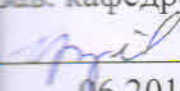


Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(РГГМУ)

Допущен к защите

Кафедра океанологии

Зав. кафедрой д.ф.-м. н., профессор

 В.А. Царёв

06.2016

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ
Геоманнитные вариации в зоне Южного
океана и оценка возможности их
использования как индикатора
гидрофизических процессов (по
экспериментальным данным)

Выполнил

Д.А. Игнатов,

гр. О – 65

Руководитель

д.ф.-м.н., профессор

И.А. Степанюк

Санкт-Петербург 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(РГГМУ)

Допущен к защите

Кафедра океанологии

Зав. кафедрой д.ф.-м. н., профессор

_____ В.А. Царёв

_____.06.2016

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ
Геоманнитные вариации в зоне Южного
океана и оценка возможности их
использования как индикатора
гидрофизических процессов (по
экспериментальным данным)

Выполнил Д.А. Игнатов,
гр. О – 65

Руководитель д.ф.-м.н., профессор
И.А. Степанюк

Санкт-Петербург 2016

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Сокращения	4
Введение	5
1. Обзор	9
1.1 Физико-географическое описание региона	9
1.1.1 Общая информация о регионе	9
1.1.2 Особенности течений и ветров	10
1.1.3 Особенности ледовой обстановки	12
1.1.4 Особенности рельефа дна	13
1.2 Методы измерений изменчивости геомагнитных характеристик на ст. Новолазаревская (Антарктида)	15
1.3 Методы сопутствующих измерений	18
1.4 Изменчивость геомагнитных характеристик как возможный индикатор гидрофизических процессов в Южном океане	21
1.4.1 Связь вариаций южной атмосферной циркуляции и космическая погода [2004]	23
1.4.2 Отклик метеопараметров нижней атмосферы в Антарктике на вариации вертикальной составляющей межпланетного магнитного поля [2005]	25
1.4.3. Роль солнечной активности в формировании аномального течения Эль-Ниньо [2007]	26
1.4.4. Влияние геомагнитной и вулканической активности на явления Эль-Ниньо и Ла-Нина [2009]	27
2. Материалы и методика анализа	28
2.1. Ежесуточные данные по изменчивости геомагнитных характеристик на ст. Новолазаревская	29
2.2. Данные о характеристиках ветра на ст. Новолазаревская за период наблюдений ГМВ	36

2.3. Данные о температуре воздуха на ст. Новолазаревская за период наблюдений ГМВ	42
2.4. Данные Ар-индексов и ледовитости вод Антарктики за период 1979-2003 гг.	47
2.5. Методики обработки данных	48
3. Результаты анализа	49
3.1. Анализ ежесуточных экспериментальных данных ГМВ на ст. Новолазаревская и их сравнение с A_p -индексами геомагнитной возмущенности	50
3.2. Анализ связи между ГМВ и характеристиками ветра с купола Антарктиды в летнее время	56
3.3. Анализ связи между Ар-индексом и ледовитостью вод Антарктики	54
Заключение	70
Список используемых источников	73

СОКРАЩЕНИЯ

СА – солнечная активность;

МПЗ – магнитное поле Земли;

ГМВ – геомагнитные вариации;

МВС – магнитно-вариационная станция;

ММП – межпланетное магнитное поле;

ААНИИ – Арктический и Антарктический Научно-Исследовательский
Институт;

РАЭ – Российская Антарктическая Экспедиция.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в приполярных регионах практически не ведется учет вариаций геомагнитного поля. В учебниках и учебных пособиях магнитное поле Земли (МПЗ) и геомагнитные вариации (ГМВ) рассматриваются преимущественно с позиций формирования электрических полей в море из-за течений и поверхностного волнения [1,2]. Их влияние на какие-либо иные характеристики гидрофизического режима акваторий обычно не рассматривается. По-видимому, потому, что трудно представить какой-либо прямой механизм воздействия – слишком несопоставимы энергетические характеристики геомагнитных вариаций и гидрофизических процессов. Однако можно предположить роль ГМВ как некоторого индикатора такого мощного процесса как солнечная активность (СА).

Роль солнечной активности как исходного возмущающего фактора невозможно отрицать. Связям гидрофизических характеристик с СА посвящено много работ, и их здесь трудно перечислить. Обычно анализируются статистические связи конкретных характеристик с СА, и предполагаемый при этом физический механизм заключается в том, что при изменениях СА изменяется поток солнечной радиации, попадающий на Землю.

Однако в некоторых работах, обзор которых выполнен в первой главе проекта, ищется опосредованная связь некоторых гидрофизических процессов, причем конкретно – в Южном океане, с солнечной активностью через меняющиеся атмосферные характеристики над куполом Антарктиды. Такая опосредованная связь усматривается в изменении прозрачности атмосферы.

Физический механизм изменения прозрачности связан с возрастанием потока частиц от Солнца («солнечного ветра»). Вследствие специфического строения магнитосферы Земли этот поток отклоняется к полюсам, создавая некоторую «замутненность». Из-за этого в летнее время уменьшается приход солнечной радиации к поверхности приполярных акваторий.

Солнечная активность, характеризуемая числами Вольфа, не всегда воздействует на магнитосферу Земли. Выбросы солнечного вещества могут уходить в сторону. В таком случае можно полагать, что более показательной характеристикой «замутненности» атмосферы в приполярных зонах является не сама по себе солнечная активность, определяемая по астрофизическим наблюдениям, а геомагнитная возмущенность на Земле, поскольку именно она вызывается потоком высокоэнергетических частиц от Солнца.

Целью настоящего дипломного проекта является выявление закономерностей геомагнитных возмущений в зоне Южного океана по экспериментальным данным и поиск связи некоторых гидрофизических характеристик с этой возмущенностью.

Для этого решались следующие задачи:

1. Проведение экспериментальных наблюдений за характеристиками геомагнитной возмущенности на ст. Новолазаревская (Антарктида).
2. Формирование базы данных для последующего анализа.
3. Выявление связи фактических экспериментальных данных по ГМВ с планетарными индексами.
4. Выявление связи между метеорологическими характеристиками (ветер, температура) на ст. Новолазаревская и фактическими ГМВ.
5. Поиск связи между ледовитостью морей Южного океана и геомагнитной возмущенностью.

Проект выполнялся на ст. Новолазаревская (Антарктида) и в экспериментальной океанологической лаборатории РГГМУ.

1. Обзор

1.1. Физико-географическое описание региона

1.1.1. Общая информация о регионе

«Южный океан» - понятие новое. До недавнего времени географы выделяли на Земле четыре океана: Атлантический, Индийский, Тихий и Северный Ледовитый. Считалось, что первые три простираются до Антарктиды.

Впервые Южный океан выделил в 1650 году голландский географ Бенхард Варениус. Он включил в него как не открытый пока европейцами «южный материк», так и все области выше южного полярного круга. Термин «Южный океан» появлялся на картах в XVIII веке, когда начались регулярные исследования региона. Под именем «Южного Ледовитого океана» подразумевали обыкновенно, согласно границам, установленным в 1845 году Королевским географическим обществом в Лондоне, пространство, ограниченное южным полярным кругом и простирающееся от него к южному полюсу до пределов Антарктического континента. В публикациях Международной гидрографической организации Южный океан из состава Атлантического, Индийского и Тихого был выделен в 1937 году. Этому было своё объяснение: в южной своей части границы между тремя этими океанами весьма условны, и в то же время воды, прилегающие к Антарктиде, имеют свою специфику, а также объединены Антарктическим циркумполярным течением. Однако впоследствии от выделения обособленного Южного океана отказались.

Постепенное накопление знаний об особенностях океанов южного полушария и в основном данные, полученные за последние 30–40 лет, позволили всё-таки выделить южные области этих трёх океанов в пятый океан – Южный (с конца XX века Южный океан подписывается на картах и в атласах,

изданных Роскартографией.[3] В частности, он подписан в 3-м издании фундаментального Атласа мира и в других атласах, изданных уже в XXI веке). Особенности этого океана состоят главным образом в характере гидрологических и метеорологических явлений, присущих в одинаковой степени южным частям Атлантического, Индийского и Тихого океанов и не свойственных этим океанам в их субтропической, тропической и северной частях.[4]

1.1.2. Особенности течений и ветров

Северной границей Южного океана является пояс сороковых – пятидесятых широт, до которого простираются южные оконечности Африки, Австралии и Южной Америки. Последняя опускается несколько южнее. Эти области имеют свою особенность, не присущую океанам в более северных широтах, – циркумполярное течение, отделяющее южные воды. Это постоянное течение переносит массы воды океана вокруг Земли в восточном направлении. Ширина его изменяется от 550 км в проливе Дрейка до 2.400 км в районе Австралийского сектора. Средняя скорость переноса воды около 1 км/ч, максимальная – 2–2,5 км/ч. Течение это охватывает, в основном, всю толщу океана.

В самых южных областях океана имеется прибрежное антарктическое течение обратного направления, переносящее водные массы в направлении с востока на запад. Впрочем, это течение не строго круговое. Оно прерывается рядом циклонических циркуляций. Там, где эти циркуляции имеют северное и западное направления, поверхностные воды выносятся от побережья на север и северо-восток, где попадают в зону антарктического циркумполярного течения и увлекаются им на восток. Скорость прибрежного течения в среднем от 300 м/ч до 1 км/ч. Его ширина незначительна. Это течение вызывается

постоянными ветрами восточных направлений. В то же время в зоне северного циркумполярного течения ветры постоянно дуют с запада на восток. Эти ветры, как и само течение, как бы обуславливают северную границу Южного океана. Область этой границы характеризуется сильным волнением. «Сороковых ревущих» и «пятидесятых неистовых» широты – так давно окрестили их моряки, всегда встречающиеся в них со штормами. Здесь скорость ветра часто достигает 10–15 м/с и часты штормы со скоростями 25–30 м/с. Обычная высота волн 1,5–2,5 м с периодом 5,5–6 с, но нередко она превышает 15 м и достигает даже 25–35 м при периодах 10–12 с. Как правило, это четко выраженная зыбь. Наибольшее число штормов в зоне западных ветров наблюдается в районе острова Кергелен, южнее Новой Зеландии, Тихоокеанском секторе между 100 и 140° з. д., проливе Дрейка и к юго-востоку от Южных Сандвичевых островов между 20 и 30° з. д.

В зоне восточного переноса океан более спокойный. Высота штормовых волн здесь меньше даже при таких же скоростях ветра и имеет среднее значение 1,5–2 м при 5–6 с в периоде, достигая максимальных величин 10–15 м с периодом 8–10 с в летние месяцы и 20 м с периодом 11 с зимой. Наиболее штормовая часть этой области океана – восточная половина Индийского сектора.

У самых берегов Антарктиды часто развивается сильное короткопериодическое ветровое волнение с малой высотой волн, вызванное штормовыми стоковыми ветрами, достигающими скоростей 30–40 м/с. Обычная же их скорость составляет 15 м/с.

Течения, особенно восточное прибрежное, ветры и крутая зыбь западных ветров, в значительной мере определяют ледовый режим прибрежных морей, состояние припая и перемещения айсбергов.

Характер водной циркуляции и ветров определяет и величину приливов у берегов Антарктиды, высота которых в разные периоды и в разных районах изменяется от 0,4 до 3,5 м со скоростями приливно-отливных течений от 0,5 до 1 км/ч. Южный океан имеет особенности и в степени солености воды, и в

химическом составе. У берегов Антарктиды Южный океан образует ряд заливов, порой столь больших, что они получили название морей. Это всегда открытые моря. Самое большое, протянувшееся от 60 до 20° з. д. и вдающееся в глубь материка до 25° ю. ш., — море Уэдделла. Далее на восток следуют моря: Лазарева, Рисер-Ларсена, Космонавтов, Содружества, Дейвиса, Моусона, Дюрвиля, Сомова, Росса, Амундсена, Беллинсгаузена, Скоша. Все эти моря в осенний и зимний периоды находятся целиком подо льдом. Лед покрывает и часть океана, доходя до 60° ю. ш.

1.1.3. Особенности ледовой обстановки

Льды — одна из наиболее характерных черт природы Южного океана. Они существуют круглогодично. Во время максимального развития (сентябрь–октябрь) льды занимают площадь 18–19 млн км², а в летнее время (январь–февраль) — лишь 2–3 млн км².

Здесь встречаются льды морские (припай и дрейфующие), шельфовые и айсберги. К северу от припая располагаются дрейфующие льды. Распределение этих льдов у антарктического побережья неравномерно. Самые крупные ледяные массивы расположены у побережья Западной Антарктиды: в Тихоокеанском секторе (моря Беллинсгаузена и Амундсена), Атлантическом (море Уэдделла). Весьма динамичным и сложно изменяющимся движением дрейфующих льдов характеризуется также район моря Росса. В летний период лед припая и дрейфующие льды взламываются, уносятся в более северную часть океана, где частично тают. Но моря Росса, Уэдделла, Амундсена и Беллинсгаузена, т. е. моря Западной Антарктиды, никогда не очищаются от льда полностью.

