



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

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Фрактальный анализ траекторий дрейфа полярных станций»

Исполнитель

Тихменев Илья Максимович

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Симакина Татьяна Евгеньевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И.о. заведующего кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Восканян Карина Левановна

(фамилия, имя, отчество)

«04.05.2023» мая 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ПОЛЯРНЫЕ ДРЕЙФУЮЩИЕ СТАНЦИИ.....	7
1.1 История создания дрейфующих полярных станций.....	10
1.2 Назначение станций.....	11
1.3 Измерения.....	16
1.4 Дрейфы.....	17
1.4.1 Правило Нансена.....	17
1.4.2 Барический дрейф.....	18
1.4.3 Классификация дрейфов.....	20
ГЛАВА 2. ФРАКТАЛЬНАЯ РАЗМЕРНОСТЬ.....	21
2.1 Виды фрактальной размерности.....	22
2.2 Методы расчета фрактальной размерности.....	25
2.3 Метод подсчета ячеек.....	28
ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ.....	31
3.1 Изучение исходных данных.....	31
3.2 Выявление параметров, которые нужно вычислить.....	32
3.4 Описание используемых функций.....	33
3.4.1 Функция filemuta.....	34
3.4.2 Функция map.....	35
3.4.3 Функция frac.....	35
3.4.4 КЛАСС ConsoleOutput.....	36
3.5 Основной код программы и ее использования.....	37
3.6 Анализ результатов расчета фрактальной размерности.....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	57
ЛИТЕРАТУРА.....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	60

ВВЕДЕНИЕ

Изучение траекторий дрейфа полярных станций является активной областью исследования, особенно в контексте изменений в Арктике и Антарктике. За последние десятилетия было проведено множество исследований, направленных на изучение динамики движения льда и траекторий полярных станций. Однако в силу сложности и недоступности полярных регионов некоторые аспекты все еще остаются недостаточно изученными.

Существует обширная база данных, содержащая информацию о траекториях дрейфа полярных станций, которая накоплена благодаря долгосрочным наблюдениям и мониторингу. Эти данные включают в себя информацию о перемещении льда, его скорости, направлении, длительности и взаимодействии с другими компонентами системы. Они служат основой для многих исследовательских работ, направленных на анализ траекторий дрейфа и выявление паттернов и тенденций.

Однако, несмотря на существующие исследования, все еще остается много открытых вопросов и неразрешенных проблем. Например, точность и надежность данных о траекториях могут ограничиваться наличием средств наблюдения и технологическими ограничениями. Кроме того, изучение дрейфа полярных станций сталкивается с проблемой доступности полярных регионов, особенно в Антарктике, где наблюдения часто ограничены удаленностью и экстремальными условиями.

Одним из основных достижений в изучении траекторий дрейфа является использование фрактального анализа, который позволяет описывать сложность и структуру траекторий. Этот подход дал возможность выявить некоторые общие характеристики и свойства траекторий полярных станций, а также связанные с ними климатические факторы.

Фрактальный анализ траекторий дрейфа полярных станций имеет большую актуальность в контексте изучения и мониторинга климатических изменений в Арктике и Антарктике. Такой анализ позволяет исследовать множество аспектов траекторий движения льда, включая его характеристики, долгосрочные тенденции и взаимодействие с окружающей средой.

Одним из ключевых элементов фрактального анализа является определение фрактальной размерности траекторий дрейфа. Фрактальная размерность предоставляет информацию о сложности и фрактальной структуре траектории. Это позволяет установить различия между различными типами льда и их взаимодействием с другими элементами системы, такими как океан, атмосфера и топография.

Анализ фрактальных свойств траекторий дрейфа также может помочь в изучении процессов, связанных с изменением климата и глобальным потеплением. Путем изучения изменения фрактальной размерности траекторий можно выявить изменения в масштабах и динамике движения льда, которые могут быть связаны с изменениями ветровых систем, течениях, тепловом балансе и другими факторами.

Кроме того, фрактальный анализ может быть полезен для оценки рисков и определения оптимальных стратегий использования полярных станций. Путем анализа фрактальной структуры траекторий дрейфа можно оценить вероятность столкновений с айсбергами, определить оптимальные маршруты и понять особенности перемещения льда в определенных областях.

Таким образом, фрактальный анализ траекторий дрейфа полярных станций представляет значимую актуальность в понимании и прогнозировании климатических изменений в полярных регионах. Он способствует более глубокому и детальному изучению процессов, происходящих с льдом, и

помогает разрабатывать более эффективные стратегии управления полярными станциями и ресурсами в этих уязвимых экосистемах.

В данной работе я планирую раскрыть тему фрактального анализа дрейфа станций на основании данных о перемещении некоторых станций, а также попробовать найти взаимосвязь фрактальной размерности с некоторыми другими параметрами. Результаты данного исследования могут иметь важное значение для понимания процессов, происходящих на полюсах, и для развития более точных моделей и прогнозов перемещения станций.

Задача изучения фрактального анализа траекторий дрейфа полярных станций была декомпозирована на следующие подзадачи:

- 1) Изучить теорию по темам работы. В первой главе изучается теория о полярных станциях, их назначении и принципах дрейфа. Во второй главе изучается теория фрактального анализа и фрактальных размерностей.
- 2) Работа с исходными данными. Подбор оптимального способа обработки, составление плана их обработки и приведение его в действие. Вывод статистических значений.
- 3) Совершение выводов о зависимостях параметров и принципах их формирования на основании статистических значений.

Для работы были использованы данные о местоположении полярных дрейфующих станций серии “СП” за XX век. Всего в распоряжении был 31 файл с указанными координатами станции в моменты времени.

ГЛАВА 1. ПОЛЯРНЫЕ ДРЕЙФУЮЩИЕ СТАНЦИИ

Дрейфующая станция - это научно-исследовательская база, которая создается на льдах, плавающих в глубоководной части Северного Ледовитого океана. Название советских и российских дрейфующих станций обычно содержит термин "Северный полюс" (СП), с последующим присвоением порядкового номера.

Станции "СП" осуществляют комплексные круглогодичные исследования в области океанологии, ледоведения (физика и динамика льда), метеорологии, аэрологии, геофизики (наблюдения в ионосферном и магнитном поле), гидрохимии, гидрофизики, а также в области морской биологии. Некоторые работы выполняются в интересах ВМФ РФ, включая навигацию и связь с атомными подводными лодками.

В среднем за год на станции "СП" выполняется:

- около 600-650 измерений глубины океана,
- 3500-3900 метеонаблюдений, включая комплекс элементов погоды,
- 600-650 выпусков радиозондов, несущих шары-пилоты,
- 1200-1300 измерений температуры и взятий проб морской воды для химического анализа.
- Проводятся магнитные, ионосферные, ледовые и другие наблюдения.
- Определение координат льдины с помощью астрономического метода позволяет получать данные о направлении и скорости ее дрейфа.

Современная дрейфующая станция представляет собой небольшой населенный пункт. Для полярников строятся жилые помещения, а для размещения аппаратуры и оборудования возведены специальные сооружения.

Каждая новая станция "Северный полюс" обычно начинает работу в апреле и функционирует в среднем около 2.5 лет, пока льдина, на которой она находится, не покинет Гренландский пролив. В случае угрозы разрушения льдины, станцию иногда приходится эвакуировать раньше установленного срока. Смена экипажей происходит ежегодно. За всю историю существования станций "Северный полюс" более 800 человек побывали на дрейфующих станциях. Среднее количество научных работников на каждой станции составляет около 15 человек.

Все дрейфующие станции "Северный полюс" организуются Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом (АНИИ).

Существуют два типа дрейфующих станций в зависимости от присутствия людей:

1. Обитаемые дрейфующие станции, на которых проживают люди.
2. Автоматические дрейфующие станции, которые функционируют без присутствия людей.

Станции "Северный полюс" можно разделить на две группы:

1. Станции, которые дрейфуют на паковом льду, который относительно тонкий и недолговечный. К ним относятся СП-1 — СП-5, СП-7 — СП-17, СП-20 и СП-21.
2. Станции, которые дрейфуют на ледовых островах, являющихся отделившимися от берега осколками ледника. Эта группа включает СП-6, СП-18, СП-19 и СП-22.

Обитаемые дрейфующие станции могут проводить широкий спектр исследований, но их подготовка и обслуживание являются дорогостоящими. Кроме того, каждая станция исследует лишь ограниченный район океана, тогда

как для метеорологических и гидрологических целей необходимо знать движение льдов, течения и погоду на обширной территории. В СССР после Второй мировой войны были разработаны необитаемые автоматизированные станции ДАРМС (Дрейфующая автоматическая радиометеорологическая станция).

Первая автоматическая станция была установлена в 1948 году, а с 1957 года широко распространены стали ДАРМС, разработанные Юрием Константиновичем Алексеевым. Конструкция станции была патентована в 1965 году (авторское свидетельство SU 171609 A1). Ежегодно Арктический и Антарктический Научно-исследовательский Институт (АНИИ) устанавливал 25-30 таких станций на льду в огромном районе от Гренландии до Чукотского полуострова с помощью ледоколов и самолетов. Каждая станция работала автономно около года.

Структурно ДАРМС Алексеева состоит из пустотелой металлической вертикальной штанги, проходящей через лед. В герметичном контейнере под льдом, на нижнем конце штанги, размещены сухие батареи питания и часовой механизм, а над льдом, на разных высотах, закреплены метеоприборы, радиопередатчик и радиоприемник. На вершущке мачты установлена вертикальная антенна высотой до 12 метров. Для обеспечения устойчивости станции используется треножник специальной конструкции, который сохраняет жесткость при сдвиге льда. Треножник крепится к льду, и к нему прикреплены три растяжки антенны. В определенное время (1-3 раза в сутки) станция передает информацию о силе и направлении ветра, температуре и другие данные в виде азбуки Морзе на средних волнах (во время бури период радиопередач может быть сокращен до десяти минут). Дальность действия ДАРМС составляет около 1500 километров. Радиоприемные станции, расположенные в центрах метеорологических районов Арктики (Амдерма, мыс

Челюскина, мыс Четыре Столба), выполняют радиопеленг каждой станции, на основе которого составляется схема движения льдов.

В течение времени ДАРМС были постоянно усовершенствованы. Кроме того, Алексеев разработал упрощенную версию без метеоприборов, известную как "Радиовеха", которая использовалась исключительно для изучения ледовых условий в Арктике.

1.1 История создания дрейфующих полярных станций

В 1929 году исследователь из Петербургского арктического института Владимир Визе предложил концепцию дрейфующих полярных станций. Эта идея позволила дешево и эффективно исследовать Арктику. Она заключалась в установке станционных домиков и оборудования на специально выбранной арктической льдине, что обходилось гораздо дешевле, чем путешествия на ледоколе. Благодаря дрейфующим станциям российские и советские ученые смогли проводить исследования в Арктике круглый год.

Первая дрейфующая экспедиция, которая начала работу 21 мая 1937 года, получила название "Северный полюс". Это название стало традиционным для всех последующих полярных станций, менялись только порядковые номера. Руководил первым дрейфом Иван Папанин, герой Гражданской войны. Участники экспедиции получили ученые степени доктора географических наук и стали почетными членами Всесоюзного географического общества.

Станция "Северный полюс — 1" работала в Арктике девять месяцев, до 19 февраля 1938 года, пройдя более 2000 км. Зимой зимовщиков с льдины эвакуировали ледоколы "Таймыр" и "Мурман" на 70-й широте, неподалеку от берегов Гренландии.

После успешной первой экспедиции работу полярных станций пришлось приостановить из-за начала Второй мировой войны. Однако с середины XX века полярные дрейфы стали проводить ежегодно. С началом холодной войны они приобрели оборонный характер, помогая контролировать подводные лодки противника и участвуя в подготовке возможных налетов советских бомбардировщиков на США через Северный полюс.

Второй раз работа дрейфующих станций прервалась из-за распада СССР. После закрытия последней советской дрейфующей станции "Северный полюс — 31" в июле 1991 года регулярные исследования Арктики с использованием дрейфов были приостановлены. Официально это объяснялось доктриной, согласно которой исследования Крайнего Севера без участия человека были более эффективными. Однако есть и теории, что отсутствие финансирования на самом деле стало причиной прекращения новых дрейфующих экспедиций.

В марте 2003 года программа дрейфующих станций была возобновлена и 25 апреля 2003 года была запущена первая российская дрейфующая станция — «Северный полюс-32». Однако, в 2013 году из-за климатических изменений и сокращения финансирования программа была снова заморожена.

