /
source.Count;

    List<double> E = new List<double>();
    for (int i = 0; i < source.Count; i++) E.Add(response[i]-Ey[i]);
    double De = 0;
    foreach (var e in E) De += e * e / (E.Count - 2);
    double modelFisher = Dy /** source.Count*/ / De;
    if (InvokeRequired) Invoke(new Action() =>
{
        results_list.Items.Add(new ListViewItem($"Адекватность модели по
Фишеру: {modelFisher}", modelFisher <= 0.1 ? 1 : 0));
        results_list.Items.Add(new ListViewItem($"СКО остатков модели:
{Math.Sqrt(De)}, СКО модели: {sigmaY}", Math.Sqrt(De) < sigmaY ? 1 : 0));
    });
    #endregion
}
catch (Exception e)
{
    MessageBox.Show(e.Message, "Ошибка", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Error);
}

private void recalculate_button_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Task.Factory.StartNew(() => EstimateData());
}

class EstimationProperties
{
    [DisplayName("Первое окно оценки исходных данных"),
DefaultValue(10),
ReadOnly(false),
Category("Параметры оценки сходимости"),

```

```

        Description("Длина выборки исходных данных для оценки исходного ряда на
сходимость (N1)")
        public int N1 { get; set; }
        [DisplayName("Второе окно оценки исходных данных"),
        DefaultValue(10),
        ReadOnly(false),
        Category("Параметры оценки сходимости"),
        Description("Длина выборки рассчитанных данных для оценки (N2)")]
        public int N2 { get; set; }
        [DisplayName("Расстояние между окнами"),
        DefaultValue(1),
        ReadOnly(false),
        Category("Параметры оценки сходимости"),
        Description("")]
        public int CovergenceDelta { get; set; }
        [DisplayName("Точка начала анализа"),
        DefaultValue(0),
        ReadOnly(false),
        Category("Общие параметры оценки"),
        Description("Смещение от начала массива выборки данных для оценок исходного ряда
и модели")]
        public int StartPoint { get; set; }
        [DisplayName("Окно анализа"),
        DefaultValue(100),
        ReadOnly(false),
        Category("Общие параметры оценки"),
        Description("Длина выборки данных для оценок исходного ряда и модели")]
        public int TotalEstimateLength { get; set; }

```