Наличие айсбергов — самая значительная особенность Южного океана. Они образуются в результате откалывания прибрежных частей материковых

ледников и шельфовых льдов под действием волн, зыби и цунами. По имеющимся данным, в водах Южного океана ежегодно находятся свыше 200 000 айсбергов. Их средняя длина около 500 м, а высота — 50 м над уровнем моря. Отдельные айсберги имеют длину до 5 км. Большая часть айсбергов тает в течение 3–5 лет. Основная их масса встречается на расстоянии 100–150 км от берега. На удалении до 700 км они встречаются довольно редко. Под влиянием ветра и течения айсберги дрейфуют в прибрежной зоне Антарктиды. Во время дрейфа, со временем, они постепенно разрушаются.

Южный океан с его сложной ледовой обстановкой и для современной техники представляет большие опасности. Примером этого является история, случившаяся с полярным судном «Михаил Сомов» в 1985 году.

1.1.4. Особенности рельефа дна

Южный океан глубокий. Около 77 % его акватории имеет глубины больше 3000 м, а в Южно-Садвичевом желобе глубина превышает 8000 м. Антарктический шельф (мелководная прибрежная часть океана) узкий (в среднем 280 км). Он постепенно погружается до 500 м, до той изобаты, которая в Антарктике принята за границу материковой отмели. Дальше идет круто погружающийся материковый склон, простирающийся до глубин 5000–6000 м. Значительная часть океанических хребтов, отделяющих Антарктическую платформу от других, проходит вблизи границы Южного океана. Это хребет, соединяющий Срединно-Атлантический хребет со Срединно-Индийским и огибающий с юга Африку. Его продолжением является Тихоокеанско-Антарктический срединный хребет, проходящий между Австралией и Антарктидой и далее через весь Тихий океан к Южной Америке, где он соединяется с Чилийским. И, наконец, сложная система рифтов, разломов и хребтов – целая подводная горная страна моря Скоша. Таким образом,

согласно концепции о тектонических плитах, Южный океан обособлен и покрывает в основном Антарктическую плиту.

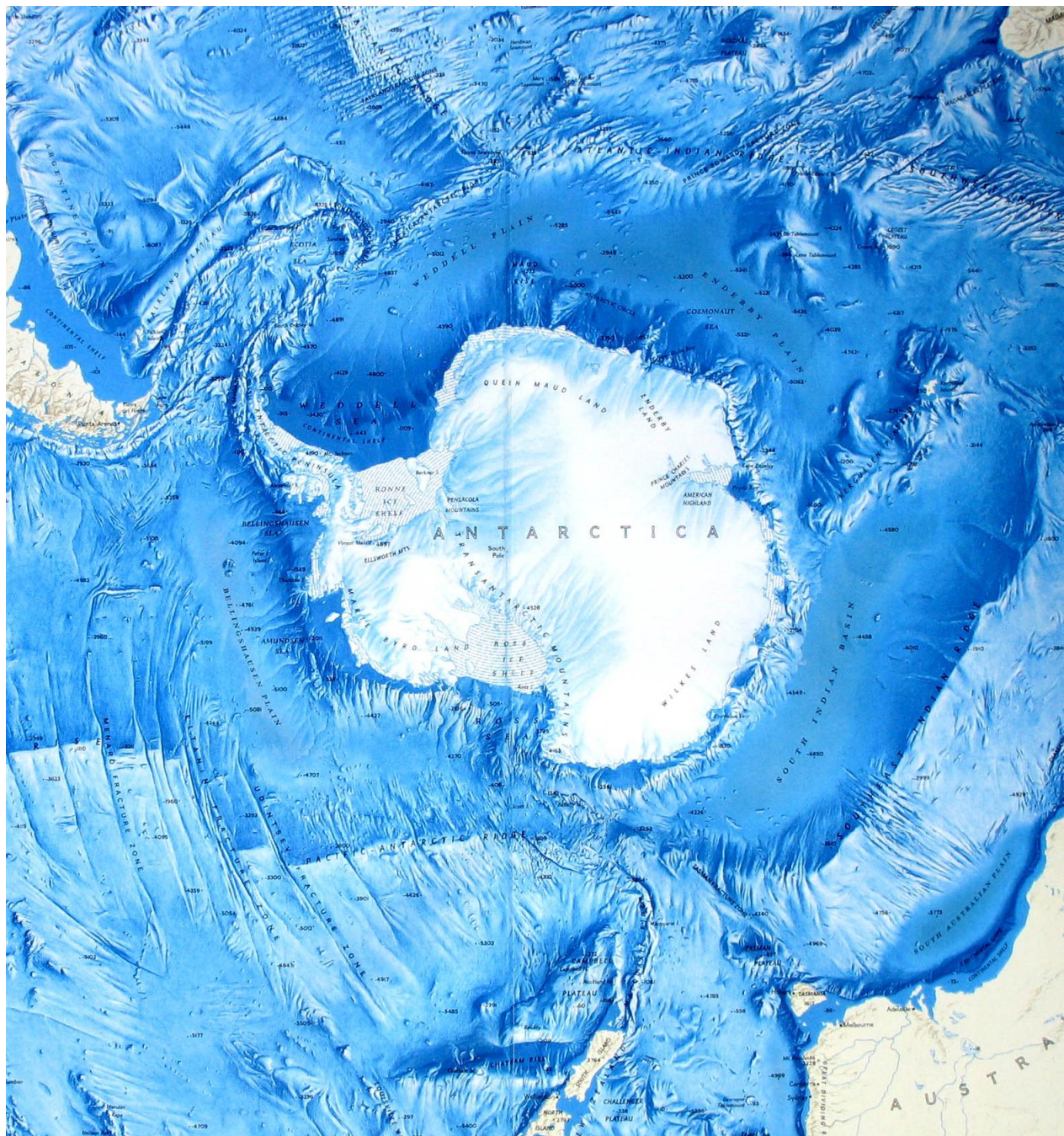


Рисунок 1.1. Рельеф морского дна в зоне Южного океана

1.2. Методы измерений изменчивости геомагнитных характеристик на ст. Новолазаревская (Антарктида)

Новола́заревская — советская, российская антарктическая станция. Была открыта 18 января 1961 года участниками 6-ой Советской Антарктической экспедиции. Станция расположена в юго-восточной части оазиса Ширмахера на побережье Земли Королевы Мод, примерно в 80 км от берега моря Лазарева. Оазис Ширмахера представляет собой свободный ото льда участок оазиса площадью примерно 35 км². К северу от станции простирается шельфовый ледник со слабо волнистой поверхностью, заканчивающейся ледниковым куполом Ленинградским. С юга подходит склон материкового ледникового щита, который уже на расстоянии 50 км достигает высоты 1000 м. На этом склоне надо льдом возвышается несколько нунатаков. Сглаженные холмы оазиса высотой до 221 м разделены ложбинами, в которых располагаются многочисленные озёра. Вдоль северной части оазиса расположены водоёмы, соединённые под шельфовым ледником с морем, о чём свидетельствуют отчётливо выраженные приливные колебания уровня воды.[5]

Климат оазиса Ширмахера относительно мягкий для Антарктики, среднегодовая температура составляет $-10,4^{\circ}\text{C}$, среднегодовая скорость ветра — 9,7 м/с, среднегодовое количество осадков — 264,5 мм, количество солнечных часов в месяц — 350. Высота над уровнем моря составляет 119 метров.[6]

Полярный день в данном районе начинается 15 ноября и заканчивается 28 января. Полярная ночь длится в период с 21 мая по 23 июня.



Рисунок 1.2. Станция Новолазаревская на карте Антарктиды

Для регистрации вариаций составляющих магнитного поля Земли на станции Новолазаревская используется вычислительный комплекс, состоящий из трёхкомпонентной электронно-аналоговой МВС «GEOWRITER» с усилителем, аналого-цифровой платы L-761 (АЦП) и компьютера на базе процессора Pentium. В качестве источника полезного сигнала станции используется три датчика вариаций компонент магнитного поля, расположенные на одной платформе, которая жестко закреплена на фундаменте в вариационном павильоне на расстоянии 50-ти метров от служебно-жилого дома и отрегулирована по горизонтальному уровню. Вариометр D станции ориентирован параллельно магнитному меридиану с точностью не ниже 30', вариометр H - перпендикулярно магнитному меридиану, вариометр Z - вертикально.

За отчетный период по программе геомагнитных наблюдений в автоматическом режиме проводилась непрерывная регистрация вариаций трёх компонент магнитного поля, ежедневно велись работы по обработке цифровых данных МВС и контролю качества магнитограмм, калибровка станции велась автоматически ежедневно в 12:30 GMT с проверкой базисных значений чувствительности МВС, периодически визуально проверялся ход системных часов компьютера по GPS приемнику, контролировалась общая работоспособность вычислительного комплекса и локальной сети, через которую осуществляется передача данных с компьютера-контроллера. Рабочей программой станции является программа Geophys.exe, которая в реальном времени на мониторе компьютера строит графики всех трех компонент магнитного поля и создает четыре текстовых файла с расширениями: CLB – данные калибровки вариометров МВС, ERR – данные о сбоях в программе, MAG – ежесекундные данные D, H и Z вариометров МВС в милливольтках и RIO – данные вариометра в милливольтках. Файлы формируются в течении суток и автоматически закрываются в 00:00 GMT. Обработка файлов велась в соответствии с инструкцией по обработке данных МВС, после чего получалось два файла с расширением: NTL – ежесекундные данные значений D, H и Z

компонент геомагнитных вариаций в нТл, необходимый при обработке данных абсолютных измерений и ENZ – ежеминутные данные значений D, H и Z компонент геомагнитных вариаций в нТл. Ежедневно файл с расширением ENZ архивировался в RAR-формат и отправлялся в отдел геофизики ААНИИ. Последовательно по этим же файлам на каждый день строились графики геомагнитных вариаций МВС в масштабе минус 100...+300 нТл с дальнейшей их распечаткой на листах формата А4.

Характеристики вычислительного комплекса по состоянию на февраль 2012 года:

- трех компонентная магнитовариационная станция «GEOWRITER» института ИЗМИРАН;
- устройство сбора данных 14-разрядная АЦП модели L-761 на шину PCI 2,1 (технические характеристики представлены в руководстве пользователя);
- персональный компьютер на базе процессора Pentium;
- операционная система Windows 98;
- программа регистрации данных Geophys.exe;
- источник бесперебойного питания OptiUPS.

1.3. Методы сопутствующих измерений

Абсолютные наблюдения геомагнитного поля Земли

В период 56 РАЭ сеансы абсолютных наблюдений проводились не менее пяти раз в месяц в магнитоспокойные дни. Для определения горизонтальной составляющей вектора магнитного поля, магнитного склонения и магнитного наклона использовался портативный однокомпонентный магнитометр LEMI-204 с феррозондовым датчиком на теодолите ЗТ2КП. Для определения

горизонтальной H и вертикальной Z компонент вектора геомагнитного поля измерялось магнитное наклонение I магнитометром LEMI-204 и значение модуля полного вектора T квантовым магнитометром КМ-2М. Абсолютные наблюдения и обработка получаемых результатов делались в соответствии с инструкцией по проведению абсолютных наблюдений геомагнитного поля, результаты расчетов сохранялись в виде протоколов сеансов и сводились в таблицу Excel.

Основные технические характеристики магнитометра LEMI-204 №11:

- диапазон измерений	± 60000 нТл;
- разрешающая способность магнитометра	0,1 нТл;
- основная погрешность коэффициента преобразования	$\pm 0,3\%$;
- смещение нуля	< 20 нТл;
- температурный дрейф смещения нуля	$< 0,2$ нТл/°C;
- цифровой интерфейс	RS-232;
- формат данных	ASCII;
- скорость передачи	9600 бит/сек;
- рабочий температурный диапазон	$-10 \dots +60$ °C;
- электропитание от источника постоянного тока	12...16 В, 0,2 А max;
- габаритные размеры	185*153*80 мм;
- масса общая с аккумуляторной батареей	1,2 кг;
- длина соединительного кабеля	1,5 м.

Основные технические характеристики теодолита 3Т2КП №40189:

- погрешность измерения угла одним приемом	2";
- погрешность измерения по буссоли	30';
- диапазон измерений зенитных расстояний	30...145°;
- диапазон измерений горизонтальных углов	0...360°;
- изображение зрительной трубы	прямое;
- угловое поле зрительной трубы	1°35';

- цена деления цилиндрического уровня 15";
- цена деления круглого уровня 5';
- рабочий температурный диапазон -40...+50°C;
- габаритные размеры теодолита с подставкой 345*183*123 мм;
- масса теодолита и подставки 4,7 кг.

Основные технические характеристики магнитометра КМ-2М №25;

- динамический диапазон измерений 15000-100000 нТл;
- абсолютная погрешность в рабочем диапазоне не более ± 3 нТл;
- магнитная девиация в рабочем диапазоне не более ± 3 нТл;
- период измерений 1 с;
- рабочий температурный диапазон магнитометра +10...+35°C;
- рабочий температурный диапазон квантового генератора -2...+35°C;
- электропитание от сети переменного тока 220 В;
- габаритные размеры квантового генератора Ø130 мм, L340 мм;
- масса квантового генератора 1,5 кг;
- габаритные размеры формирователя Ø110 мм, L290 мм;
- масса квантового формирователя 2,0 кг;
- габаритные размеры частотомера (пульт магнитометра) 360*160*355 мм;
- масса частотомера (пульт магнитометра) 9,0 кг.