1.2 Назначение станций

Полярные станции северного полюса имеют достаточно широкое назначение:

1. Исследования климата и окружающей среды: Полярные станции северного полюса играют важную роль в изучении климатических изменений и окружающей среды Арктики. Ученые и исследователи могут наблюдать и измерять параметры, такие как толщина льда, температура воздуха и моря, химический состав атмосферы и состояние экосистемы.

Эти данные помогают в понимании глобальных процессов и разработке стратегий по адаптации к изменению климата.

- а. Метеорологические наблюдения: На полярных станциях проводятся постоянные метеорологические наблюдения, чтобы измерить параметры, такие как температура воздуха, атмосферное давление, влажность, скорость и направление ветра. Эти данные помогают в изучении погодных условий и климатических паттернов в регионе. Наблюдения проводятся как на поверхности, так и в атмосфере.
 - б. Изучение состояния льда и снега: Исследователи на полярных станциях изучают толщину ледяного покрова, его структуру и состояние. Они также измеряют плотность снега и химический состав арктического льда. Эти данные помогают в понимании процессов формирования и таяния льда, а также в анализе влияния климатических изменений на арктический лед.
 - с. Исследование химического состава атмосферы: На полярных станциях проводятся измерения концентрации различных газов в атмосфере, включая парниковые газы, такие как углекислый газ и метан, а также загрязняющие вещества. Это помогает в изучении атмосферной химии и оценке влияния человеческой деятельности на состояние арктической атмосферы.
2. Мониторинг арктической фауны и флоры: Полярные станции предоставляют возможность наблюдать и изучать арктические виды животных и растений. Ученые могут изучать миграции животных, их поведение, популяционную динамику и влияние климатических изменений на арктическую фауну и флору.
- а. Наблюдение: На полярных станциях проводятся регулярные наблюдения за видами животных и растениями. Ученые и исследователи могут собирать данные о наличии и распределении

различных видов, их поведении, численности популяций, а также изменениях во времени.

- b. **Запись наблюдений:** Информация о наблюдаемых видах записывается с указанием местоположения, даты, времени и других соответствующих данных. Записи могут быть сделаны вручную или с использованием электронных устройств, таких как компьютеры, планшеты или специализированные программы.
- c. **Сбор образцов:** Для более детального анализа ученые могут собирать образцы арктической флоры и фауны. Это может включать сбор растений, почвы, проб воды, образцов тканей животных и других материалов. Образцы могут быть использованы для определения видов, генетических исследований, изучения адаптаций и других анализов.
- d. **Использование технических средств:** В процессе мониторинга на полярных станциях могут применяться различные технические средства для получения данных. Это могут быть дистанционные камеры, ультразвуковые детекторы, GPS-устройства для отслеживания движения животных, а также другие инструменты и сенсоры.
- e. **Анализ данных:** Собранные данные анализируются для выявления трендов, понимания изменений в популяциях и экосистемах. Ученые могут использовать статистические методы, географические информационные системы (ГИС), моделирование и другие инструменты для интерпретации результатов мониторинга и делают выводы.
- f. **Публикации и обмен информацией:** Полученные результаты мониторинга могут быть опубликованы в научных журналах или представлены на конференциях, чтобы поделиться знаниями и улучшить понимание арктической флоры и фауны. Обмен

информацией с другими научными и исследовательскими организациями помогает собрать более полную картину об экосистемах Арктики.

3. Исследования океана и льда: Северный полюс является регионом с морем, покрытым льдом, что предоставляет возможности для исследования океана и ледового покрова. Ученые на полярных станциях могут изучать физические и химические свойства морской воды, движение льда, формирование и таяние ледников, а также влияние арктического льда на климатические процессы.

a. Измерение физических параметров: Ученые на полярных станциях проводят измерения температуры воды и воздуха, солености, плотности и глубины моря. Они могут использовать автоматические датчики и приборы для непрерывного мониторинга или совершать регулярные погружения в морскую воду с помощью специальных инструментов, таких как крейсера или зонды CTD (Conductivity, Temperature, Depth).

b. Исследование движения льда: Перемещение станций четко отслеживается, что позволяет составлять траектории их движения и делать выводы о том, какие факторы и когда влияют на этот процесс. Современные полярные станции используют радары и лазерные дальномеры для изучения движения льда. Эти инструменты позволяют ученым определять скорость и направление дрейфа льда, а также измерять его толщину и форму. Информация о движении льда важна для понимания динамики арктического ледяного покрова и его влияния на климатические процессы.

c. Исследование состава и химических свойств морской воды: Ученые на полярных станциях берут образцы морской воды для анализа ее химического состава, включая содержание солей, кислорода,

углекислого газа и других элементов и соединений. Они также исследуют параметры водной флоры и фауны, такие как содержание фитопланктона, зоопланктона и растворенного органического вещества.

4. Технические исследования: Полярные станции северного полюса служат также базами для технических исследований. На них проводятся испытания нового оборудования и технологий, разрабатываются инновационные решения для работы в экстремальных условиях. Это может включать разработку более эффективных систем энергоснабжения, методов обработки и очистки воды, средств связи и транспорта.
5. Обеспечение безопасности и навигации: Полярные станции играют важную роль в обеспечении безопасности и навигации в арктическом регионе. Они могут служить базами для спасательных операций, обеспечивать связь и снабжение для других исследовательских и коммерческих экспедиций, а также предоставлять данные и информацию для морских и летных навигационных систем.
 - a. Спасательные операции: Полярные станции часто служат базами для спасательных операций в случае чрезвычайных ситуаций или аварий. Это может включать эвакуацию раненых или заболевших членов экипажа или других исследователей. Для этого станции должны быть оснащены средствами связи, медицинским оборудованием и транспортом, способным работать в экстремальных условиях.
 - b. Связь и метеорологическая информация: Полярные станции предоставляют связь и метеорологическую информацию другим исследовательским и коммерческим экспедициям, а также морским и авиационным организациям. Это позволяет контролировать погодные условия, передавать предупреждения о льдах, штормах

или других опасностях, а также обмениваться необходимой информацией для навигации и безопасности.

- c. Навигационная поддержка: Полярные станции также могут предоставлять навигационную поддержку для морских и авиационных судов в арктическом регионе. Это может включать предоставление данных о льдах, течениях, погодных условиях и других факторах, которые могут повлиять на безопасность и эффективность навигации.
- d. Системы мониторинга и предупреждения: Полярные станции могут быть оснащены системами мониторинга и предупреждения, которые помогают обнаруживать и реагировать на потенциально опасные ситуации. Это может включать системы определения льда, метеорологические станции, системы детектирования опасных газов или системы обнаружения движения льда, позволяющие своевременно предупреждать об угрозах.

1.3 Измерения

Точность измерений данных, полученных с полярных станций, в значительной степени зависит от конкретных исследовательских программ, однако, в целом, точность измерений в течение этого периода была довольно высокой, с учетом технических возможностей и условий работы в экстремальных условиях.

Основной проблемой является скользящий срок снятия данных, что увеличивает общую погрешность и препятствует точному формированию временных рядов данных, а соответственно и совершению безошибочных выводов о корреляциях. Промежуток между снятием данных может принимать значение от нескольких часов, до нескольких дней.

Важно отметить, что вторая половина 20 века была временем значительных технологических прорывов в сфере научных измерений и оборудования. Использование современных инструментов и технологий позволило значительно повысить точность и надежность измерений. Например, ледовые зонды и дрейфующие буи

1.4 Дрейфы

Дрейф определяется действием трех основных факторов: океаническими течениями, антициклоническим круговоротом льдов в центральной части Арктики, трансарктический перенос льда, а также ветрами.

Океанические течения играют важную роль в дрейфе полярной станции. Особенно значимы два течения в районе Арктики: Гольфстрим и Берингово течение. Гольфстрим - это теплое и быстрое течение, которое приводит к таянию льда и обеспечивает некоторую теплоту в окружающей среде. Оно вносит значительный вклад в перемещение станции, так как сильное течение может переносить ее на большие расстояния за короткое время.

С другой стороны, Берингово течение является холодным и медленным. Оно препятствует таянию льда и способствует его образованию. Благодаря этому течению станция может задерживаться в определенных районах и медленно дрейфовать вместе с льдом. В сочетании с Гольфстримом, Берингово течение создает сложную динамику перемещения станции в Арктике.

Кроме океанических течений, ветры также оказывают влияние на дрейф полярной станции. Ветры могут приводить к перемещению льда и станции в нужном направлении. Интенсивность и направление ветров зависят от множества факторов, включая географическую конфигурацию региона, сезонные изменения и погодные условия. Ветры могут создавать

дополнительные силы, которые влияют на движение станции и могут в конечном итоге определить ее путь.

1.4.1 Правило Нансена

Фридтйоф Нансен начал регулярные систематические наблюдения за дрейфом льда во время своей полярной экспедиции на судне "Фрам" в 1893-1896 годах. Корабль дрейфовал от Новосибирских островов до северной части Гренландского моря, и на протяжении всего пути следования Нансен записывал характеристики погоды и льда.

Нансен вывел два простых правила, известных как "правила Нансена", которые были широко применялись на практике. Согласно этим правилам:

1. Скорость дрейфа льда составляет примерно 2% от скорости ветра, вызвавшего его движение.
2. Направление дрейфа льда смещается на 30 градусов вправо от направления ветра, вызвавшего его движение.

В 1924 году профессор Владимир Юльевич Визе на основе научных результатов экспедиции на судне "Св. Анна" обнаружил отклонения фактического дрейфа судна от предсказанного вторым правилом Нансена направления в одном из арктических районов. Визе предположил наличие суши в этом районе. Предположение было подтверждено экспедицией на судне "Георгий Седов" в 1930 году, когда был открыт остров, названный Островом Визе в честь учёного, который первым предположил его существование.

1.4.2 Барический дрейф

В начале XX века, помимо упомянутой экспедиции на судне "Св. Анна", в арктических регионах произошли несколько заметных дрейфовых событий.

Одним из них был дрейф капитана Бартлетта на судне "Карлук" в 1913-1914 годах. Еще одним был дрейф экспедиции Р. Амундсена на судне "Мод" с острова Врангеля до Новосибирских островов в 1922-1924 годах. Другие важные события включают дрейф парохода "Челюскин" в 1933-1934 годах, дрейф парохода "Ленин" в 1937-1938 годах, дрейф первой дрейфующей станции "Северный полюс-1" в 1937-1938 годах, а также легендарный дрейф "Геorgia Седова" в 1937-1940 годах.

Кроме того, к концу 1930-х годов в арктических районах уже существовала сеть метеорологических станций, что позволяло ученым сравнивать данные о дрейфе льдов с погодными картами. Сопоставив карту дрейфа "Геorgia Седова" с картой распределения атмосферного давления на тот период, советский ученый Н. Н. Зубов обнаружил, что дрейф происходил вдоль изобар. Особенность дрейфа "Геorgia Седова" заключалась в том, что на большом протяжении путь судна практически совпадал с направлением ветра, отклоняясь от него вправо на 30 градусов в соответствии со вторым правилом Нансена, а влияние течений и берегов было незначительным.

На основе правил Нансена Зубов сформулировал два правила барического дрейфа льдов:

- Направление дрейфа льда совпадает с направлением изобары, при этом область повышенного давления находится справа, а пониженного давления — слева.
- Скорость дрейфа пропорциональна градиенту атмосферного давления, то есть обратно пропорциональна расстоянию между изобарами.

Направление дрейфа льда было определено Зубовым на основе влияния трения о поверхность Земли и силы Кориолиса, приводящих к отклонению ветра на 30 градусов влево от изобары, а судно отклоняется на 30 градусов вправо от направления ветра.

Во второй половине XX века были сделаны наблюдения за дрейфом льда на множестве советских и нескольких американских дрейфующих станций. Российские ученые смогли обобщить первое правило Зубова, так как сумма угла отклонения дрейфующего судна от направления ветра и угла отклонения направления ветра от изобары не всегда равнялась нулю, что означало, что судно не всегда двигалось точно по изобаре.

1.4.3 Классификация дрейфов

Угрюмов в своей книге ввел условную классификацию дрейфа станций:

1. Дрейф путем "Фрама": Эта категория относится к станциям, которые дрейфуют вдоль пути, пройденного экспедицией Фрама, полярной дрейфующей станции, использовавшейся Норвежским полярным институтом для исследований в Арктике. Дрейф путем "Фрама" характеризуется перемещением станции максимально близко к точке полюса и проходя весь полюс насквозь и выходя в Гренландское море.
2. Антициклонический круговорот льдов западного сектора Арктики: Эта категория включает станции, вовлеченные в антициклонический круговорот льдов в западном секторе Арктики и не сумевших выйти к полюсу
3. Необычные траектории дрейфа: Эта категория включает станции, дрейф которых не подпадает ни под одну из предыдущих категорий. Это могут быть станции с необычными путями перемещения, которые не соответствуют обычным траекториям или не могут быть определены в рамках известных классификаций.