Резервное и дополнительное оборудование:

- аналоговая МВС ИЗМИРАН АН-4 №26;
- аналоговая МВС ИЗМИРАН АН-4 №28;
- магнитометр квантовый КМ-2М №15;
- магнитометр квантовый переносной М-33 №407148;
- теодолит QHM №4;
- ориентир-буссоль геодезический ОБК №0393.

1.4. Изменчивость геомагнитных характеристик как возможный индикатор гидрофизических процессов в Южном океане

Основной причиной формирования геомагнитных вариаций являются: солнечная активность и межпланетное магнитное поле. При солнечной активности возникает выброс высокоэнергетических частиц, преимущественно – протонов, который обрушивается на Землю, если она находится в зоне этого потока. Но частицы не напрямую «бомбардируют Землю, а из-за взаимодействия с магнитосферой Земли отклоняются к полюсам планеты (Рисунок 1.3).[7]

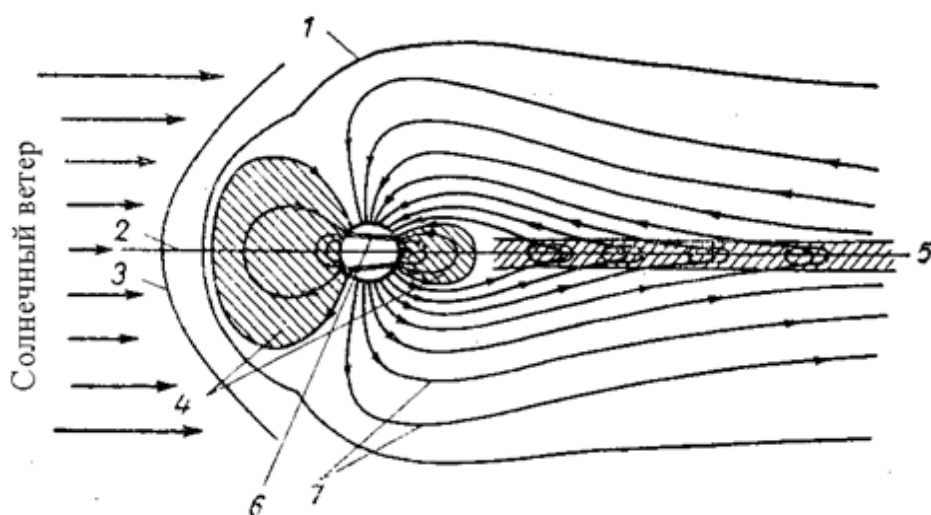


Рисунок 1.3. Геомагнитные возмущения, вызываемые взаимодействием потока частиц от Солнца («солнечным ветром») с магнитосферой Земли

(1 – магнитопауза; 2 – геомагнитный экватор; 3 – ударная волна; 4 – области захваченной радиации; 5 – нейтральный слой; 6 – зона полярных сияний; 7 – магнито-силовые линии)

В результате взаимодействия с ядрами атомов и молекул атмосферы первичные частицы в этом потоке (в основном протоны) создают большое число вторичных частиц - пионов, протонов, нейтронов, мюонов, электронов, позитронов и фотонов. Таким образом, вместо одной первичной частицы возникает большое число вторичных частиц, которые делятся на адронную, мюонную и электронно-фотонную компоненты. Такой каскад покрывает

большую территорию и называется широким атмосферным ливнем (Рисунок 1.4).

В одном акте взаимодействия протон обычно теряет $\sim 50\%$ своей энергии, а в результате взаимодействия возникают в основном пионы. Каждое последующее взаимодействие первичной частицы добавляет в каскад новые адроны, которые летят преимущественно по направлению первичной частицы, образуя адронный кор ливня.

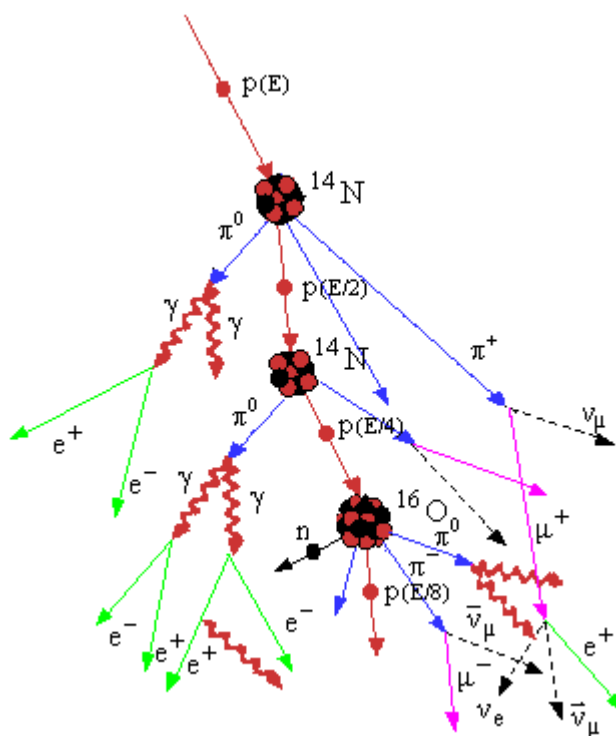


Рисунок 1.4. Широкий атмосферный ливень

Образующиеся пионы могут взаимодействовать с ядрами атмосферы, а могут распадаться, формируя мюонную и электронно-фотонную компоненты ливня. Адронная компонента до поверхности Земли практически не доходит, превращаясь в мюоны, нейтрино и γ -кванты.

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma, \quad \pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu, \quad \pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu,$$

где π – пионы, γ – гамма-кванты, μ – мюоны, ν_μ – нейтрино.

Мюоны в свою очередь могут распадаться:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu,$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu.$$

где e^+ - позитроны, e^- - электроны.

Образующиеся при распаде нейтральных пионов γ -кванты вызывают каскад электронов и γ -квантов, которые в свою очередь образуют электрон-позитронные пары. Заряженные лептоны теряют энергию на ионизацию и радиационное торможение. Поверхности Земли в основном достигают релятивистские мюоны. Электронно-фотонная компонента поглощается сильнее.

Один протон с энергией $> 10^{14}$ эВ может создать 10^6 - 10^9 вторичных частиц. На поверхности Земли адроны ливня концентрируются в области порядка нескольких метров, электронно-фотонная компонента - в области ~ 100 м, мюонная - нескольких сотен метров (Рисунок 1.5).

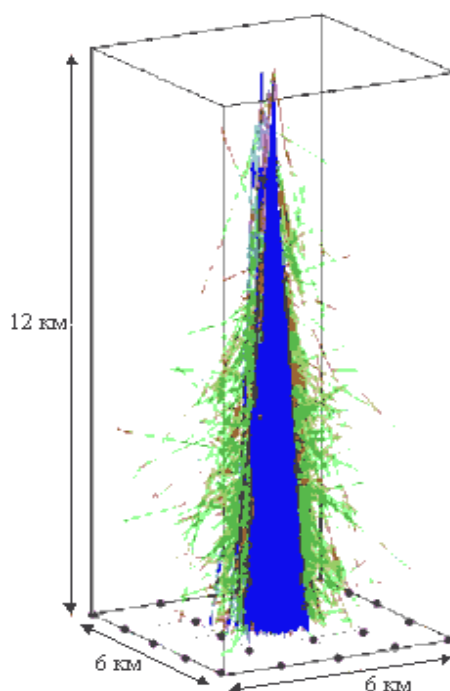


Рисунок 1.5. Пространственное распределение компонент широкого атмосферного ливня

Описанные особенности взаимодействия потока высокоэнергетических частиц от Солнца с атмосферой Земли (в целом) приводят к тому, что в приполярных зонах, соответственно и в зоне Южного океана, понижается атмосферная видимость. В такой ситуации в летний период времени уменьшается обычный (коротковолновый) поток солнечной радиации, достигающей купола Антарктиды. Это, свою очередь, вызывает понижение температуры воздуха и формирует поток холодного ветра от купола к Южному океану.

При таких процессах получается, что геомагнитные возмущения в зоне Южного океана могут явиться более надежным индикатором изменчивости гидрофизических процессов в Южном океане, чем традиционные числа Вольфа.

Описанный механизм еще не является однозначно выясненным и требует дополнительных исследований.

Однако, влияние космогеофизических факторов на погоду и климат Земли рассмотрено в большом количестве работ ряда авторов. В настоящее время выделены долгопериодные эффекты влияния солнечной активности на земной климат и погоду [Roberts and Olson, 1973; Wilcox, 1975]. В качестве каналов этого влияния предлагается воздействие как космических лучей, так и геомагнитной активности [Пудовкин и Бабушкина, 1990; Tinsley et al., 1989; Bucha and Bucha, 1988; Landscheidt, 2000; Вовк и Егорова, 2004] на нижнюю атмосферу. Сделано предположение, что события Эль-Ниньо тесно связаны со специальными фазами (при подходе к максимуму и минимуму) в 11-летнем солнечном цикле.

Влияние космических факторов, таких как галактические космические лучи (ГКЛ), на режим циркуляции в нижней атмосфере описано в работах [Tinsley B.A. and Heelis R.A., 1993; Pudovkin M.I., Veretenenko S.V., 1996; Gabis I.P. and Troshichev O.A., 2000; Вовк и Егорова, 2004]. Известно [Пудовкин М.И. и Бабушкина С.В., 1990], что ФП вызывает рост тропосферного давления в области широт $50^{\circ} < \varphi < 80^{\circ}$. В работе [Troshichev O.A. et al., 2003] показано,

что и температура, и давление, и скорость ветра изменяется в диапазоне высот от уровня Земли до 20 км на ст. Восток в зависимости от уровня ГКЛ.

Исследованию эффектов Эль-Ниньо и Ла-Нина, связанных с Южной атмосферной осцилляцией ENSO, посвящено значительное число работ [Van Loon and Shea, 1987; Landscheidt, 2000; Smith and Stearns, 1993; Landscheidt, 2002; Nuzdina, 2002; Pugacheva et al., 2007; Troshichev et al., 2005; Вовк и Егорова, 2007]. Эффект Эль-Ниньо соответствует длительному ($t > 5$ —8 месяцев) теплomu течению в приэкваториальной части Тихого океана и характеризуется значительным уменьшением индекса SOI до величины -1 — (-4) . Индекс SOI представляет собой нормированную величину разности атмосферного давления на уровне океана между Дарвином (Австралия) и о. Таити. Теплomu течению соответствует увеличение индекса Nino—3.4, связанного с изменением температуры поверхностного слоя воды в южной части Тихого океана (Nuzdina, 2002; Вовк и Егорова, 2007]. Холодному течению Ла-Нина соответствуют положительные значения SOI и отрицательные значения Nino—3.4. Эти эффекты имеют различную интенсивность и длительность порядка 5—22 месяцев.

Значительное число публикаций посвящено результатам воздействия ENSO на погоду в различных районах земного шара: появлению муссонных ливней, ураганам, засухам [Arblaster et al., 2002; Bains, 2007; Вовк и Егорова, 2007; Lixin, 2007]. В работах [Arblaster et al., 2002; Lixin, 2007; Bains, 2007] отмечается высокая корреляция между ENSO и климатом в Австралии. Установлена связь Эль-Ниньо с антарктическим циркумполярным вихрем, который вовлекает большие массы теплой и холодной воды Южной океана во вращение вокруг Антарктиды. В работе [Arblaster et al., 2002] рассматривается интенсивность дождей во время теплых и холодных периодов ENSO. Показано, что в период Эль-Ниньо количество дождей незначительно, а во время Ла-Нины — выше среднего. Это соответствует результатам работ [Van Loon and Shea, 1987; Lixin, 2007; Вовк и Егорова, 2007], демонстрирующим факт увеличения интенсивности южного ветра из

Антарктики в период антарктической зимы и, соответственно, сухого сезона в Австралии (май-октябрь).

В работах [Smith and Steams, 1993; Nuzdina, 2002; Landscheidt, 2002; Troshichev et al., 2005; Вовк и Егорова, 2007; Pugacheva et al., 2007] рассматривается влияние солнечной, магнитной активности на погоду, климат и характеристики ENSO. Можно полагать, что вариации характеристик циркумполярного вихря также связаны с изменением солнечнокосмических факторов. Авторы работ [Landscheidt, 2002; Pugacheva et al., 2007] связывают эффект Эль-Ниньо с вариациями 11-летнего цикла солнечной активности, с солнечными вспышками и с нерегулярными колебаниями Солнца относительно центра масс Солнечной системы. Автор публикации [Nuzdina, 2002] показала, что A_p -индексы, числа Вольфа W , SOI, коэффициенты Nino—3.4 имеют общие спектральные характеристики с периодом 5-7 лет. В работе [Вовк и Егорова, 2007] показана связь начала Эль-Ниньо с предшествующим ростом числа солнечных пятен, с вариациями ММП, числом неэффективных солнечных вспышек и вариациями атмосферных характеристик в Антарктике. Считается, что на изменение климата также может влиять ряд других факторов. В том числе изменчивость эллиптической орбиты Земли, перемещения магнитных полюсов, извержения вулканов, наибольшее число которых зарегистрировано в малый ледниковый период.

В работах, посвященных эффектам Южной атмосферной осцилляции наиболее часто отмечается влияние приэкваториального течения Эль-Ниньо на другие районы, в том числе и на Антарктиду. Однако, можно говорить и о влиянии климата Антарктиды на характеристики ENSO. В работе [Smith and Steams, 1993] при анализе данных 30-ти антарктических станций за 19 лет зарегистрирована область аномальных температур и атмосферного давления в Тихоокеанском секторе в годы, предшествующие как Эль-Ниньо, так и Ла-Нина. В частности, можно выделить совместные публикации В.Я. Вовк и Л.В.Егоровой [2004, 2005, 2007, 2009]. На них хотелось бы остановиться поподробней.

1.4.1. Связь вариаций южной атмосферной циркуляции и космическая погода [2004]

Целью данной работы являлся анализ связи между индексами *SOI* и космической погодой, а именно, оценка связи между температурными и ветровыми характеристиками, а также характеристиками атмосферной циркуляции тропосферы в Антарктической области. Непосредственно в полярной шапке динамику термосферного ветра определяет ионное трение, которое в данном регионе является доминирующим процессом.

Глобальные температурные аномалии Южной атмосферной циркуляции как положительные, вызывающие теплое океаническое течение Эль-Ниньо, так и отрицательные, вызывающие холодное течение Ла-Нина, подвержены сильному контролю солнечной активности. В работе были рассмотрены ежемесячные индексы южной атмосферной циркуляции (*SOI*) с 1956 по 1997 г., а также соответствующие данные Форбуш-понижений (ФИ) космических лучей и чисел Вольфа (*W*) за тот же период. Показано, что в периоды южно-полярной зимы и весны (июнь-ноябрь) уменьшению индекса *SOI* (меньше -15) предшествует минимум ФП галактических космических лучей (ГКЛ) (меньше 5.5%). В теплые годы Южной атмосферной циркуляции (Эль-Ниньо) корреляционная связь между индексами *SOI* и уровнем ГКЛ значима, и ее коэффициент r составляет 0.6-0.9. В теплые периоды 1960-1997 гг. наблюдается похолодание в Антарктиде на 0.5° по сравнению с многолетним среднегодовым значением температуры за тот же период, а средний за год индекс *SOI* в этот период уменьшается с +2 до -8. Это соответствует представлениям о влиянии космических факторов на температуру и ветер в Антарктике. Также подтверждена гипотеза наличия аномальных ветров с антарктического материка, оттесняющих теплый воздух в экваториальном направлении в годы Эль-Ниньо. [8]

1.4.2. Отклик метеопараметров нижней атмосферы в Антарктике на вариации вертикальной составляющей межпланетного магнитного поля [2005]

Целью настоящей работы являлось рассмотрение связи атмосферных характеристик с космическими факторами как в годы максимума, так и минимума солнечной активности на широтах 60° - 90° в Антарктике. Влияние ММП на метеопараметры, возможно, осуществляется через изменение межпланетного электрического поля, электрического поля в атмосфере, облачности, что влияет на вариации температуры и циркуляцию ветра в пространстве между центральной Антарктидой и ее береговой частью [Troshichev O.A. and Janzhura A., 2004].

На основе анализа аэрологических и метеорологических данных, полученных на станциях Южный Полюс, Купол С, Ленинградская, Восток, Русская и Мирный в период с 1970 по 1999 гг., были выявлены значительные вариации температуры воздуха, направления и скорости ветра, связанные с вариациями межпланетного магнитного поля (ММП). Наблюдалось потепление на уровне Земли при уменьшении вертикальной компоненты ММП ($H_z < -3$) и похолодание при ее увеличении ($H_z > 2.5$). Отмечено изменение направления ветра на внутриконтинентальной ст. Восток с 260 до 190° , а также на прибрежных станциях Ленинградская с 160 до 290° и Русская с 130 до 200° спустя один-два дня после увеличения амплитуды отрицательных значений H_z . Выявлено изменение профиля скорости ветра в периоды больших вариаций B_z -компоненты ММП на ст. Восток; так скорость ветра возрастает в ключевой день по сравнению с предыдущим с 12 до 19 м/с на высоте $7-10$ км для отрицательных значений B_z , для положительных же значений H_z скорость уменьшается через день после ключевого. Показано, что изменение направления ветра в зависимости от B_z -компоненты наблюдается не только в годы близкие к максимуму солнечной активности 1981, 1982 гг., но и в годы минимума 1985-1987 гг., когда количество Форбуш-понижений (ФП)

галактических космических лучей (ГКЛ) и солнечных вспышек незначительно.[9]

1.4.3. Роль солнечной активности в формировании аномального течения Эль-Ниньо [2007]

Целью данной работы являлось исследование связи теплых периодов Эль-Ниньо (*ENSO*) с рядом факторов солнечной активности, такими как число геоэффективных вспышек, вариациями вертикальной составляющей ММП и индекса магнитной активности АЕ.

В ходе исследования были рассмотрены ежемесячные значения индексов Южной атмосферной осцилляции (*SOI*) и соответствующие значения чисел Вольфа, геоэффективных солнечных вспышек, магнитных АЕ-индексов, а также среднесуточные значения южной компоненты межпланетного магнитного поля (B_z ММП) и данные ветровых характеристик на антарктических станциях Ленинградская, Русская и Восток. Показано, что резкому уменьшению значений индексов *SOI*, соответствующему началу Эль-Ниньо (*ENSO*), за один-два месяца предшествует увеличение на 20% среднесуточных чисел Вольфа. В теплые годы Южной атмосферной осцилляции наблюдается линейная связь между индексами *SOI* и числом геоэффективных солнечных вспышек с коэффициентами корреляции $r < -0.5$. Показано, что изменению генерального направления приземного ветра на аномальное на указанных выше станциях в теплые годы предшествует увеличение среднесуточных значений B_z ММП за один-два дня. Увеличение значений индексов *SOI* за один-два месяца предваряется значительным ростом среднесуточных значений магнитных АЕ-индексов.[10]

1.4.4. Влияние геомагнитной и вулканической активности на явления Эль-Ниньо и Ла-Нина [2009]

Целью этой работы являлась оценка различных факторов, влияющих на начало эффектов Эль-Ниньо и Ла-Нина, в том числе с учетом влияния вулканической деятельности, которая была зарегистрирована в годы как теплых, так и холодных периодов *ENSO*.

В ходе настоящей работы были рассмотрены ежемесячные значения индексов Южной атмосферной осцилляции (*SOI*), соответствующие значения индекса *Niño*—3.4, данные начала интенсивных извержений вулканов с 1870 по 2002 г., а также ежесуточные значения магнитных A_p , AE-индексов, B_z -компоненты межпланетного магнитного поля (ММП), данные облачности и ветровых характеристик на 14 антарктических станциях. Началу тёплого течения Эль-Ниньо предшествует увеличение амплитуды магнитных A_p -индексов, которое продолжается больше 5 месяцев. Начало холодного периода Южной атмосферной осцилляции Ла-Нина связано, как правило, с уменьшением величины A_p -индекса. Изменение прозрачности атмосферы, вызванное извержениями вулканов, часто предшествует началу холодного периода Южной атмосферной осцилляции (*ENSO*). Изменение системы ветров в Антарктике, связанное с изменением температурного баланса, вызванное вариациями параметров солнечного ветра в зимний сезон, способствует кратковременному разрушению циркумполярного вихря и началу тёплого периода Эль-Ниньо.[11]

Глава 2. Материалы и методика анализа

В ходе данной работы были использованы данные двух различных периодичностей. Первая группа данных содержала измерения вариаций DHZ-компонент магнитного поля Земли, а также метеорологических характеристик - направления и скорости ветра, полученные в ходе работы 56 РАЭ на станции Новолазаревская за период с 1 марта 2011 года по 29 февраля 2012 года. Данные осреднены до ежесуточных значений. Вторая группа данных включает в себя среднегодовые значения планетарного Ар-индекса геомагнитной активности, значения ледовитости морей Уэдделла, Росса, Беллинсгаузена и Лазарева и значения ледовитости для Антарктики в целом. Данные по ледовитости были получены по спутниковым наблюдениям (из архива ААНИИ). Значения Ар-индекса взяты с FTP-сервера Национального управления океанических и атмосферных исследований США. Эти группы данных анализировались независимо друг от друга. Все массивы данных были полными, за исключением отсутствия значений вариаций DHZ-компонент на станции Новолазаревская за несколько дней рассматриваемого периода, вызванных перебоями в работе оборудования. Количество потерянных данных составило 1%, что не является критичным. Недостающие значения были рассчитаны в программе Мезозавр.

2.1. Ежесуточные данные по изменчивости геомагнитных характеристик
на ст. Новолазаревская

Таблица 1

Вариации DHZ-компонент магнитного поля Земли (экспериментальные данные
ст. Новолазаревская)

	D	H	Z
01.03.2011	-7	-36	207
02.03.2011	-15	37	160
03.03.2011	-17	-5	168
04.03.2011	-20	-3	170
05.03.2011	-17	0	157
06.03.2011	-23	-9	161
07.03.2011	-20	-22	159
08.03.2011	-15	-2	163
09.03.2011	-19	-12	160
10.03.2011	2	-26	207
11.03.2011	-25	71	169
12.03.2011	-19	6	157
13.03.2011	-20	-14	146
14.03.2011	-22	-7	159
15.03.2011	-22	-9	156
16.03.2011	-22	-12	159

	D	H	Z
17.03.2011	-21	-14	159
18.03.2011	-22	-10	159
19.03.2011	-22	-10	161
20.03.2011	-21	-11	166
21.03.2011	-24	-12	164
22.03.2011	-25	-14	169
23.03.2011	-24	-12	169
24.03.2011	-22	-15	161
25.03.2011	-23	-11	161
26.03.2011	-23	-13	161
27.03.2011	-21	-13	162
28.03.2011	-23	-14	162
29.03.2011	-22	-17	163
30.03.2011	-25	-17	166
31.03.2011	-22	-16	164

	D	H	Z
01.04.2011	-22	-8	161
02.04.2011	-28	38	193
03.04.2011	-25	40	187
04.04.2011	-16	9	182
05.04.2011	-24	-13	168
06.04.2011	-22	-45	178
07.04.2011	-17	9	171
08.04.2011	-28	-10	173
09.04.2011	-15	17	191
10.04.2011	-24	-12	160
11.04.2011	-23	-18	167
12.04.2011	-8	8	179
13.04.2011	-18	20	181
14.04.2011	-21	-8	165
15.04.2011	-24	-12	167
16.04.2011	-27	-13	162
17.04.2011	-27	-13	165
18.04.2011	-22	-15	165
19.04.2011	-24	-15	166
20.04.2011	-22	4	178
21.04.2011	-26	-15	165
22.04.2011	-25	-13	170
23.04.2011	-24	-17	170
24.04.2011	-26	-20	167
25.04.2011	-25	-14	172
26.04.2011	-26	-18	165
27.04.2011	-26	-17	166
28.04.2011	-27	-18	166
29.04.2011	-30	-21	179
30.04.2011	-23	30	162

	D	H	Z
01.05.2011	-17	24	179
02.05.2011	-24	60	218
03.05.2011	-32	20	185
04.05.2011	-22	-9	164
05.05.2011	-27	-12	172
06.05.2011	-28	-18	165
07.05.2011	-28	-19	164
08.05.2011	-30	-18	168
09.05.2011	-31	-20	171
10.05.2011	-24	-25	168
11.05.2011	-23	-6	179
12.05.2011	-29	-19	174
13.05.2011	-29	-22	170
14.05.2011	-33	-22	174
15.05.2011	-31	-26	168
16.05.2011	-25	-22	169
17.05.2011	-33	-18	169
18.05.2011	-32	-20	174
19.05.2011	-33	-23	170
20.05.2011	-34	-25	170
21.05.2011	-31	-26	172
22.05.2011	-37	-25	175
23.05.2011	-33	-22	171
24.05.2011	-35	-20	179
25.05.2011	-35	-24	175
26.05.2011	-31	-21	170
27.05.2011	-30	-34	179
28.05.2011	-21	55	200
29.05.2011	-32	36	183
30.05.2011	-29	-9	169
31.05.2011	-33	4	201