ГЛАВА 2. ФРАКТАЛЬНАЯ РАЗМЕРНОСТЬ

Фрактальная размерность - это понятие, используемое для описания сложности и геометрических свойств фракталов. Фракталы - это математические объекты или геометрические фигуры, которые обладают самоподобием на разных уровнях масштаба. То есть, при более детальном рассмотрении фрактала, его части будут иметь структуру, подобную структуре всего фрактала в целом.

Фрактальная размерность является мерой, которая характеризует степень заполненности фрактала в пространстве. Она позволяет определить, насколько сложной или компактной является геометрия фрактала. В общем случае, фрактальная размерность может быть нецелым числом, что свидетельствует о том, что фрактал заполняет пространство неоднородно.

Значение фрактальной размерности описывает степень заполненности или сложность геометрии фрактала. Чем выше значение фрактальной размерности, тем более сложной и заполненной пространство фрактала считается.

Конкретное значение фрактальной размерности может иметь различную интерпретацию в зависимости от контекста и конкретного фрактала, который изучается. Некоторые общие интерпретации значения фрактальной размерности включают:

1. Гладкие поверхности: Для гладких фракталов, таких как кривые Коха или кривая Пеано, значение фрактальной размерности будет быть между 1 и 2. Значение ближе к 1 указывает на более простую геометрию, а значение ближе к 2 - на более сложную.
2. Заполненность плоскости: Для фракталов, которые заполняют плоскость, таких как фракталы Мандельброта или фрактальные деревья, значение фрактальной размерности может быть более высоким. Например,

значение около 2 указывает на фрактал, который заполняет плоскость почти полностью.

3. Фрактальные объекты в трехмерном пространстве: Для фракталов в трехмерном пространстве, таких как множество Мандельброта в трех измерениях или фрактальные снежинки, значение фрактальной размерности может быть больше 2. Это указывает на сложную и многомерную геометрию таких фракталов.

Значение фрактальной размерности позволяет описать и классифицировать разнообразие фрактальных структур и понять их геометрические свойства.

2.1 Виды фрактальной размерности

Существует несколько видов фрактальных размерностей, которые используются для описания различных аспектов фракталов. Некоторые из них включают:

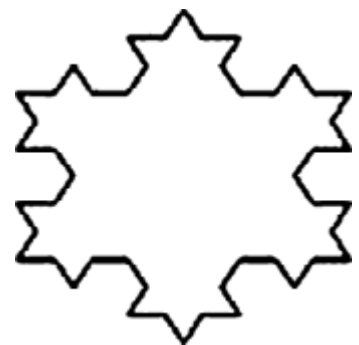
1. Фрактальная размерность Минковского (также известная как бокс-счетчик): Это один из наиболее распространенных видов фрактальных размерностей. Она измеряет степень заполненности фрактала в пространстве путем подсчета числа "боксов", необходимых для покрытия фрактала. Затем с помощью математического анализа вычисляется фрактальная размерность.
2. Фрактальная размерность Хаусдорфа: Это еще один широко используемый вид фрактальной размерности, основанный на понятии измеримости фракталов. Фрактальная размерность Хаусдорфа определяет степень "хаотичности" или детализации фрактала путем измерения изменения масштаба и структуры фрактала при изменении разрешения измерения.

3. Обобщенная фрактальная размерность: Этот вид фрактальной размерности используется для измерения многомасштабной структуры фрактала. Он учитывает различные масштабы или уровни детализации, на которых фрактал проявляет свою структуру, и предоставляет информацию о фрактале на каждом уровне масштаба.
4. Информационная фрактальная размерность: Это понятие фрактальной размерности, основанное на информационной теории. Она измеряет количество информации, необходимой для описания фрактала и его структуры. Эта размерность позволяет оценить сложность и энтропию фрактала.
5. Мультифрактальная размерность в отличие от классической фрактальной размерности, которая характеризует фрактал как целостный объект, мультифрактальная размерность позволяет изучать изменение структуры фрактала на разных масштабах. В мультифрактальном анализе фракталы рассматриваются как объекты, у которых различные части или подмножества имеют различные степени заполненности или сложности. Вместо единственного числа фрактальной размерности, используется набор чисел, называемый спектр мультифрактальной размерности. Этот спектр предоставляет информацию о том, как степень заполненности или сложность меняется в разных частях фрактала или на разных масштабах.

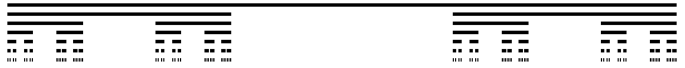
Каждый вид фрактальной размерности имеет свои преимущества и может быть применен к различным типам фракталов или аспектам их геометрии. Выбор конкретного вида фрактальной размерности зависит от целей изучения и характеристик фрактала.

Примеры фракталов:

- 1) Снежинка Коха. Три копии кривой Коха, построенные (остриями наружу) на сторонах



правильного треугольника, образуют замкнутую кривую бесконечной длины, называемую снежинкой Коха. Эта фрактальная кривая представляет собой замкнутую кривую на основе равностороннего треугольника. В некоторых работах ее также называют "островом Коха". Было доказано, что у этой кривой есть несколько интересных свойств. Например, ее периметр бесконечен, но при этом она охватывает конечную площадь, равную $8/5$ площади базового треугольника. Из-за этого некоторые методики и параметры, используемые для плоских фигур, такие как краевой индекс, становятся незаменимыми при работе со Снежинкой Коха. Вычисление фрактальной размерности Снежинки Коха дает значение, приблизительно равное 1,2619. Также возможно построение антиснежинки Коха, для которой алгоритм генерации заключается в вырезании новых треугольников из исходной формы на каждом этапе. Другими словами, ребра базовой формы модифицируются внутрь, а не наружу. В результате получается фигура, которая охватывает бесконечное множество несвязанных областей, суммарная площадь которых равна $2/5$ от площади треугольника нулевой итерации.

- 2) Канторово множество - это  один из самых известных примеров бесконечного множества, которое обладает некоторыми удивительными свойствами. Оно было введено исследователем математики Георгом Кантором в конце XIX века. Объясняя Канторово множество, начнем с рассмотрения отрезка на числовой прямой, например, от 0 до 1. Внутри этого отрезка берется средняя точка, которую можно представить как число $1/2$. Затем оставшиеся части

отрезка делятся на две равные части и выберем среднюю точку каждой из них. Таким образом, получается две новые точки: $1/4$ и $3/4$. Можно продолжать этот процесс деления и выбора средней точки внутри каждого оставшегося отрезка. На каждом шаге будет получаться все больше и больше точек. После бесконечного числа шагов получится Канторово множество. Однако здесь происходит необычное явление: Канторово множество является бесконечным, но его размерность меньше, чем размерность отрезка, из которого он был получен. То есть, несмотря на то, что мы добавляем все больше и больше точек, Канторово множество остается очень "редким" и не заполняет всю числовую прямую. Визуально Канторово множество выглядит как набор точек, которые плотно расположены, но все же есть промежутки, где нет точек. Это делает его уникальным и интересным объектом изучения в математике. Фрактальная размерность множества Кантора = 0,6309

2.2 Методы расчета фрактальной размерности

Существует несколько методов для расчета фрактальной размерности, каждый из которых предлагает свой подход и математическую модель для измерения сложности фрактальных объектов. Понимание этих методов и их различий позволяет исследователям анализировать и классифицировать разнообразные фрактальные структуры. Разные методы подсчета фрактальной размерности существуют потому, что они предоставляют различные подходы к измерению и оценке структурной сложности фрактальных объектов. Каждый метод имеет свои особенности и может быть более или менее применим в зависимости от конкретного типа фрактала, доступных данных и целей исследования.

Схожесть методов подсчета фрактальной размерности заключается в том, что они все стремятся определить меру сложности фрактального объекта, которая выражается через его фрактальную размерность. Они также используют

аналогичные принципы, такие как разбиение объекта на ячейки различных размеров или анализ вероятности покрытия объектом.

Однако существуют и ключевые различия между разными методами подсчета:

1. Основные принципы: Различные методы могут быть основаны на разных математических концепциях и теоретических моделях. Например, метод подсчета боксов использует простые прямоугольные или квадратные ячейки, в то время как метод Реньи использует функцию покрытия. Такие различия могут повлиять на точность и применимость метода для определенных типов фракталов.
2. Учет масштаба: Некоторые методы учитывают изменение масштаба при подсчете фрактальной размерности, в то время как другие методы могут быть более ограничены в этом отношении. Учет масштаба важен, так как фракталы обладают самоподобием на разных масштабных уровнях, и разные методы могут иметь разные возможности в оценке этого самоподобия.
3. Вычислительная сложность: Некоторые методы могут быть вычислительно более сложными и требовать большего объема вычислительных ресурсов для проведения анализа. Это может быть важным фактором при выборе метода в зависимости от доступности вычислительных ресурсов и времени, а также объема и характера исследуемых данных.
4. Применимость к разным типам фракталов: Разные методы могут иметь свои сильные и слабые стороны в зависимости от типа фрактала, который необходимо анализировать. Некоторые методы могут быть более применимы для самоподобных фракталов, в то время как другие методы могут быть более эффективны при изучении мультифрактальных структур.

В целом, выбор метода подсчета фрактальной размерности зависит от конкретной задачи и характеристик объекта, а также доступных ресурсов и целей исследования.

1. Метод подсчета боксов (Box Counting Method): Этот метод основан на разбиении фрактального объекта на сетку квадратных или прямоугольных ячеек различных размеров. Затем подсчитывается количество ячеек, которые пересекаются с фрактальным объектом. Путем изменения размера ячеек и подсчета соответствующих количеств ячеек, можно определить зависимость между размером ячеек и количеством ячеек, необходимых для покрытия фрактала. Фрактальная размерность определяется путем анализа этой зависимости.
2. Метод Реньи (Rényi's Method): Метод Реньи основан на использовании функции покрытия фрактала ячейками различных размеров. Функция покрытия определяет вероятность того, что ячейка определенного размера будет покрыта фракталом. Она измеряет долю площади (в двумерном случае) или объема (в трехмерном случае), покрытую фракталом, отнесенную к общей площади или объему исследуемой области.

Для использования метода Реньи сначала определяется набор размеров ячеек, которые будут использоваться для оценки функции покрытия. Затем измеряется количество ячеек, которые пересекаются с фракталом при каждом размере ячейки. В идеальном случае, когда ячейка идеально подходит для покрытия фрактала, вероятность покрытия будет равна 1. По мере увеличения размера ячеек, вероятность покрытия будет уменьшаться, и это позволит определить связь между размером ячейки и вероятностью покрытия.

Фрактальная размерность может быть определена с использованием формулы: $D = -\lim(\log(P(i))/\log(r(i)))$, где D - фрактальная размерность, $P(i)$ - вероятность покрытия при размере ячейки $r(i)$.

3. Метод мультифрактального анализа (Multifractal Analysis Method): Метод мультифрактального анализа используется для анализа объектов, обладающих мультифрактальной структурой. Мультифрактальность означает наличие различных фрактальных размерностей в разных областях объекта.

Для применения метода мультифрактального анализа сначала определяется масштабирующая функция, которая связывает амплитуду фрактала с его масштабом. Затем применяется масштабирующая функция к различным частям объекта для измерения и анализа их фрактальных размерностей.

Метод мультифрактального анализа позволяет определить спектр фрактальных размерностей в зависимости от различных параметров. Он обычно включает в себя расчет фрактальной размерности для различных подмножеств объекта и анализ зависимости этих размерностей от параметров, таких как размер ячейки, масштаб объекта и др. Этот метод особенно полезен для изучения сложных объектов с мультифрактальной структурой, таких как сложные физические системы, биологические ткани и турбулентные потоки.

2.3 Метод подсчета ячеек

Теперь рассмотрим метод подсчета ячеек. Данный метод основывается на предположении, что фрактал может быть покрыт набором квадратных или кубических ячеек меньшего размера. Идея заключается в том, чтобы

увеличивать размер ячеек и подсчитывать количество ячеек, необходимых для покрытия фрактала при каждом увеличении размера ячейки.