	D	H	Z
01.06.2011	-32	-12	168
02.06.2011	-24	-7	182
03.06.2011	-32	-18	169
04.06.2011	-35	-20	183
05.06.2011	-38	25	165
06.06.2011	-35	-9	187
07.06.2011	-37	-23	166
08.06.2011	-27	37	183
09.06.2011	-43	12	187
10.06.2011	-34	-18	166
11.06.2011	-33	7	196
12.06.2011	-31	-20	174
13.06.2011	-33	-24	168
14.06.2011	-34	-24	171
15.06.2011	-33	-17	177
16.06.2011	-32	-21	174
17.06.2011	-31	-25	174
18.06.2011	-35	-20	178
19.06.2011	-33	-20	176
20.06.2011	-34	-14	190
21.06.2011	-31	-19	180
22.06.2011	-31	-17	184
23.06.2011	-21	14	188
24.06.2011			
25.06.2011	-29	-15	184
26.06.2011	-34	-10	191
27.06.2011	-33	-16	180
28.06.2011	-34	-21	179
29.06.2011	-35	-23	177
30.06.2011	-35	-23	184

	D	H	Z
01.07.2011	-45	32	216
02.07.2011	-38	-20	175
03.07.2011	-43	5	206
04.07.2011	-33	-33	183
05.07.2011	-47	41	184
06.07.2011	-37	-12	190
07.07.2011	-35	-20	177
08.07.2011	-39	-21	183
09.07.2011	-35	-2	195
10.07.2011	-36	-19	177
11.07.2011	-34	-19	187
12.07.2011	-39	-18	185
13.07.2011	-37	-16	191
14.07.2011	-32	-20	186
15.07.2011	-38	-24	183
16.07.2011	-39	-22	183
17.07.2011	-37	-26	184
18.07.2011	-34	-25	185
19.07.2011	-43	-29	181
20.07.2011	-32	-3	217
21.07.2011	-39	-5	197
22.07.2011	-40	-13	205
23.07.2011	-35	-10	208
24.07.2011	-39	-23	181
25.07.2011	-37	-20	197
26.07.2011	-39	-18	192
27.07.2011	-38	-24	184
28.07.2011	-39	-27	187
29.07.2011	-38	-26	183
30.07.2011	-41	-36	191
31.07.2011	-32	9	189

	D	H	Z
01.08.2011	-32	-9	203
02.08.2011	-42	-20	187
03.08.2011	-42	-25	183
04.08.2011	-41	-26	184
05.08.2011	-57	-21	213
06.08.2011			
07.08.2011	-42	-8	182
08.08.2011	-37	-5	183
09.08.2011	-37	-13	191
10.08.2011	-35	-17	186
11.08.2011	-36	-21	184
12.08.2011	-42	-22	185
13.08.2011	-42	-24	188
14.08.2011	-39	-24	196
15.08.2011	-36	8	195
16.08.2011	-40	-12	187
17.08.2011	-40	-18	195
18.08.2011	-42	-24	186
19.08.2011	-42	-24	185
20.08.2011	-43	-26	186
21.08.2011	-43	-26	185
22.08.2011	-41	-25	191
23.08.2011	-45	-21	182
24.08.2011	-49	-11	199
25.08.2011	-43	-18	183
26.08.2011	-44	-21	185
27.08.2011	-42	-22	190
28.08.2011	-46	-22	193
29.08.2011	-47	-22	195
30.08.2011	-45	-22	185
31.08.2011	-46	-25	187

	D	H	Z
01.09.2011	-46	-25	191
02.09.2011	-40	-30	193
03.09.2011	-37	-17	208
04.09.2011	-43	-10	209
05.09.2011	-42	-22	187
06.09.2011	-35	-10	207
07.09.2011	-49	-16	202
08.09.2011	-42	-21	196
09.09.2011	-46	-44	246
10.09.2011	-41	133	229
11.09.2011	-45	2	196
12.09.2011	-43	21	229
13.09.2011	-45	40	219
14.09.2011	-44	-22	191
15.09.2011	-42	-22	195
16.09.2011	-47	-20	190
17.09.2011	-37	-63	202
18.09.2011	-44	-15	184
19.09.2011	-48	-18	188
20.09.2011	-44	-13	199
21.09.2011	-46	-19	192
22.09.2011	-47	-18	191
23.09.2011	-48	-22	194
24.09.2011	-46	-22	194
25.09.2011	-44	-25	195
26.09.2011	-44	-31	271
27.09.2011	-37	46	212
28.09.2011	-27	84	212
29.09.2011	-41	23	209
30.09.2011	-45	-17	195
31.07.2011	-32	9	189

	D	H	Z
01.10.2011	-55	-8	230
02.10.2011	-37	-8	202
03.10.2011	-42	-17	191
04.10.2011	-41	-17	195
05.10.2011	-42	-23	199
06.10.2011	-45	-22	194
07.10.2011	-44	-13	205
08.10.2011	-48	-22	209
09.10.2011	-40	27	218
10.10.2011	-49	-20	191
11.10.2011	-48	-23	194
12.10.2011	-50	-22	201
13.10.2011	-47	-21	204
14.10.2011	-49	-25	199
15.10.2011	-47	-17	209
16.10.2011	-49	-19	213
17.10.2011	-49	-21	201
18.10.2011	-48	-21	199
19.10.2011	-48	-21	209
20.10.2011	-47	-20	201
21.10.2011	-45	-8	217
22.10.2011	-47	-21	202
23.10.2011	-43	-32	201
24.10.2011	-36	-29	201
25.10.2011	-50	67	184
26.10.2011	-47	-11	185
27.10.2011	-47	-11	196
28.10.2011	-50	-13	195
29.10.2011	-46	-17	198
30.10.2011	-46	-19	203
31.10.2011	-45	-13	199

	D	H	Z
01.11.2011	-47	5	200
02.11.2011	-38	-2	206
03.11.2011	-44	-7	200
04.11.2011	-41	-16	195
05.11.2011	-55	-10	206
06.11.2011	-49	-16	202
07.11.2011	-47	-20	207
08.11.2011	-42	-22	208
09.11.2011	-45	-16	205
10.11.2011	-45	-20	203
11.11.2011	-42	-21	205
12.11.2011	-43	-21	207
13.11.2011	-44	-18	207
14.11.2011	-45	-21	208
15.11.2011	-43	-21	207
16.11.2011	-45	-23	211
17.11.2011	-45	-21	209
18.11.2011	-42	-19	211
19.11.2011	-43	-20	212
20.11.2011	-45	-21	212
21.11.2011	-38	-27	215
22.11.2011	-34	-23	211
23.11.2011	-44	-12	221
24.11.2011	-42	-28	209
25.11.2011	-49	-13	218
26.11.2011	-43	-21	212
27.11.2011	-40	-18	216
28.11.2011	-38	-14	219
29.11.2011	-46	-12	229
30.11.2011	-47	-62	199

	D	H	Z
01.12.2011	-44	-4	226
02.12.2011	-41	-25	217
03.12.2011	-41	-22	215
04.12.2011	-46	-15	221
05.12.2011	-47	-15	219
06.12.2011	-47	-16	216
07.12.2011	-45	-19	220
08.12.2011	-44	-23	218
09.12.2011	-42	-25	222
10.12.2011	-40	-27	220
11.12.2011	-45	-28	216
12.12.2011	-41	-25	218
13.12.2011	-44	-20	219
14.12.2011	-49	-20	223
15.12.2011	-45	-21	222
16.12.2011	-43	-23	224
17.12.2011	-47	-21	225
18.12.2011	-45	-13	225
19.12.2011	-50	-22	219
20.12.2011	-44	-22	217
21.12.2011	-40	-30	217
22.12.2011	-50	-18	216
23.12.2011	-43	-19	221
24.12.2011	-43	-23	222
25.12.2011	-52	-15	225
26.12.2011	-48	-17	222
27.12.2011	-52	-14	221
28.12.2011	-42	-24	225
29.12.2011	-56	-27	227
30.12.2011	-42	-32	216
31.12.2011	-41	-12	222

	D	H	Z
01.01.2012			
02.01.2012	-43	-17	224
03.01.2012	-49	27	239
04.01.2012	-42	-7	217
05.01.2012	-43	-16	223
06.01.2012	-47	-22	221
07.01.2012	-47	-24	221
08.01.2012	-47	-16	221
09.01.2012	-42	-10	228
10.01.2012	-41	-22	223
11.01.2012	-58	-10	244
12.01.2012	-45	-18	220
13.01.2012	-47	-4	225
14.01.2012	-48	-8	225
15.01.2012	-46	-21	223
16.01.2012	-39	-30	212
17.01.2012	-45	-13	213
18.01.2012	-42	-17	215
19.01.2012	-40	-15	217
20.01.2012	-44	-17	224
21.01.2012	-41	-15	230
22.01.2012	-35	-65	256
23.01.2012	-42	32	186
24.01.2012	-56	-34	225
25.01.2012	-34	29	222
26.01.2012	-41	-10	208
27.01.2012	-46	-3	210
28.01.2012	-53	-11	221
29.01.2012	-46	-1	220
30.01.2012	-47	-26	218
31.01.2012	-49	-3	216

	D	H	Z
01.02.2012	-52	-8	226
02.02.2012	-48	-10	226
03.02.2012	-47	-11	223
04.02.2012	-40	-16	234
05.02.2012	-46	-12	217
06.02.2012	-42	-15	211
07.02.2012	-49	-12	237
08.02.2012	-56	23	213
09.02.2012	-44	-20	205
10.02.2012	-50	-12	216
11.02.2012	-51	-6	223
12.02.2012	-51	-13	220
13.02.2012	-42	-17	219
14.02.2012	-42	-18	224
15.02.2012	-33	52	232

	D	H	Z
16.02.2012	-53	-4	207
17.02.2012	-50	-5	216
18.02.2012	-52	-9	226
19.02.2012	-57	42	181
20.02.2012	-50	21	222
21.02.2012	-60	4	227
22.02.2012	-52	-2	237
23.02.2012	-55	-12	216
24.02.2012	-55	-9	226
25.02.2012	-51	-10	218
26.02.2012	-51	-13	224
27.02.2012	-57	-40	238
28.02.2012	-49	3	222
29.02.2012	-56	7	233

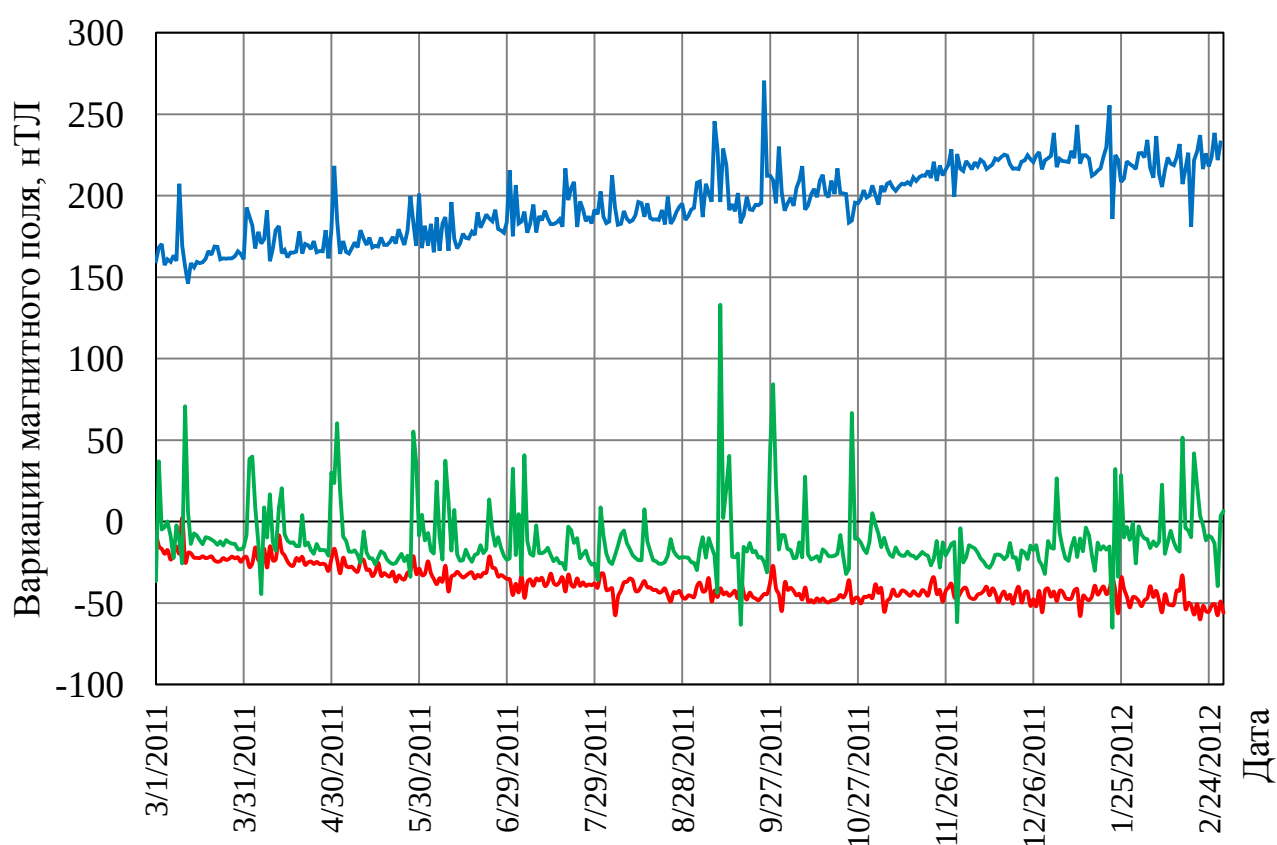


Рисунок 2.1 Вариации магнитного поля Земли (экспериментальные данные ст. Новолазаревская)

(D-компонента – красная линия, H-компонента – зелёная линия, Z-компонента – синяя линия)

2.2. Данные о характеристиках ветра на ст. Новолазаревская
за период наблюдений ГМВ

Для использования в данной работе метеорологические данные осреднялись до ежесуточных на основании наблюдений по срокам – 00, 06, 12, 18 часов.