Шаги метода подсчета ячеек:

1. Начинается процесс с некоторого начального размера ячейки. Обычно выбираются ячейки малого размера, чтобы лучше улавливать детали фрактала.
2. Ячейка размещается на фрактальном наборе точек и подсчитывается, сколько точек находится внутри ячейки.
3. Увеличивается размер ячейки и повторяется шаг 2 для новой ячейки.
4. Постепенно увеличивается размер ячейки до тех пор, пока она полностью не охватит весь фрактал или пока не будет достигнуто желаемое количество уровней размера ячейки.
5. После того, как вы подсчитано количество точек внутри каждой ячейки на разных уровнях размера, можно построить график количества ячеек от размера ячейки в логарифмической шкале.
6. Полученный график может быть аппроксимирован линией на логарифмической шкале. Наклон этой линии позволяет оценить фрактальную размерность фигуры.

Обычно для более точной оценки фрактальной размерности требуется провести несколько итераций метода, используя разные размеры ячеек и усредняя полученные результаты.

Метод подсчета ячеек является одним из простых и доступных методов для оценки фрактальной размерности. Он может применяться к различным типам фракталов и фрактальных наборов точек, помогая понять их структуру и сложность.

Использование метода подсчета ячеек для оценки траекторий имеет несколько преимуществ, которые делают его оптимальным в некоторых случаях:

1. Простота и понятность: Метод подсчета ячеек является относительно простым в понимании и реализации. Он не требует сложных математических моделей или вычислительных алгоритмов. В основе метода лежит простая идея подсчета количества ячеек на разных уровнях размеров.
2. Независимость от времени: Метод подсчета ячеек не требует знания временной информации о траектории. Он сосредоточен на анализе пространственного распределения точек в траектории. Поэтому этот метод особенно полезен в случаях, когда временная информация о траектории не является релевантной или доступной.
3. Универсальность: Метод подсчета ячеек может быть применен к различным типам траекторий, включая дискретные и непрерывные. Он также может использоваться для оценки фрактальной размерности в различных масштабах и уровнях детализации.
4. Устойчивость к шуму: Метод подсчета ячеек обладает некоторой устойчивостью к шуму или неточностям в данных. Поскольку он основывается на подсчете количества точек внутри ячеек, некоторое количество шумовых точек может быть учтено без существенного искажения результата.

ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Для проведения вычислений мне нужно:

- 1) Изучить исходные данные.
- 2) Сделать выводы об их первичной обработке.
- 3) Выбрать оптимальный способ и применить его на практике.
- 4) Получить практические результаты из первично обработанных данных.
- 5) Проверить данные на выбросы и ликвидировать их.
- 6) Составление статистики.
- 7) Совершение выводов о зависимостях и тенденциях.

3.1 Изучение исходных данных

Исходные данные для обработки представлены .zip архивом, состоящим из файлов в расширении .01 (.02, .03). Данные в файлах закодированы в UTF-8 формате. Эта кодировка является стандартной для кодирования текстовой информации для ЭВМ широкого назначения.

В данных представлена информация о местоположении станции в определенные моменты времени. Каждая строка означает свой момент времени. Данные разделены между собой пробелами. Пример строки:

50 4 2 3 76031 193240

где

50 - последние две цифры года

4 - цифра месяца

2 - цифра дня в месяце

3 - время дня в часах (в 24-х часовом формате)

76031 - широта в формате aabbc, где

aa - градусы

bb - минуты

c - десятки секунд

193240 - долгота в формате aaabbc, где

aaa - градусы

bb - минуты

c - десятки секунд

На данном этапе можно выделить такие проблемы:

- 1) Данные представлены в уникальном расширении, что может создать проблемы при работе с некоторыми автоматизированными системами проведения расчетов.

В качестве решения выбрал вариант трансформирования расширений всех файлов в формат .csv (Comma-separated values). Он является наиболее простым и гибким для данных подобного назначения.

- 2) Координаты представлены в формате DMS (от английского "Degrees-Minutes-Seconds"), что также усложняет процесс проведения вычислений над ними, а также автоматизированное нанесение на карту. В качестве решения решил перевести координаты в десятичные градусы.

3.2 Выявление параметров, которые нужно вычислить

Для нахождения фрактальной размерности методом ячеек (Box-counting) требуется знать размер ячеек. В случае нашей программы размер ячейки имеет соотношение 1 единица размера ячейки = 1 градус.

Также требуется временной ряд, над которым будет проводится расчет. В нашем случае этим рядом является обработанный файл.

3.3 ПРОВЕДЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ ТРАЕКТОРИЙ ДРЕЙФА

Для проведения вычислений было написано приложение на языке программирования Python.

3.4 Описание используемых функций

Написанная приложение выполняет следующие функции:

1. Форматирование данных из файла в формат CSV.
2. Построение карты на основе данных из файла.
3. Расчет фрактальной размерности на основе координат станций, представленных в файле.

Для работы программы необходимо наличие следующих зависимостей:

- `mpl_toolkits.basemap` - модуль для работы с географическими данными и построения карт. При помощи этой библиотеки получается изображение бэкграунд карты.
- `matplotlib.pyplot` - модуль для визуализации данных и построения графиков. Используется для построения траектории движения станции на карте.
- `tkinter` - модуль для создания графического интерфейса пользователя.
- `pandas` - модуль для детальной обработки данных. В нашем случае помогает переводить данные в временные массивы.
- `numpy` - модуль для выполнения вычислений и работы с массивами.
- `csv` - модуль для работы с CSV-файлами.
- `PIL (Python Imaging Library)` - модуль для работы с изображениями.
- `sys` - модуль для работы с системными функциями.

3.4.1 Функция filemuta

Эта функция выполняет форматирование данных из выбранного файла и сохраняет их в формате CSV.

Внутри функции созданы другие функции:

a) Функция `conv_to_csv`

Данная функция открывает выбранный файл и выполняет форматирование данных в формате CSV. Данные сохраняются в файл с именем "data1.csv".

Входные параметры:

- `file_path` - путь к выбранному файлу

Выходные параметры:

- Нет

b) Функция `dec_i`

Данная функция выполняет преобразование градусов, минут и долей минуты в десятичные градусы.

Входные параметры:

- `degrees` - градусы
- `minutes` - минуты
- `tenths_of_minutes` - доли минуты

Выходные параметры:

- `decimal` - значение в десятичных градусах

c) Функция `conv_to_dec_i`

Эта функция открывает файл "data1.csv", выполняет преобразование координат станций в десятичные градусы и сохраняет обновленные данные в том же файле.

Вход:

- Переменная decimal

Выход:

- Файл data1.csv

3.4.2 Функция map

Данная функция открывает выбранный файл, выполняет обработку данных и строит карту на основе координат станций.

Вход:

- Исходный файл с данными

Выход:

- Карта с нанесенной траекторией

3.4.3 Функция frac

Данная функция выполняет расчет фрактальной размерности. Открывает выбранный файл, выполняет расчет фрактальной размерности на основе координат станций и строит график зависимости логарифма количества квадратов от логарифма размера квадрата.

Имеет вложенные функции:

a) Функция `box_counting_dim`

Данная функция вычисляет фрактальную размерность на основе координат и размера квадрата.

Входные параметры:

- `coords` - координаты станций
- `box_size` - размер квадрата

Выходные параметры:

- `dim` - фрактальная размерность
- `boxes` - матрица, представляющая подсчитанные квадраты

b) Функция `count_boxes`

Данная функция вычисляет количество ненулевых квадратов заданного размера в матрице квадратов.

Входные параметры:

- `boxes` - матрица квадратов
- `box_dim` - размер квадрата

Выходные параметры:

- `dim_sum` - сумма ненулевых квадратов

3.4.4 КЛАСС `ConsoleOutput`

Этот класс используется для перенаправления вывода в текстовое поле в графическом интерфейсе.

Входные параметры:

- `console` - текстовое поле для вывода

Методы класса:

- `write` - записывает сообщение в текстовое поле

3.5 ОСНОВНОЙ КОД ПРОГРАММЫ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Основной код программы создает графический интерфейс пользователя с кнопками для вызова функций и текстовым полем для вывода результатов.

Для запуска нужно:

1. Переместить папку из архива в удобное место. Например, в корень диска C. (C:\)
2. Написать в терминале IDE или командной строке путь к программе с припиской `python` в начале. Например, `"python C:\fractal_analysis\main.py"`
*В ходе запуска программы в консоли могут появляться ошибки. Исходя из строк кода, на которые отсылаются ошибки можно понять, каких библиотек не хватает. В программе были использованы следующие библиотеки: `matplotlib`, `basemap`, `tkinter`, `pandas`, `numpy`, `skimage`. Остальные библиотеки устанавливаются автоматически со стандартным дистрибутивом Python. Для того, чтобы доустановить библиотеки можно воспользоваться командой `"pip install *название библиотеки*"` в командной строке, запущенной от имени администратора.

Краткое описание функционала программы:

- 1) Первая функция - преобразование данных. Программа дает выбрать файл любого формата (но с конкретной разметкой данных) и преобразует его в

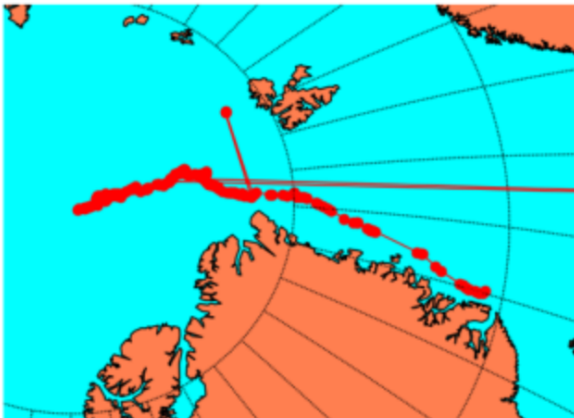
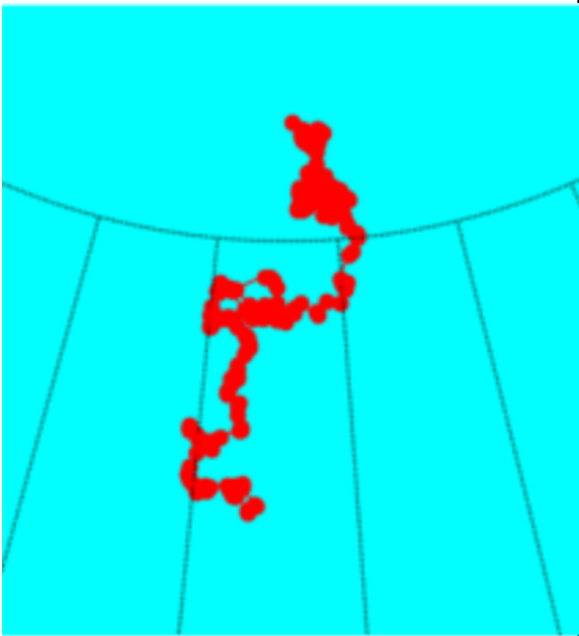
файл формата .csv, пригодный для использования. Файл сохраняется в папке выполнения программы под названием data1.csv

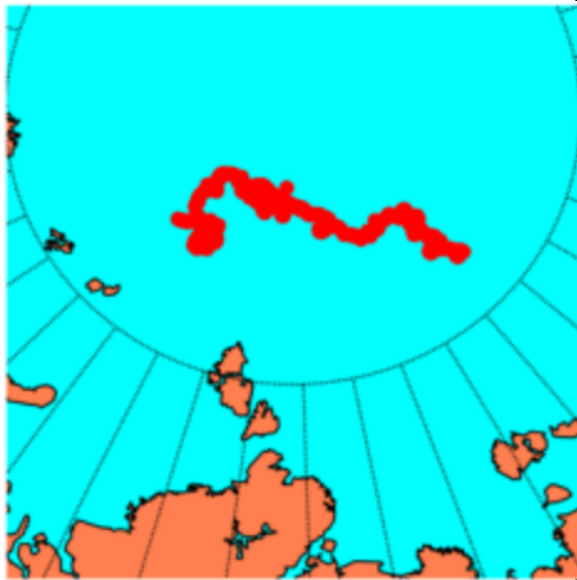
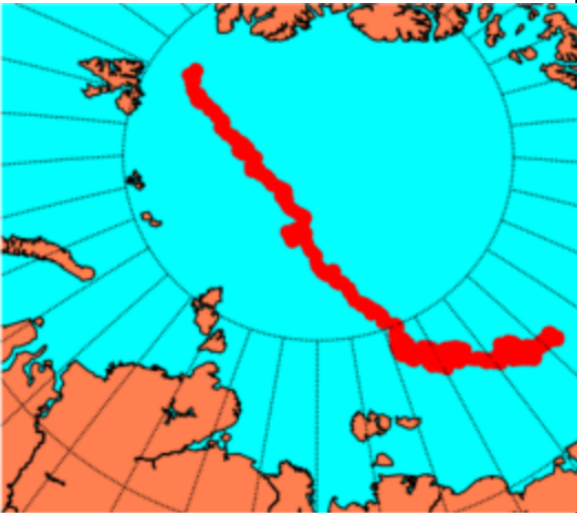
- 2) Вторая функция - нанесение траектории на карту. При вызове функции программа дает выбрать файл. Нужно выбрать преобразованный файл, то есть формата .csv.
- 3) Третья функция - расчет фрактальной размерности. При вызове функции программа опять же просит файл .csv формата и считает фрактальную размерность. Результат выводится в текстовое поле главного окна программы под логотипом РГГМУ.