Таблица 2

Направление ветра (экспериментальные данные ст. Новолазаревская)

Дата	Напр., град	Дата	Напр., град
01.03.2011	79	17.03.2011	23
02.03.2011	107	18.03.2011	39
03.03.2011	129	19.03.2011	96
04.03.2011	51	20.03.2011	39
05.03.2011	45	21.03.2011	197
06.03.2011	45	22.03.2011	163
07.03.2011	45	23.03.2011	174
08.03.2011	45	24.03.2011	90
09.03.2011	90	25.03.2011	23
10.03.2011	28	26.03.2011	6
11.03.2011	197	27.03.2011	34
12.03.2011	113	28.03.2011	51
13.03.2011	45	29.03.2011	96
14.03.2011	45	30.03.2011	113
15.03.2011	96	31.03.2011	39
16.03.2011	39		

Дата	Напр., град
01.04.2011	45
02.04.2011	39
03.04.2011	39
04.04.2011	45
05.04.2011	45
06.04.2011	0
07.04.2011	6
08.04.2011	45
09.04.2011	84
10.04.2011	45
11.04.2011	39
12.04.2011	39
13.04.2011	45
14.04.2011	45
15.04.2011	45
16.04.2011	45
17.04.2011	45
18.04.2011	56
19.04.2011	0
20.04.2011	84
21.04.2011	45
22.04.2011	39
23.04.2011	45
24.04.2011	120
25.04.2011	152
26.04.2011	45
27.04.2011	101
28.04.2011	51
29.04.2011	45
30.04.2011	45

Дата	Напр., град
01.05.2011	45
02.05.2011	45
03.05.2011	45
04.05.2011	45
05.05.2011	0
06.05.2011	240
07.05.2011	68
08.05.2011	39
09.05.2011	34
10.05.2011	30
11.05.2011	45
12.05.2011	107
13.05.2011	51
14.05.2011	28
15.05.2011	0
16.05.2011	0
17.05.2011	0
18.05.2011	195
19.05.2011	51
20.05.2011	135
21.05.2011	45
22.05.2011	113
23.05.2011	135
24.05.2011	45
25.05.2011	113
26.05.2011	34
27.05.2011	129
28.05.2011	6
29.05.2011	39
30.05.2011	39
31.05.2011	28

Дата	Напр., град
01.06.2011	107
02.06.2011	129
03.06.2011	28
04.06.2011	73
05.06.2011	23
06.06.2011	180
07.06.2011	197
08.06.2011	62
09.06.2011	45
10.06.2011	45
11.06.2011	17
12.06.2011	45
13.06.2011	34
14.06.2011	0
15.06.2011	38
16.06.2011	45
17.06.2011	45
18.06.2011	45
19.06.2011	45
20.06.2011	34
21.06.2011	51
22.06.2011	96
23.06.2011	96
24.06.2011	62
25.06.2011	56
26.06.2011	45
27.06.2011	107
28.06.2011	83
29.06.2011	128
30.06.2011	191

Дата	Напр., град
01.07.2011	23
02.07.2011	163
03.07.2011	45
04.07.2011	180
05.07.2011	208
06.07.2011	135
07.07.2011	38
08.07.2011	45
09.07.2011	34
10.07.2011	62
11.07.2011	51
12.07.2011	51
13.07.2011	45
14.07.2011	45
15.07.2011	45
16.07.2011	45
17.07.2011	17
18.07.2011	23
19.07.2011	51
20.07.2011	39
21.07.2011	124
22.07.2011	68
23.07.2011	141
24.07.2011	39
25.07.2011	79
26.07.2011	34
27.07.2011	30
28.07.2011	90
29.07.2011	39
30.07.2011	45
31.07.2011	45

Дата	Напр., град
01.08.2011	98
02.08.2011	107
03.08.2011	45
04.08.2011	11
05.08.2011	0
06.08.2011	45
07.08.2011	45
08.08.2011	45
09.08.2011	45
10.08.2011	45
11.08.2011	51
12.08.2011	45
13.08.2011	6
14.08.2011	253
15.08.2011	23
16.08.2011	45
17.08.2011	51
18.08.2011	45
19.08.2011	34
20.08.2011	107
21.08.2011	34
22.08.2011	34
23.08.2011	51
24.08.2011	45
25.08.2011	45
26.08.2011	51
27.08.2011	90
28.08.2011	163
29.08.2011	128
30.08.2011	39
31.08.2011	17

Дата	Напр., град
01.09.2011	51
02.09.2011	68
03.09.2011	39
04.09.2011	84
05.09.2011	28
06.09.2011	113
07.09.2011	152
08.09.2011	39
09.09.2011	45
10.09.2011	113
11.09.2011	124
12.09.2011	113
13.09.2011	90
14.09.2011	45
15.09.2011	56
16.09.2011	135
17.09.2011	45
18.09.2011	101
19.09.2011	34
20.09.2011	45
21.09.2011	45
22.09.2011	45
23.09.2011	186
24.09.2011	28
25.09.2011	34
26.09.2011	62
27.09.2011	163
28.09.2011	84
29.09.2011	120
30.09.2011	152

Дата	Напр., град
01.10.2011	96
02.10.2011	51
03.10.2011	45
04.10.2011	68
05.10.2011	62
06.10.2011	56
07.10.2011	51
08.10.2011	34
09.10.2011	79
10.10.2011	51
11.10.2011	174
12.10.2011	45
13.10.2011	45
14.10.2011	101
15.10.2011	45
16.10.2011	34
17.10.2011	107
18.10.2011	203
19.10.2011	39
20.10.2011	135
21.10.2011	39
22.10.2011	90
23.10.2011	315
24.10.2011	45
25.10.2011	120
26.10.2011	51
27.10.2011	45
28.10.2011	45
29.10.2011	118
30.10.2011	101
31.10.2011	39

Дата	Напр., град
01.11.2011	51
02.11.2011	51
03.11.2011	45
04.11.2011	45
05.11.2011	62
06.11.2011	39
07.11.2011	34
08.11.2011	45
09.11.2011	39
10.11.2011	39
11.11.2011	135
12.11.2011	68
13.11.2011	83
14.11.2011	51
15.11.2011	51
16.11.2011	51
17.11.2011	51
18.11.2011	79
19.11.2011	51
20.11.2011	45
21.11.2011	45
22.11.2011	113
23.11.2011	34
24.11.2011	129
25.11.2011	124
26.11.2011	51
27.11.2011	45
28.11.2011	45
29.11.2011	118
30.11.2011	107

Дата	Напр., град
01.12.2011	90
02.12.2011	135
03.12.2011	90
04.12.2011	96
05.12.2011	56
06.12.2011	113
07.12.2011	107
08.12.2011	45
09.12.2011	45
10.12.2011	45
11.12.2011	113
12.12.2011	141
13.12.2011	120
14.12.2011	129
15.12.2011	45
16.12.2011	45
17.12.2011	51
18.12.2011	73
19.12.2011	62
20.12.2011	45
21.12.2011	68
22.12.2011	53
23.12.2011	124
24.12.2011	90
25.12.2011	124
26.12.2011	45
27.12.2011	51
28.12.2011	56
29.12.2011	45
30.12.2011	56
31.12.2011	45

Дата	Напр., град
01.01.2012	45
02.01.2012	34
03.01.2012	96
04.01.2012	129
05.01.2012	141
06.01.2012	152
07.01.2012	225
08.01.2012	75
09.01.2012	107
10.01.2012	39
11.01.2012	45
12.01.2012	79
13.01.2012	68
14.01.2012	34
15.01.2012	73
16.01.2012	62
17.01.2012	39
18.01.2012	45
19.01.2012	73
20.01.2012	113
21.01.2012	45
22.01.2012	45
23.01.2012	53
24.01.2012	45
25.01.2012	45
26.01.2012	51
27.01.2012	45
28.01.2012	39
29.01.2012	45
30.01.2012	90
31.01.2012	124

Дата	Напр., град
01.02.2012	195
02.02.2012	34
03.02.2012	39
04.02.2012	62
05.02.2012	113
06.02.2012	62
07.02.2012	56
08.02.2012	45
09.02.2012	51
10.02.2012	56
11.02.2012	62
12.02.2012	45
13.02.2012	45
14.02.2012	45
15.02.2012	51
16.02.2012	51
17.02.2012	51
18.02.2012	51
19.02.2012	62
20.02.2012	45
21.02.2012	45
22.02.2012	270
23.02.2012	107
24.02.2012	23
25.02.2012	45
26.02.2012	68
27.02.2012	101
28.02.2012	101
29.02.2012	28

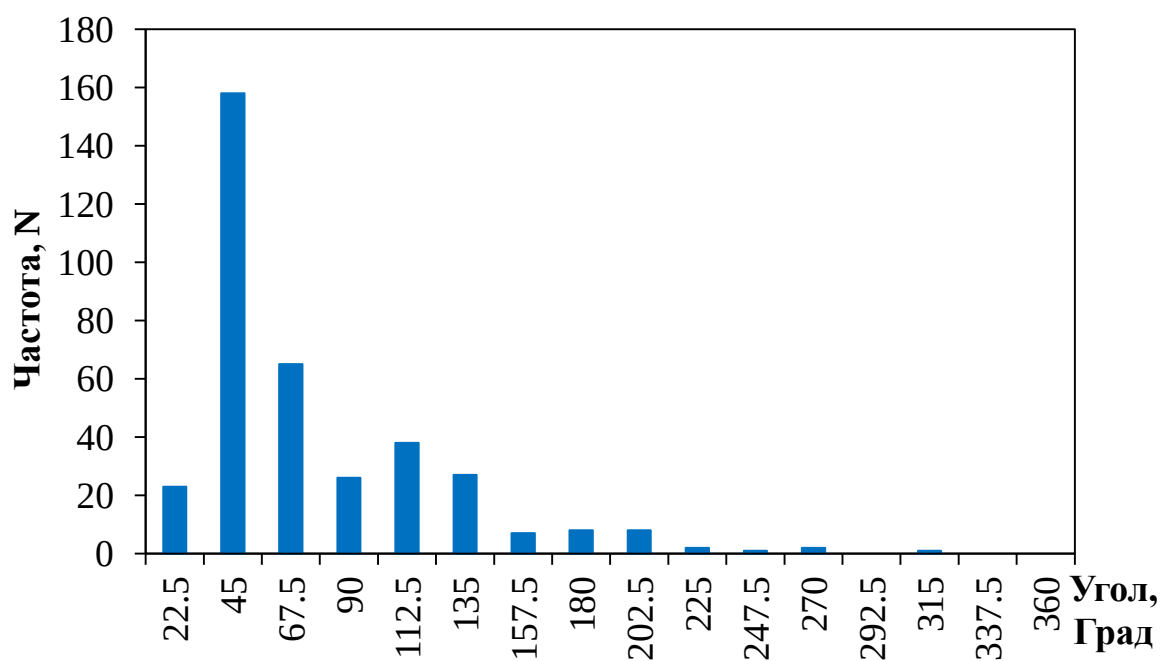


Рисунок 2.2.1. Гистограмма распределения среднесуточных направлений ветра на станции Новолазаревская

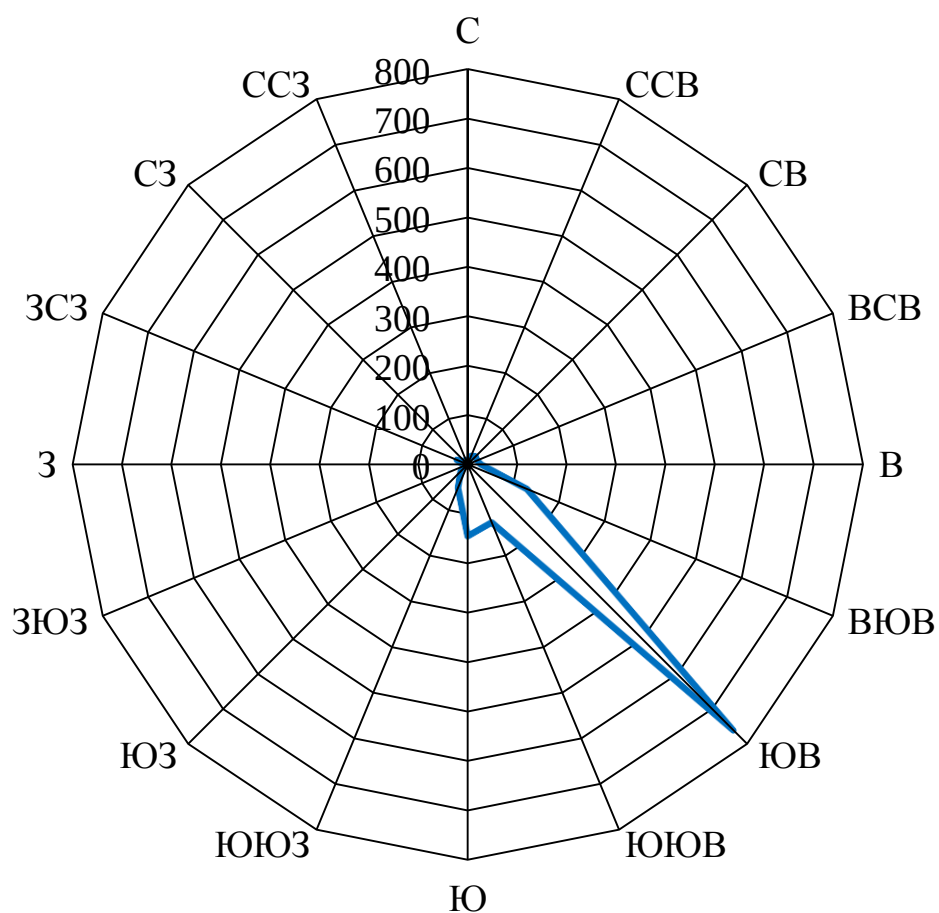


Рисунок 2.2.2. Роза ветров станции Новолазаревская

2.3. Данные о температуре воздуха на ст. Новолазаревская
за период наблюдений ГМВ

Таблица 2

Температура воздуха (экспериментальные данные ст. Новолазаревская)

Дата	T, °C
01.03.2011	-7,9
02.03.2011	-8,6
03.03.2011	-11,3
04.03.2011	-10,4
05.03.2011	-7,7
06.03.2011	-6,8
07.03.2011	-7,9
08.03.2011	-6,6
09.03.2011	-6,4
10.03.2011	-4,1
11.03.2011	-5,5
12.03.2011	-8,4
13.03.2011	-7,5
14.03.2011	-6,2
15.03.2011	-6,5
16.03.2011	-5,9
17.03.2011	-6,6
18.03.2011	-5,7
19.03.2011	-5,5
20.03.2011	-10,8
21.03.2011	-15,1
22.03.2011	-16,3
23.03.2011	-16,0
24.03.2011	-14,4
25.03.2011	-13,0
26.03.2011	-11,5
27.03.2011	-6,5
28.03.2011	-4,4
29.03.2011	-5,4
30.03.2011	-7,4
31.03.2011	-10,0

Дата	T, °C
01.04.2011	-9,8
02.04.2011	-9,5
03.04.2011	-5,5
04.04.2011	-3,4
05.04.2011	-3,6
06.04.2011	-8,2
07.04.2011	-11,7
08.04.2011	-9,5
09.04.2011	-9,2
10.04.2011	-14,5
11.04.2011	-10,7
12.04.2011	-5,3
13.04.2011	-3,4
14.04.2011	-2,0
15.04.2011	-4,8
16.04.2011	-10,1
17.04.2011	-6,4
18.04.2011	-9,8
19.04.2011	-12,9
20.04.2011	-16,5
21.04.2011	-14,6
22.04.2011	-9,5
23.04.2011	-8,2
24.04.2011	-11,1
25.04.2011	-12,1
26.04.2011	-15,7
27.04.2011	-13,3
28.04.2011	-9,1
29.04.2011	-9,4
30.04.2011	-7,7

Дата	T, °C
01.05.2011	-7,2
02.05.2011	-8,4
03.05.2011	-9,2
04.05.2011	-11,0
05.05.2011	-16,3
06.05.2011	-19,5
07.05.2011	-19,5
08.05.2011	-12,0
09.05.2011	-12,0
10.05.2011	-14,5
11.05.2011	-8,8
12.05.2011	-9,4
13.05.2011	-12,0
14.05.2011	-14,1
15.05.2011	-16,5
16.05.2011	-18,3
17.05.2011	-21,3
18.05.2011	-24,6
19.05.2011	-24,3
20.05.2011	-22,1
21.05.2011	-15,6
22.05.2011	-19,8
23.05.2011	-19,9
24.05.2011	-12,1
25.05.2011	-14,4
26.05.2011	-9,2
27.05.2011	-14,3
28.05.2011	-18,1
29.05.2011	-15,8
30.05.2011	-11,8
31.05.2011	-8,4

Дата	T, °C
01.06.2011	-10,2
02.06.2011	-12,7
03.06.2011	-10,1
04.06.2011	-14,9
05.06.2011	-14,6
06.06.2011	-16,8
07.06.2011	-19,0
08.06.2011	-18,5
09.06.2011	-14,2
10.06.2011	-10,7
11.06.2011	-7,1
12.06.2011	-8,3
13.06.2011	-14,6
14.06.2011	-17,1
15.06.2011	-13,5
16.06.2011	-8,7
17.06.2011	-9,9
18.06.2011	-10,7
19.06.2011	-8,3
20.06.2011	-7,6
21.06.2011	-8,4
22.06.2011	-7,6
23.06.2011	-11,9
24.06.2011	-9,3
25.06.2011	-6,8
26.06.2011	-8,1
27.06.2011	-9,1
28.06.2011	-14,9
29.06.2011	-14,4
30.06.2011	-18,8

Дата	T, °C
01.07.2011	-20,0
02.07.2011	-18,5
03.07.2011	-18,8
04.07.2011	-16,6
05.07.2011	-16,7
06.07.2011	-14,7
07.07.2011	-16,1
08.07.2011	-14,8
09.07.2011	-15,5
10.07.2011	-17,4
11.07.2011	-14,7
12.07.2011	-10,8
13.07.2011	-8,2
14.07.2011	-8,1
15.07.2011	-14,7
16.07.2011	-14,4
17.07.2011	-16,5
18.07.2011	-17,2
19.07.2011	-15,1
20.07.2011	-16,3
21.07.2011	-21,5
22.07.2011	-25,5
23.07.2011	-17,0
24.07.2011	-12,0
25.07.2011	-12,5
26.07.2011	-14,3
27.07.2011	-18,4
28.07.2011	-15,9
29.07.2011	-15,2
30.07.2011	-12,4
31.07.2011	-9,7

Дата	T, °C
01.08.2011	-7,4
02.08.2011	-14,4
03.08.2011	-20,3
04.08.2011	-20,5
05.08.2011	-25,4
06.08.2011	-20,6
07.08.2011	-12,6
08.08.2011	-10,7
09.08.2011	-12,3
10.08.2011	-9,2
11.08.2011	-10,2
12.08.2011	-10,4
13.08.2011	-11,4
14.08.2011	-14,4
15.08.2011	-13,1
16.08.2011	-11,9
17.08.2011	-11,3
18.08.2011	-9,1
19.08.2011	-13,5
20.08.2011	-16,6
21.08.2011	-18,9
22.08.2011	-21,2
23.08.2011	-19,0
24.08.2011	-16,1
25.08.2011	-10,4
26.08.2011	-8,9
27.08.2011	-11,8
28.08.2011	-13,0
29.08.2011	-16,3
30.08.2011	-19,5
31.08.2011	-20,8

Дата	T, °C
01.09.2011	-18,6
02.09.2011	-15,3
03.09.2011	-8,6
04.09.2011	-13,1
05.09.2011	-11,8
06.09.2011	-13,1
07.09.2011	-16,4
08.09.2011	-13,7
09.09.2011	-12,4
10.09.2011	-14,6
11.09.2011	-12,6
12.09.2011	-13,0
13.09.2011	-18,1
14.09.2011	-22,9
15.09.2011	-22,6
16.09.2011	-23,2
17.09.2011	-27,8
18.09.2011	-23,1
19.09.2011	-19,9
20.09.2011	-20,0
21.09.2011	-13,7
22.09.2011	-14,1
23.09.2011	-14,5
24.09.2011	-13,4
25.09.2011	-13,7
26.09.2011	-13,5
27.09.2011	-16,9
28.09.2011	-17,5
29.09.2011	-17,2
30.09.2011	-14,4

Дата	T, °C
01.10.2011	-14,4
02.10.2011	-14,6
03.10.2011	-10,6
04.10.2011	-10,5
05.10.2011	-10,3
06.10.2011	-12,4
07.10.2011	-10,0
08.10.2011	-10,9
09.10.2011	-14,8
10.10.2011	-16,8
11.10.2011	-17,4
12.10.2011	-19,1
13.10.2011	-19,0
14.10.2011	-14,4
15.10.2011	-16,0
16.10.2011	-12,3
17.10.2011	-16,9
18.10.2011	-19,5
19.10.2011	-17,2
20.10.2011	-17,5
21.10.2011	-16,2
22.10.2011	-13,1
23.10.2011	-15,4
24.10.2011	-10,1
25.10.2011	-8,7
26.10.2011	-8,2
27.10.2011	-8,5
28.10.2011	-9,0
29.10.2011	-8,0
30.10.2011	-12,6
31.10.2011	-10,7

Дата	T, °C
01.11.2011	-9,5
02.11.2011	-7,7
03.11.2011	-3,2
04.11.2011	-1,4
05.11.2011	-4,9
06.11.2011	-3,1
07.11.2011	-5,1
08.11.2011	-4,8
09.11.2011	-5,4
10.11.2011	-3,8
11.11.2011	-5,5
12.11.2011	-6,8
13.11.2011	-7,0
14.11.2011	-6,4
15.11.2011	-7,0
16.11.2011	-5,9
17.11.2011	-6,1
18.11.2011	-4,8
19.11.2011	-3,7
20.11.2011	-1,8
21.11.2011	-1,7
22.11.2011	-1,3
23.11.2011	-3,8
24.11.2011	-3,3
25.11.2011	-3,8
26.11.2011	-3,1
27.11.2011	-4,0
28.11.2011	-4,3
29.11.2011	-2,6
30.11.2011	-4,9

Дата	T, °C
01.12.2011	-8,7
02.12.2011	-7,8
03.12.2011	-6,9
04.12.2011	-6,7
05.12.2011	-5,5
06.12.2011	-5,9
07.12.2011	-6,3
08.12.2011	-7,8
09.12.2011	-6,8
10.12.2011	-4,9
11.12.2011	-5,5
12.12.2011	-6,2
13.12.2011	-7,2
14.12.2011	-7,1
15.12.2011	-6,4
16.12.2011	-2,9
17.12.2011	-0,2
18.12.2011	-1,9
19.12.2011	-1,5
20.12.2011	-0,3
21.12.2011	0,4
22.12.2011	0,0
23.12.2011	1,4
24.12.2011	-0,3
25.12.2011	-2,1
26.12.2011	-3,0
27.12.2011	-1,8
28.12.2011	-2,4
29.12.2011	-2,8
30.12.2011	-0,7
31.12.2011	-1,3

Дата	T, °C
01.01.2012	0,0
02.01.2012	-0,1
03.01.2012	-1,1
04.01.2012	-1,1
05.01.2012	1,1
06.01.2012	-3,9
07.01.2012	-3,4
08.01.2012	-1,9
09.01.2012	0,2
10.01.2012	0,7
11.01.2012	0,6
12.01.2012	-2,6
13.01.2012	-3,0
14.01.2012	-1,1
15.01.2012	-1,6
16.01.2012	-1,6
17.01.2012	-1,8
18.01.2012	-0,3
19.01.2012	-1,5
20.01.2012	-3,0
21.01.2012	-3,9
22.01.2012	-4,8
23.01.2012	-3,3
24.01.2012	-3,0
25.01.2012	-2,0
26.01.2012	-1,3
27.01.2012	0,2
28.01.2012	-0,2
29.01.2012	-1,4
30.01.2012	-0,3
31.01.2012	-0,1

Дата	T, °C
01.02.2012	-0,6
02.02.2012	-2,2
03.02.2012	-3,4
04.02.2012	-2,4
05.02.2012	-3,7
06.02.2012	-1,8
07.02.2012	-3,4
08.02.2012	-4,5
09.02.2012	-5,9
10.02.2012	-5,2
11.02.2012	-3,1
12.02.2012	-3,9
13.02.2012	-3,1
14.02.2012	-1,7
15.02.2012	-2,9
16.02.2012	-3,6
17.02.2012	-4,3
18.02.2012	-5,0
19.02.2012	-6,3
20.02.2012	-8,5
21.02.2012	-6,0
22.02.2012	-7,5
23.02.2012	-7,2
24.02.2012	-4,8
25.02.2012	-4,8
26.02.2012	-8,1
27.02.2012	-13,7
28.02.2012	-3,8
29.02.2012	-1,3