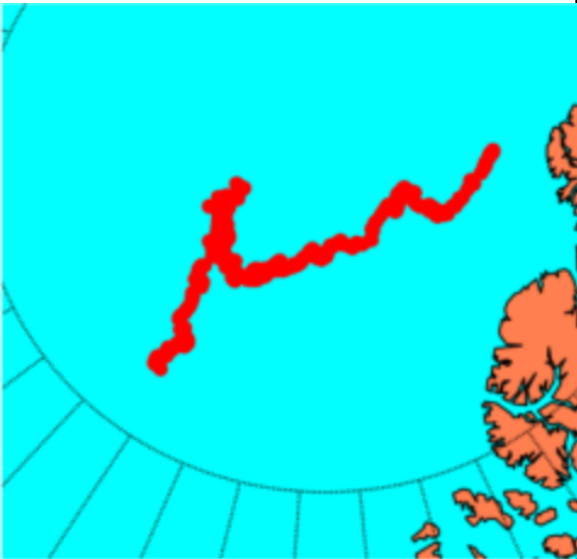
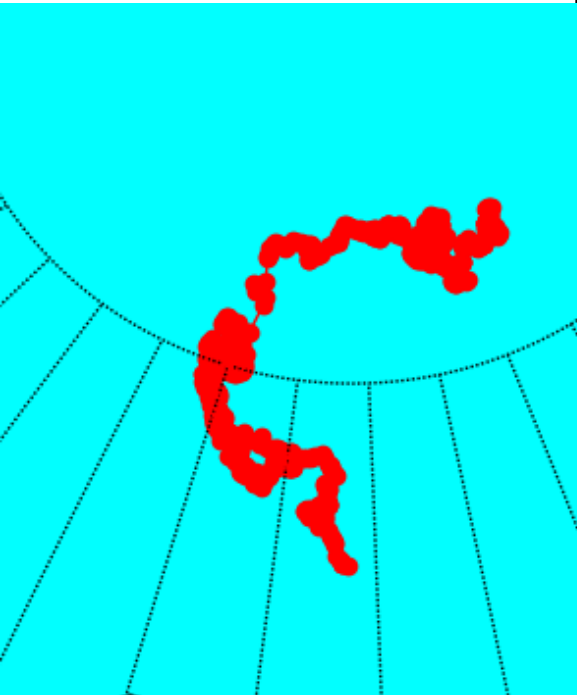
При выполнении некоторых операций также в консоль могут выводиться ошибки. Некоторые из них критические и препятствуют выводу результата, но большинство из них ругаются на частные значения и несмотря на факт ошибки фрактальную размерность выводят должным образом.

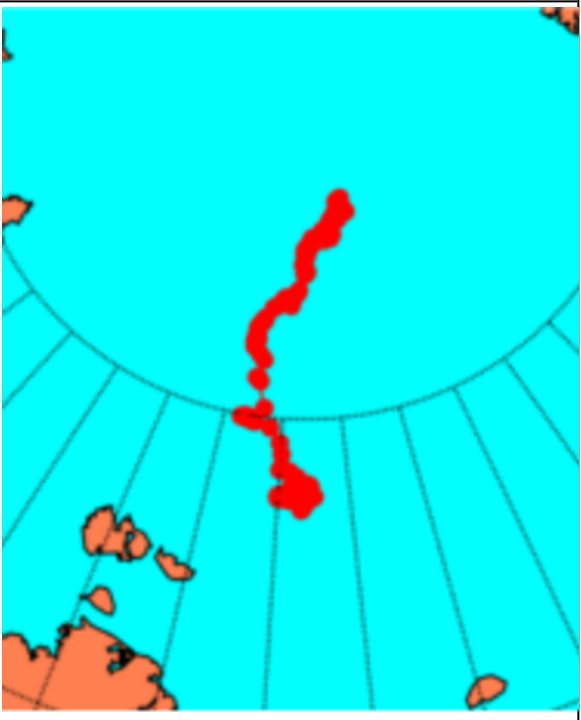
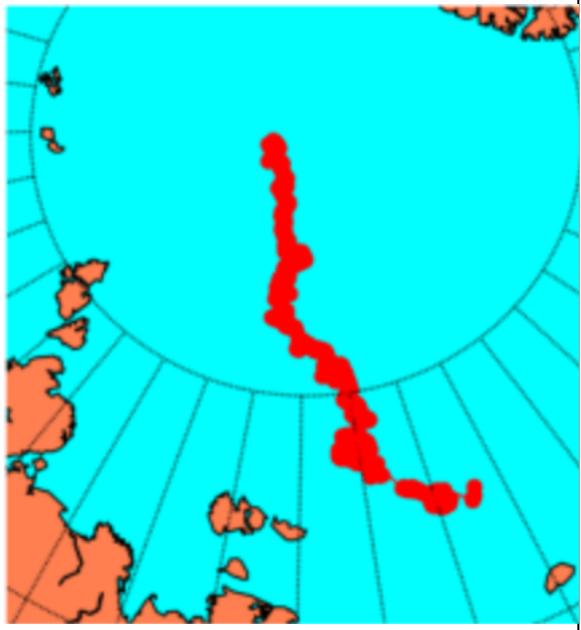
3.6 Анализ результатов расчета фрактальной размерности

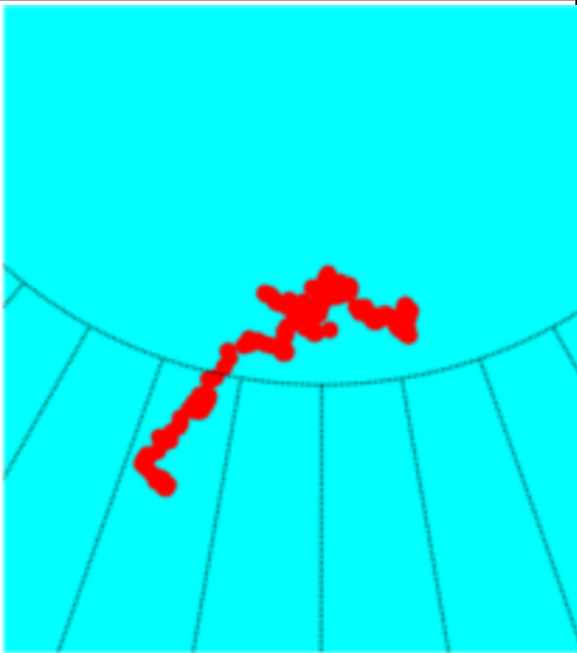
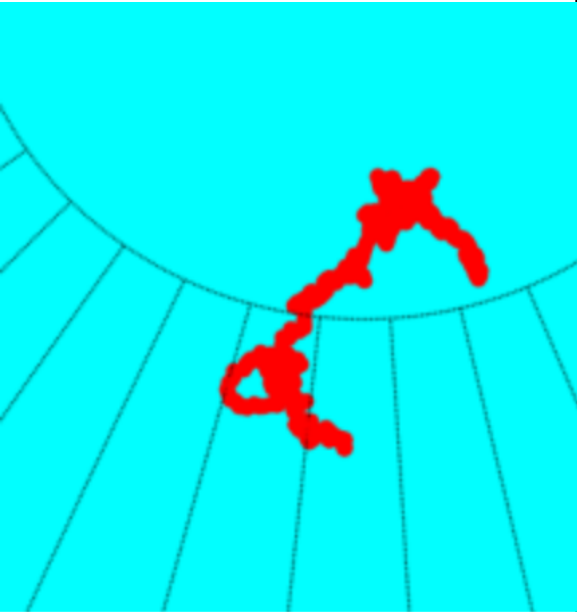
В ходе выполнения программы над всеми данными были получены следующие результаты:

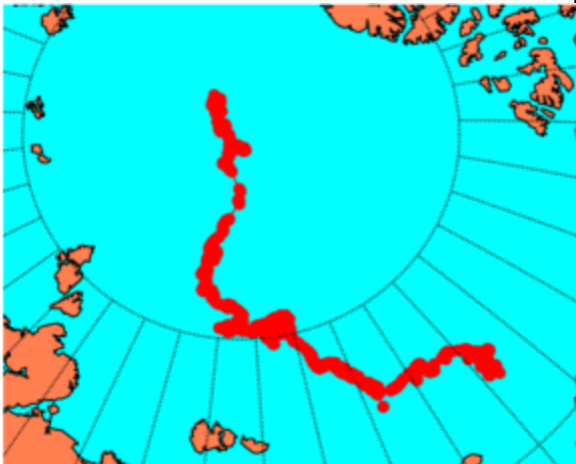
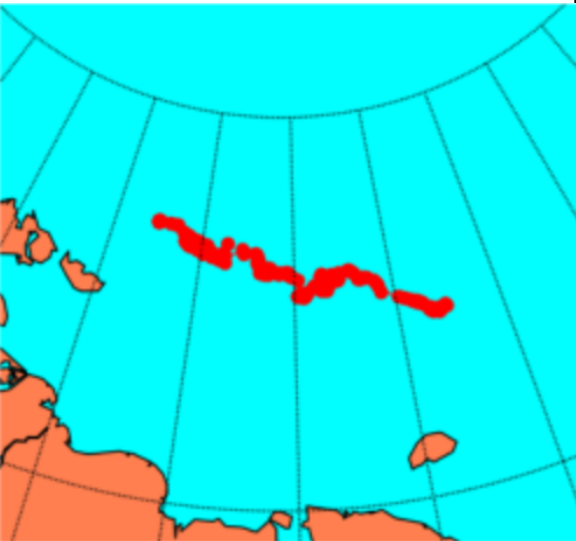
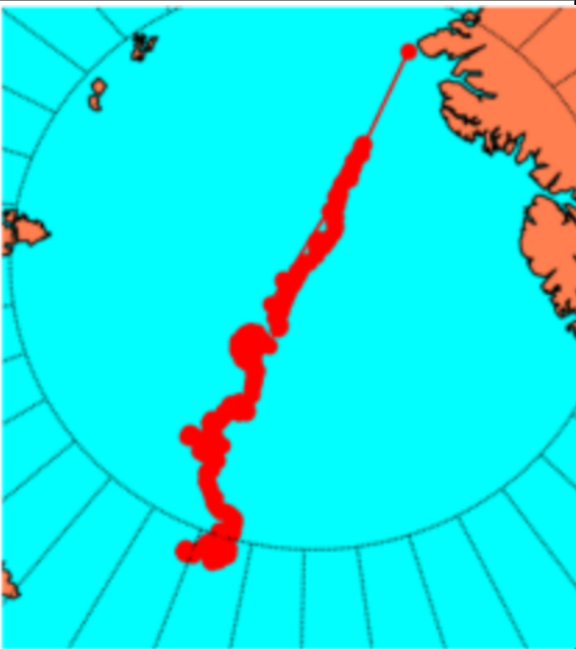
Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
1	1.016	0.961	Линейная	
2	1.115	0.438	Круговая	

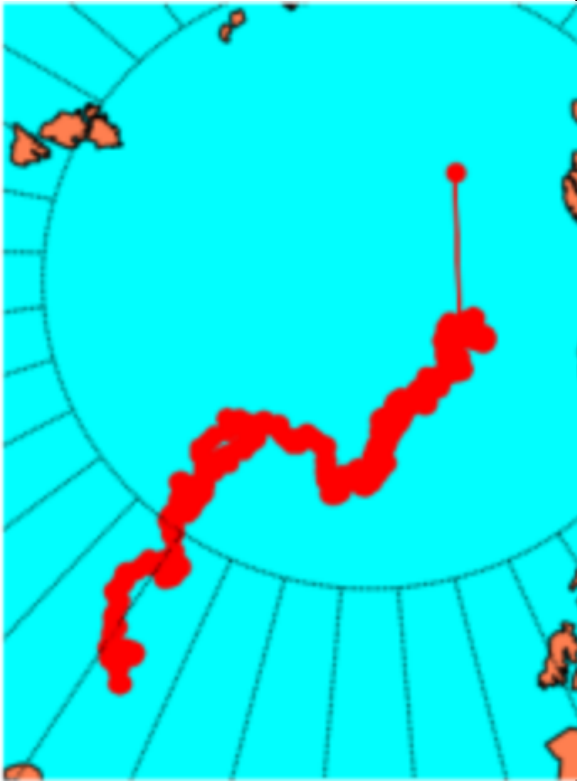
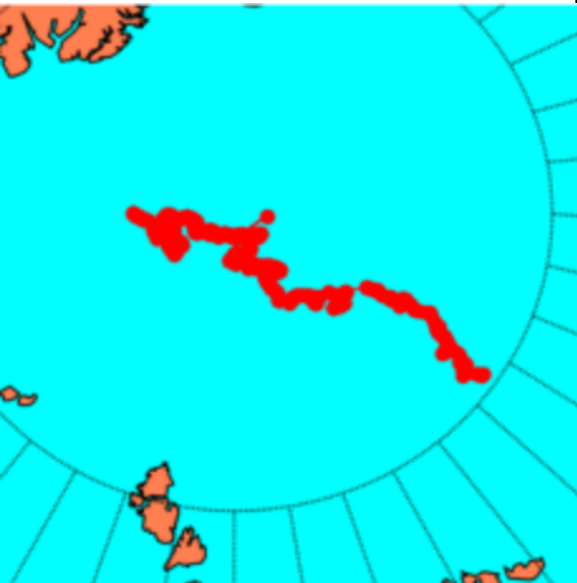
Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
3	1,367	Слишком малый ход	Линейная	
5	1.314	Слишком малый ход	Линейная	
6	1.259	1.285	Линейная	

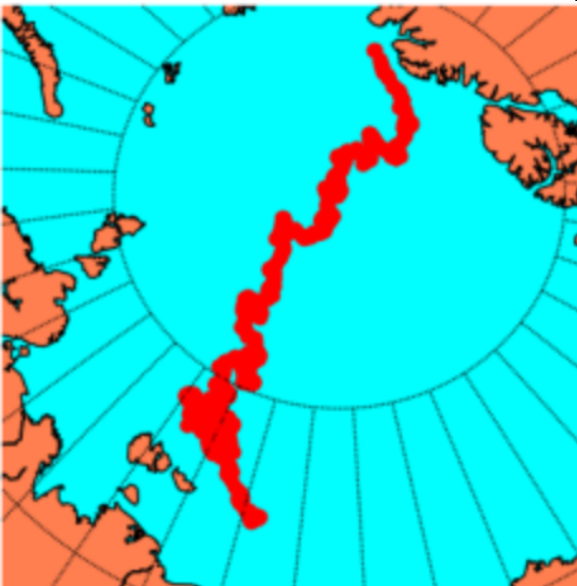
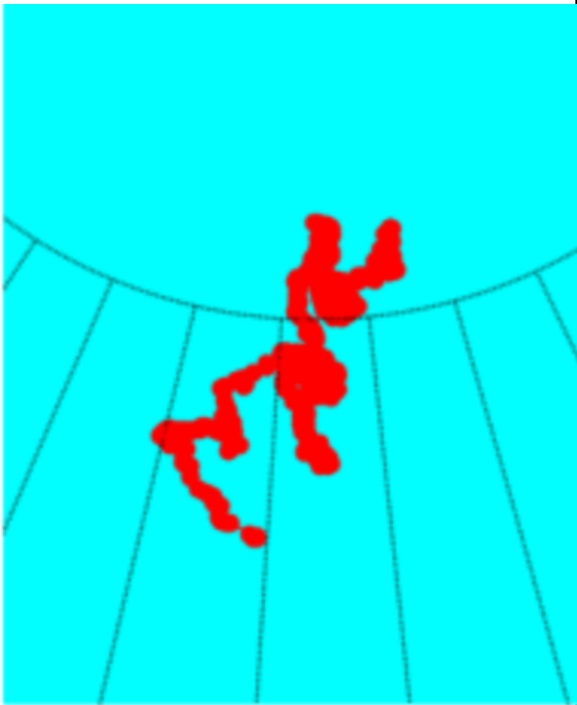
Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
7	1.333	1.161	Линейная	
8	1.210	0.861	Круговая	

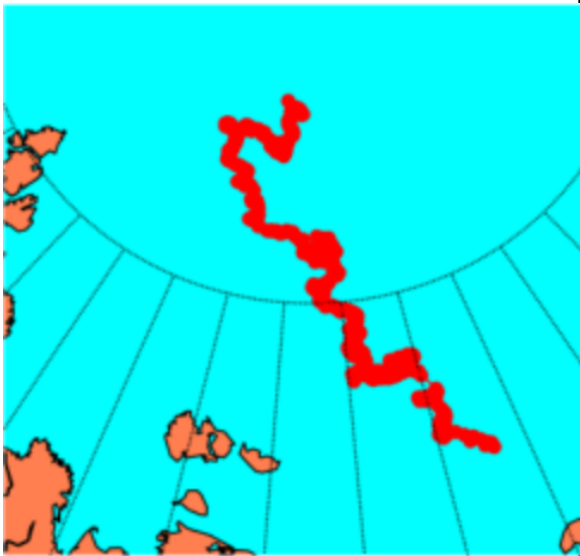
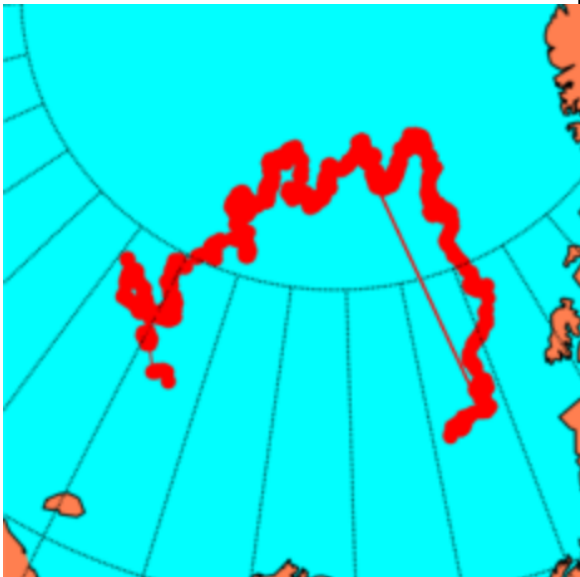
Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
9	1.114	0.682	Линейная	
10	1.314	1.241	Линейная	

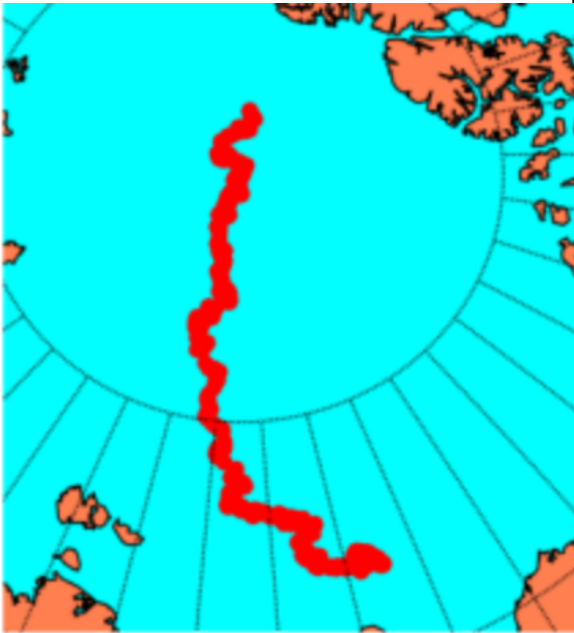
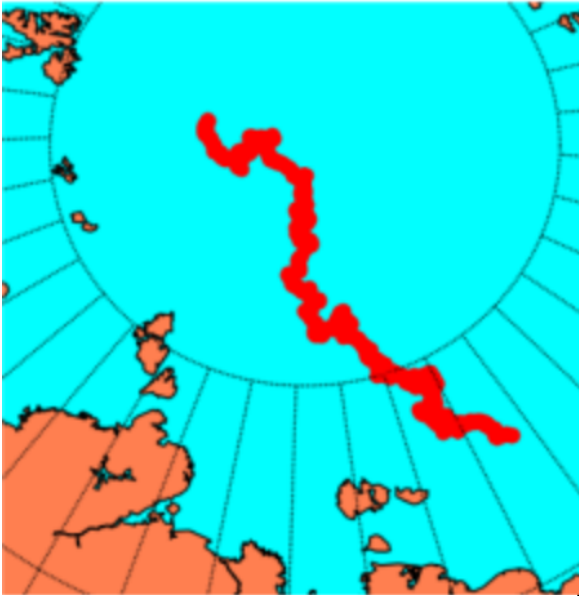
Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
11	1.268	0.646	Круговая	
12	1.254	0.682	Круговая	

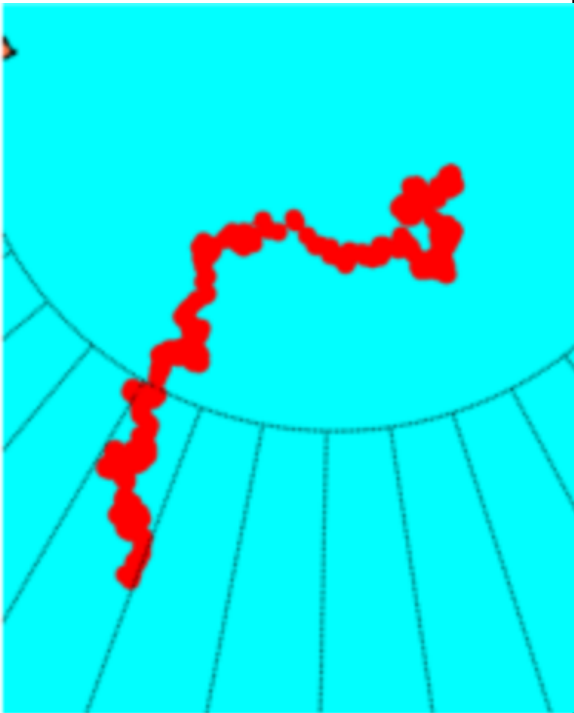
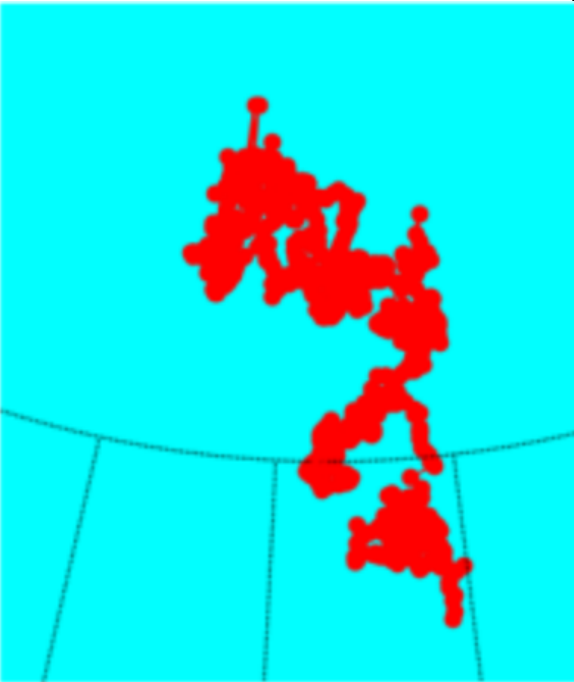
Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
13	1.280	1.244	Линейная	
14	1.424	Слишком малый ход	Смешанная	
15	1.306	1.454	Линейная	

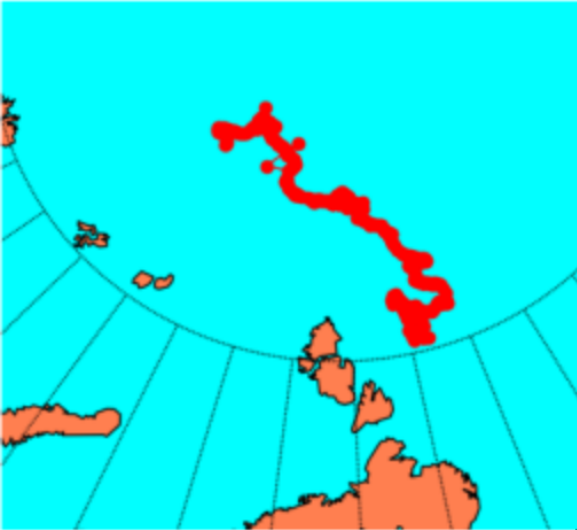
Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
16	1.251	1.402	Смешанная	
17	1.236	1.095	Линейная	

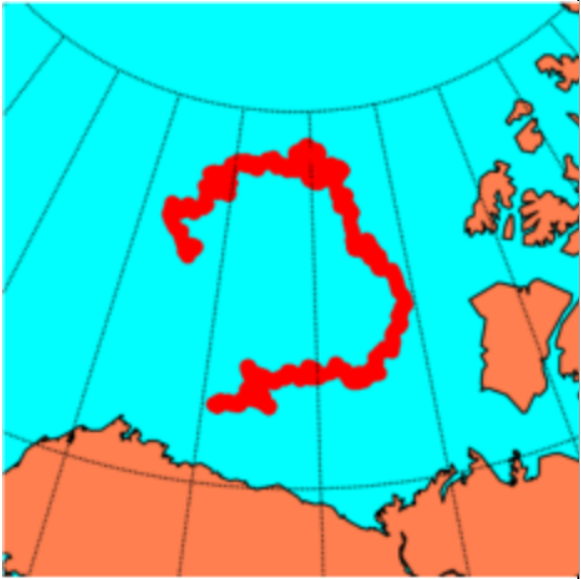
Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
18	1.308	1.428	Линейная	
20	1.311	0.604	Круговая	

Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
21	1.303	1.436	Линейная	
22	1.241	0.890	Смешанная	

Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
23	1.265	1.215	Линейная	
24	1.276	1.175	Линейная	

Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
25	1.248	1.408	Смешанная	
26	1.272	0.499	Смешанная	

Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
28	1.311	1.209	Линейная	
29	1.287	0.897	Линейная	
30	0.844	0.885	Круговая	

Номер станции	Фрактальная размерность		Тип	Траектория
	box_size = 0.5	box_size = 5		
31	1.158	0.744	Круговая	

1. ГИСТОГРАММЫ

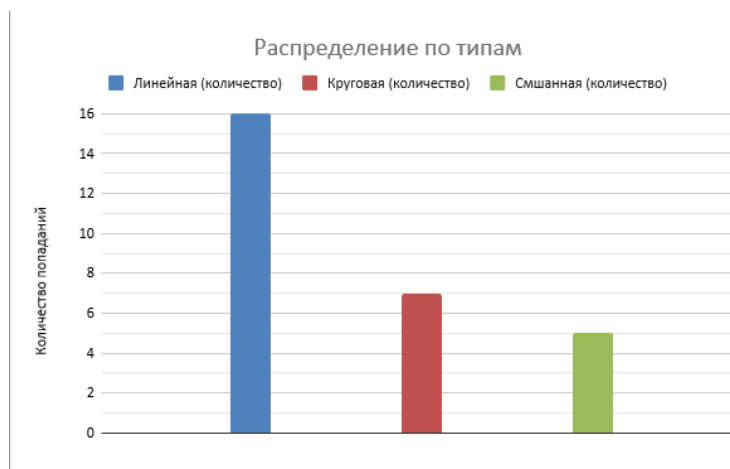


Рисунок 1 - Гистограмма распределения траекторий по типам по Угрюмову.

На гистограмме (рис. 1) видно, что к линейному типу относится наибольшее количество траекторий (16), почти в два раза меньше (7) - к круговой, а к смешанной - всего 5 траекторий.

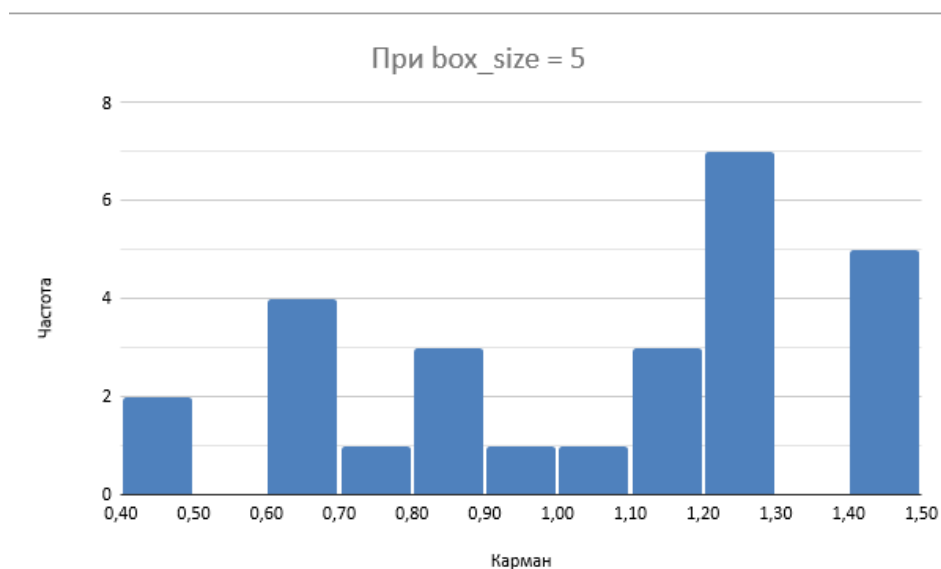


Рисунок 2 - Гистограмма распределения фрактальных размерностей для значений, рассчитанных при $\text{box_size} = 5$

На гистограмме (рис. 2) не видно четкой тенденции распределения и значения распределены примерно поровну между менее и более единицы.

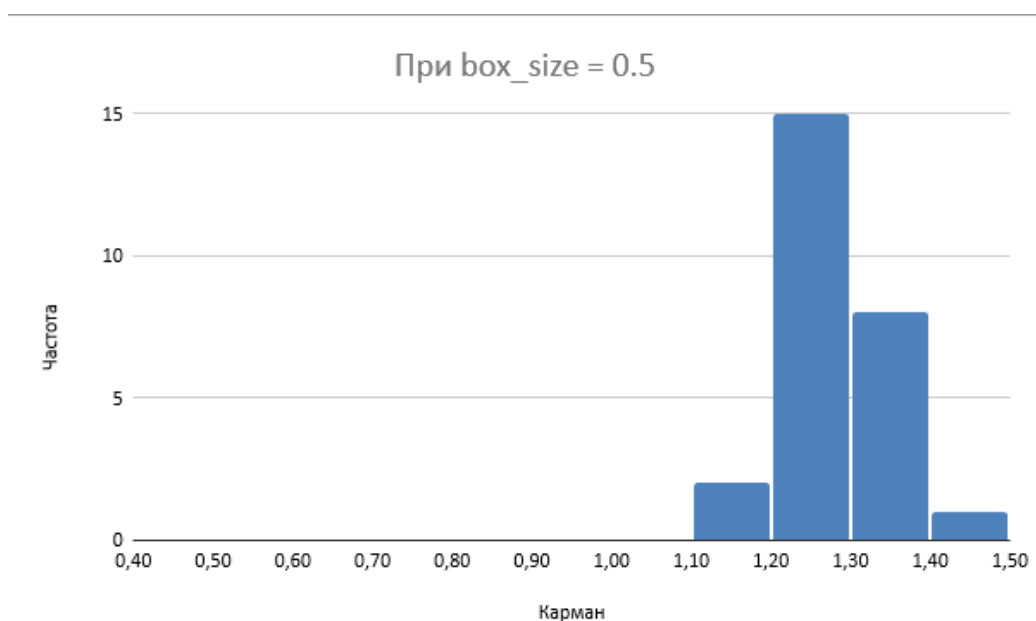


Рисунок 3 - Гистограмма распределения фрактальных размерностей для значений, рассчитанных при $\text{box_size} = 0.5$

По гистограмме (рис. 3) можно сказать, что фрактальная размерность при $\text{box_size} = 0.5$ не принимала значений меньше единицы. Самое частое попадание было в карман 1,2, как и в случае с $\text{box_size} = 5$

- По полученным графикам можно сделать вывод, что при уменьшении размера ячейки фрактальная размерность в среднем имеет значение 1,26025. Это говорит о фрактальной непредсказуемой структуре траектории при рассмотрении мелкого масштаба.

В то же время при большом размере ячейки (5) фрактальная размерность часто занимает значения меньше единицы. Значение меньше единицы указывает на то, что траектория заполняет пространство менее, чем вся доступная ей размерность. Это может означать, что траектория имеет некоторые пустые области или структуры, которые не заполняются точками. Это говорит о невозможности программы посчитать значения, когда траектория занимает слишком малое количество ячеек. Можно сделать вывод о том, что размер ячейки использовался слишком большой и фрактальный характер в данном масштабе было невозможно подсчитать. Для значений, среди величин при размере ячейки 5, которые превышают единицу, справедливо сделать вывод о том, что они имеют высокую протяженность в пространстве.

2. СТОЛБЧАТЫЕ ГРАФИКИ

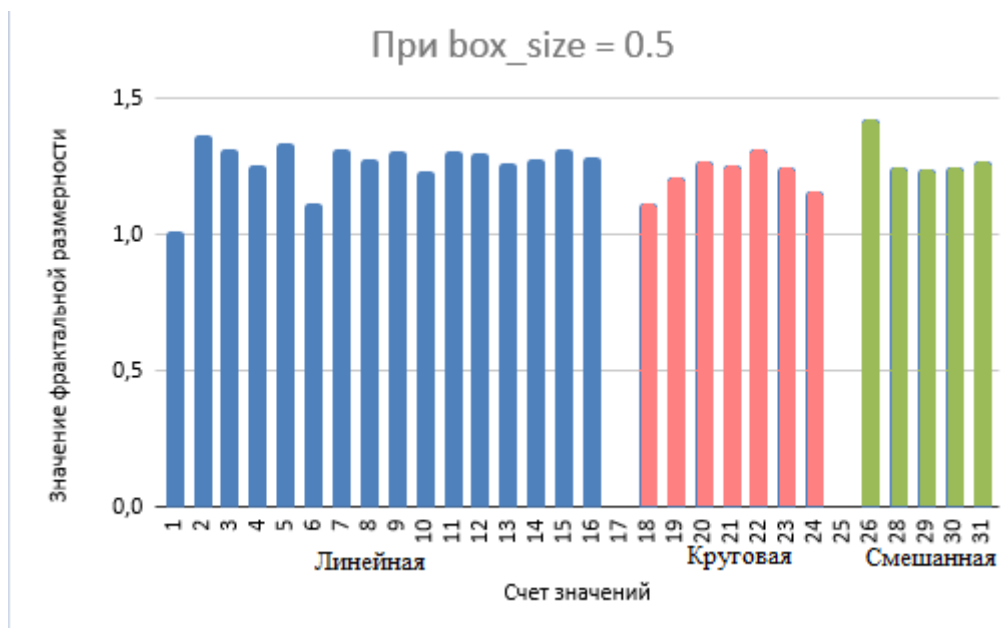


Рисунок 4 - Значение фрактальной размерности При $\text{box_size} = 0.5$ в зависимости от типа дрейфа по Угрюмову.

На этом графике (рис. 5) нет явных выбросов или сильных различий в значениях.

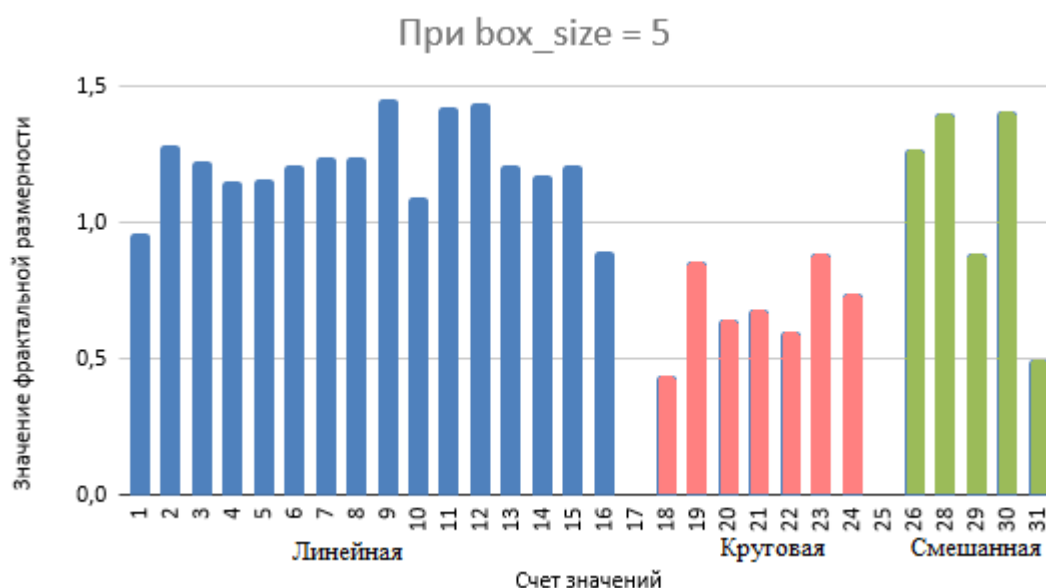


Рисунок 5 - Значение фрактальной размерности При $\text{box_size} = 5$ в зависимости от типа дрейфа по Угрюмову.

На этом графике (рис. 5) хорошо видна зависимость фрактальной размерности от типа траектории.

- Исходя из графиков можно сделать вывод о том, что при малом (0.5) размере ячеек между классификацией дрейфа по Угрюмову и фрактальной размерностью нет явной зависимости. На графике с размером бокса 5 видна некоторая зависимость. В случае линейной траектории большинство (14/16) значений фрактальной размерности принимают значения выше единицы (среднее значение - 1,1788125), что может говорить о большой протяженности траектории или ее линейности. Круговые траектории принимают значения меньше единицы, в среднем - 0,6942857143. Можно сделать вывод о малой протяженности траекторий станций с таким типом дрейфа. Смешанный тип не имеет очевидных закономерностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы я раскрыл тему полярных дрейфующих станций. В том числе их историю, назначение и основные положения об их дрейфе. Была изучена тема фракталов и фрактального анализа. В практической части была написана программа для удобного и наглядного расчета фрактальной размерности методом подсчета ячеек. Для вычислений были выбраны размеры ячеек 0.5 и 5, так как они такие значения лучше всего подходили для описания мелкомасштабных и крупномасштабных тенденций дрейфа с учетом необходимости сравнения траекторий разных станций между друг другом.

В итоге я смог сделать вывод о том, что по фрактальной размерности можно судить о преобладающем механизме движения льда. При большом размере ячейки мелкомасштабное (присущие круговой траектории) движение не определяется фрактальной размерностью, что приводит к получению размерностей менее единицы.

Для дальнейшего изучения рекомендуется прибегнуть к расчету мультифрактальной размерности. В ходе работы и приобретенном опыте я сделал вывод о том, что, предположительно, мультифрактальная размерность даст много потенциально полезной информации о структуре дрейфа и влияющих на него факторов. Это может помочь оптимизировать методы прогнозирования и классификации дрейфов.

В целом, фрактальный анализ траекторий дрейфа полярных станций представляет собой важный инструмент для изучения и понимания сложных геофизических процессов в полярных регионах. Этот подход может принести ценные научные и практические результаты, способствуя развитию наших

знаний о природе полярных регионов и их влиянии на глобальную систему климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ivan E. Frolov, Zalman M. Gudkovich, Vladimir F. Radionov, Alexander V. Shirochkov, Leonid A. Timokhov The Arctic Basin: Results from the Russian Drifting Stations / Ivan E. Frolov, Zalman M. Gudkovich, Vladimir F. Radionov, Alexander V. Shirochkov, Leonid A. Timokhov — . — : , 2005 — 305 с.
2. А. И. Угрюмов, В. П. Коровин НА ЛЬДИНЕ К СЕВЕРНОМУ ПОЛЮСУ. История полярных дрейфующих станций / А. И. Угрюмов, В. П. Коровин — . — : ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, 2004 — 126 с.
3. Николай Зубов Льды Арктики [Текст] / Николай Зубов — . — : Главсевморпути, 1948 — 391 с.
4. Jian Li , Qian Du, Caixin Sun An improved box-counting method for image fractal dimension estimation / Jian Li , Qian Du, Caixin Sun // Pattern Recognition. — 2009. — № 42. — С. .
5. Божокин, С. В. Фракталы и мультифракталы [Текст] / С. В. Божокин — . — : Ижевск: НИЦ, 2001 — 128 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ЛИСТИНГ ПРОГРАММЫ

```
from mpl_toolkits.basemap import Basemap
import matplotlib.pyplot as plt
import tkinter as tk
from tkinter import filedialog
import pandas as pd
import numpy as np
import csv
from PIL import Image, ImageTk
import sys

def filemuta():
    file_path = filedialog.askopenfilename()
    print("file loaded")
    # Open the input and output files
    def conv_to_csv(file_path):
        with open(file_path, 'r') as infile, open('data1.csv', 'w', newline='') as outfile:
            # Create a CSV writer object
            writer = csv.writer(outfile)

            # Loop through each line in the input file
            for line in infile:
                # Split the line into columns based on spaces
                columns = line.split()

                # Check if the line has all 6 columns
                if len(columns) == 6:
                    # Extract the values from the columns
                    year = columns[0][:2] + columns[0][3:]
                    month = columns[1]
```

```

day = columns[2]
time = columns[3]
latitude = columns[4][:2] + ' ' + columns[4][2:4] + ' ' + columns[4][4:]

# Check the length of the longitude column
if len(columns[5]) == 6:
    # Extract the values from the column
    longitude = columns[5][:3] + ' ' + columns[5][3:5] + ' ' + columns[5][5:]
else:
    # Replace spaces before minutes with zeros
    if len(columns[5]) == 5:
        columns[5] = '0' + columns[5]
    elif len(columns[5]) == 4:
        columns[5] = '00' + columns[5]
    elif len(columns[5]) == 3:
        columns[5] = '000' + columns[5]
    # Extract the values from the modified column
    longitude = columns[5][:3] + ' ' + columns[5][3:5] + ' ' + columns[5][5:]

# Write the values to the output file
writer.writerow([year, month, day, time, latitude, longitude])
print("data converted to csv format")

def deci(degrees, minutes, tenths_of_minutes):
    decimal = float(degrees) + float(minutes)/60 + float(tenths_of_minutes)/600
    return round(decimal, 6) # Round to 6 decimal places

def conv_to_deci():
    with open('data1.csv', 'r') as csvfile:
        reader = csv.reader(csvfile)

        rows = []
        for row in reader:

```

```

# Extract latitude and longitude values from columns 5 and 6
lat_degrees, lat_minutes, lat_tenths = row[4].split()
lon_degrees, lon_minutes, lon_tenths = row[5].split()

# Convert latitude and longitude to decimal degrees
latitude = deci(lat_degrees, lat_minutes, lat_tenths)
longitude = deci(lon_degrees, lon_minutes, lon_tenths)

# Replace latitude and longitude values in the row
row[4] = f'{latitude:.6f}'
row[5] = f'{longitude:.6f}'

rows.append(row)
print("all coords converted to decimals")
# Write the updated data back to the file
with open('data1.csv', 'w', newline=") as csvfile:
    writer = csv.writer(csvfile)
    writer.writerows(rows)
    print("file w converted coord saved as data1.csv in the program launch directory")

conv_to_csv(file_path)
conv_to_deci()
print("Done!")

def map():
    # Create file dialog
    file_path = filedialog.askopenfilename()

    data = pd.read_csv(file_path, header=None, names=['year', 'month', 'day', 'time', 'latitude',
'longitude'])

    # Convert the year to a four-digit year
    data['year'] = data['year'].apply(lambda x: int(x) + 1900)

```

```

# Combine the date and time columns into a single datetime column
datetime = pd.to_datetime(data[['year', 'month', 'day']])
data = data.assign(datetime=datetime)
data['datetime'] += pd.to_timedelta(data['time'], unit='h')

# Sort the data by datetime
data = data.sort_values(by='datetime')

data['longitude'] = np.where(data['longitude'] < 180, data['longitude'], data['longitude'] - 360)

def avg(col_index):
    with open(file_path, 'r') as f:
        reader = csv.reader(f)
        col_values = [float(row[col_index]) for row in reader]

    # find the average of the values in the list
    avg_value = sum(col_values) / len(col_values)

    if avg_value <= 180:
        avg_value
    else:
        avg_value = avg_value - 360

    return avg_value

lon_0_value = avg(5)

# Create a Basemap instance
map = Basemap(projection='ortho', lon_0=lon_0_value, lat_0=70,
               resolution='l')
map.drawcoastlines()
map.fillcontinents(color='coral', lake_color='aqua')
map.drawmapboundary(fill_color='aqua')
parallels = np.arange(0., 90, 10.)

```

```

# labels = [left,right,top,bottom]
map.drawparallels(parallels,labels=[True,True,False,False])
meridians = np.arange(00.,360.,10.)
map.drawmeridians(meridians,labels=[False,False,True,True])

# Convert the latitude and longitude coordinates to map coordinates
x, y = map(data['longitude'].values, data['latitude'].values)

# Plot the station locations as red dots
map.plot(x, y, color='red', linewidth=1)
map.scatter(x, y, color='red')

# Show the plot
plt.show()

def frac():

    file_path = filedialog.askopenfilename()

    def box_counting_dim(coords, box_size):
        min_x, min_y = np.min(coords, axis=0)
        max_x, max_y = np.max(coords, axis=0)

        x_box_count = int(np.ceil((max_x - min_x) / box_size))
        y_box_count = int(np.ceil((max_y - min_y) / box_size))

        boxes = np.zeros((x_box_count, y_box_count))

        for x, y in coords:
            box_x = int((x - min_x) / box_size)
            box_y = int((y - min_y) / box_size)
            boxes[box_x, box_y] += 1

```



```

box_counts = []
sizes = []

for box_dim in range(1, min(x_box_count, y_box_count)):
    box_counts.append(count_boxes(boxes, box_dim))
    sizes.append(box_size * box_dim)

coeffs = np.polyfit(np.log(sizes), np.log(box_counts), 1)
return coeffs[0], boxes

def count_boxes(boxes, box_dim):
    dim_sum = 0

    for x in range(boxes.shape[0] - box_dim + 1):
        for y in range(boxes.shape[1] - box_dim + 1):
            dim_sum += np.sum(boxes[x:x+box_dim, y:y+box_dim] > 0)

    return dim_sum

# Координаты станций
df = pd.read_csv(file_path)

# Извлечение координат из соответствующих столбцов
x_coords = df.iloc[:, 4].tolist() # 5-й столбец, индекс 4 в Python начинается с 0
y_coords = df.iloc[:, 5].tolist() # 6-й столбец, индекс 5 в Python начинается с 0

# Объединение координат в список списков
coords = [[x_coords[i], y_coords[i]] for i in range(len(x_coords))]

# Размер квадрата
box_size = 2.5

# Расчет фрактальной размерности
dim, boxes = box_counting_dim(coords, box_size)

```

```

# Вывод результата
print('Фрактальная размерность:', dim)
#print('arr:', coords)

# Построение графика зависимости log(N) от log(r)
box_counts = []
sizes = []
for box_dim in range(1, 20):
    box_counts.append(count_boxes(boxes, box_dim))
    sizes.append(box_size * box_dim)
log_box_counts = np.log(box_counts)
log_box_counts[log_box_counts == -np.inf] = 0
plt.plot(np.log(sizes), log_box_counts, 'o')
plt.xlabel('log(r)')
plt.ylabel('log(N)')
plt.show()

class ConsoleOutput:
    def __init__(self, console):
        self.console = console

    def write(self, message):
        self.console.insert(tk.END, message)
        self.console.see(tk.END)

root = tk.Tk()
root.title("Fractal analysis")
root.geometry("700x335")
root.resizable(width=False, height=False)
root.configure(bg='white')
root.iconbitmap("rshu.ico")
frame = tk.Frame(root)
frame.grid()

```

```

filebutton = tk.Button(text="Отформатировать данные", command = filemuta)
filebutton.grid(row=1,column=1,pady=(30,0),padx=(10,0))

mapbutton = tk.Button(text="Показать карту", command = map)
mapbutton.grid(row=2, column=1,pady=(10,0),padx=(10,0))

fractalbutton = tk.Button(text="Рассчитать фрактальную размерность", command = frac)
fractalbutton.grid(row=3, column=1,pady=(10,0),padx=(10,0))

label = tk.Label(text="ksanikavada",bg="gray")
label.place(x=0,y=315)

image = Image.open("rshu.png")

resize_image = image.resize((120, 120))
img = ImageTk.PhotoImage(resize_image)

pic = tk.Label(image=img)
pic.grid(row=1,column=2,rowspan=3,padx=(50,0),pady=(30,0))

console = tk.Text(root, height=10, width=50)
console.grid(row=4,column=2, padx=50, pady=10)

sys.stdout = ConsoleOutput(console)
sys.stderr = ConsoleOutput(console)

root.mainloop()

```