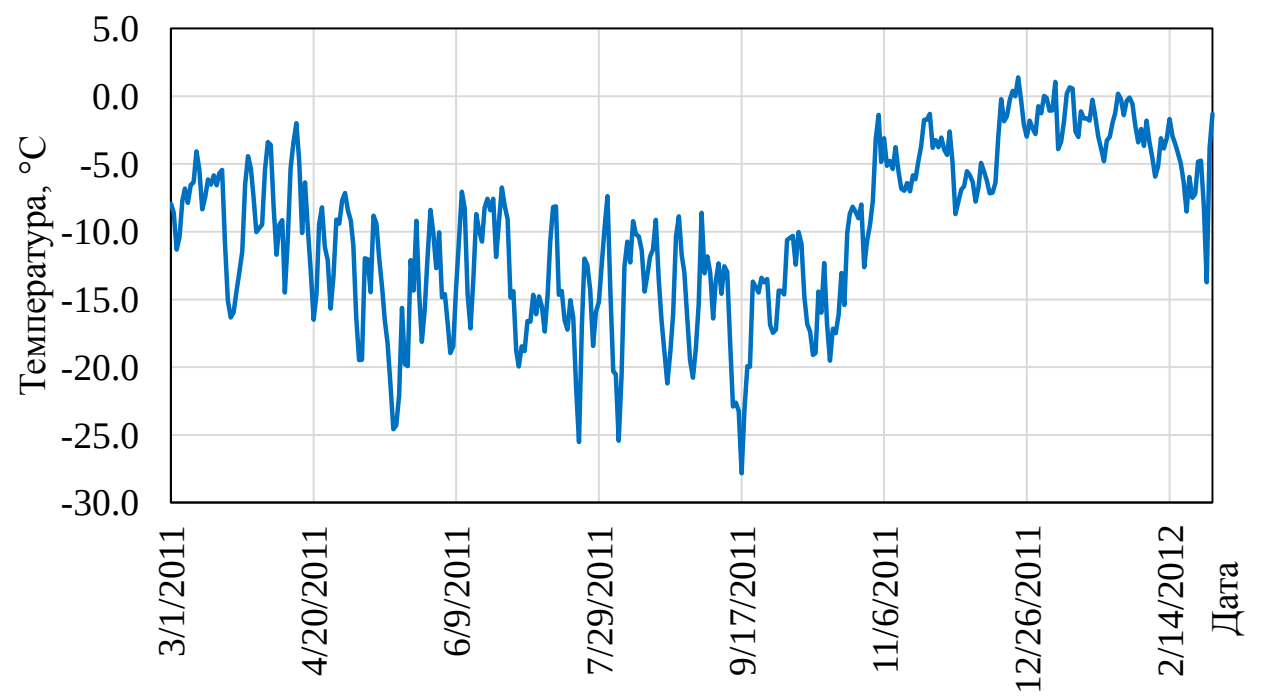


Рисунок 2.3. Температура воздуха (экспериментальные данные ст. Новозазаревская)

2.4. Данные Ар-индексов и ледовитости вод Антарктики
за период 1979-2003 гг.

Год	Уэделла	Росса	Беллинсгаузена и Амудсена	Антарктида	Ар- index
1979	3,52	1,90	1,25	8,77	15
1980	3,70	1,68	1,02	8,42	11
1981	3,44	2,03	1,04	8,65	16
1982	3,20	2,18	1,09	8,83	23
1983	3,35	2,05	1,00	8,60	19
1984	3,36	2,14	1,04	8,77	19
1985	3,31	2,20	1,08	8,90	14
1986	3,08	2,00	1,31	8,33	13
1987	3,33	2,15	1,14	8,66	11
1988	3,42	2,27	0,87	8,75	13
1989	3,20	2,18	0,94	8,76	19
1990	3,17	2,19	1,12	8,72	16
1991	3,57	2,01	0,97	8,72	23
1992	3,70	1,95	0,82	8,62	17
1993	3,38	1,98	0,97	8,71	15
1994	3,67	2,14	1,02	9,08	18
1995	3,60	2,13	1,02	8,94	13
1996	3,31	2,40	1,06	8,90	9
1997	3,22	2,10	0,95	8,75	8
1998	3,20	2,33	0,90	8,88	12
1999	3,03	2,47	1,00	8,92	13
2000	3,48	2,30	1,06	9,05	15
2001	3,29	2,28	0,99	8,81	13
2002	3,51	2,12	0,97	8,56	13
2003	3,68	2,22	0,98	9,10	22

2.5. Методики обработки данных

В ходе настоящей дипломной работы был выполнен подробный статистический анализ экспериментальных данных, полученных на научной станции Новолазаревская в период с 1-го марта 2011 года по 29 февраля 2012 года. Было использовано следующее программное обеспечение:

- пакет «Статистика» для программы Microsoft Excel;
- программа «Мезозавр».

Исходные данные по DHZ-компонентам магнитного поля Земли, температуре воздуха и направлению ветра были осреднены до ежесуточных значений. Затем для полученных рядов была выполнена общая описательная статистика, построены линии тренда, проведены анализы наличия корреляции между этими рядами и спектральный анализ. Полученные результаты были занесены в таблицы и проанализированы. Для наглядности были построены графики.

Отдельно был проведён анализ ежегодных данных по ледовитости морей Росса, Уэделла, Беллинсгаузена, Амундсена и вод Антарктики в общем. Данные получены по спутниковым снимкам и хранятся в архивах ААНИИ. Были использованы значения за 25 лет (1979 – 2003 гг.). В ходе данной работы исследовалась связь ледовитости с ежегодными значениями планетарных A_p -индексов за этот же период.

Глава 3. Результаты анализа

3.1. Анализ ежесуточных экспериментальных данных ГМВ на ст. Новолазаревская и их сравнение с A_p -индексами геомагнитной возмущенности

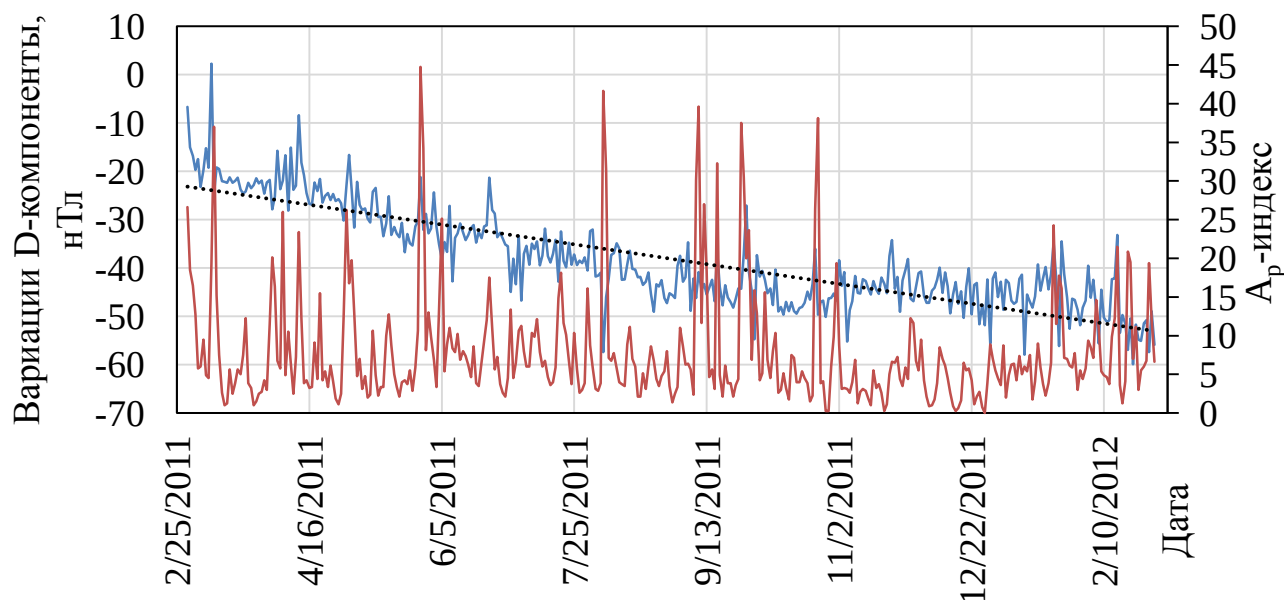


Рисунок 3.1.1. Вариации D-компоненты магнитного поля Земли и A_p -индекс

(D-индекс — синяя линия, A_p -индекс — красная линия)

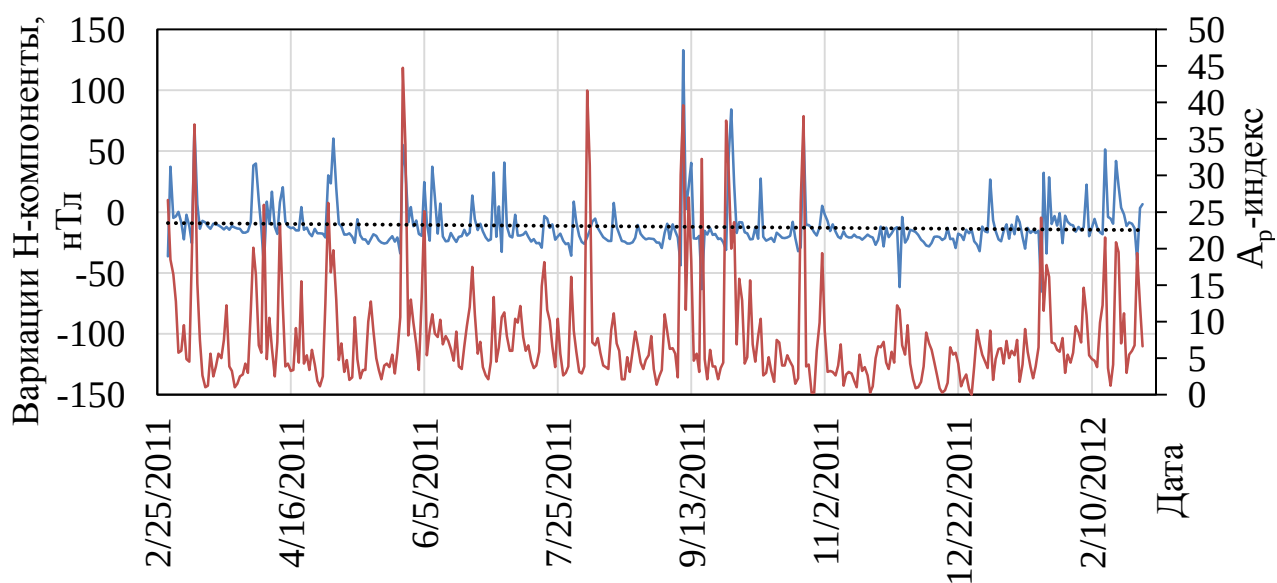


Рисунок 3.1.2. Вариации H-компоненты магнитного поля Земли и A_p -индекс

(H-компонента — синяя линия, A_p -индекс — красная линия)

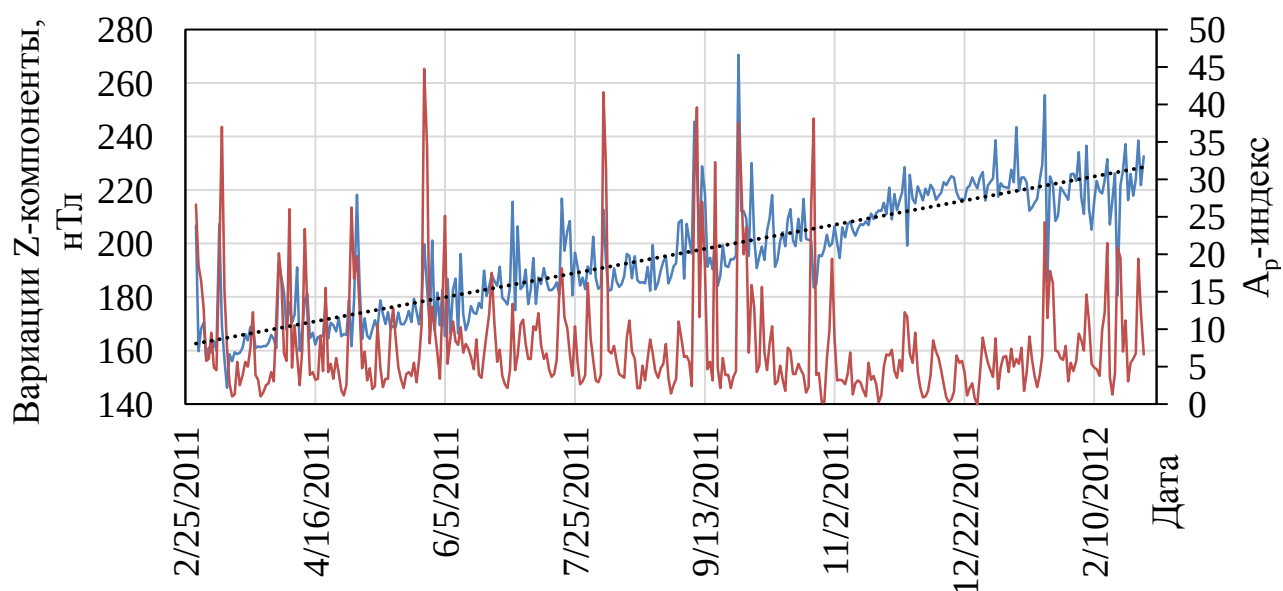


Рисунок 3.1.3. Вариации Z-компоненты магнитного поля Земли и A_p -индекс

(Z-компонента – красная линия, A_p -индекс – синяя линия)

По первым трём графикам можно дать оценку трендовым составляющим изменений компонент магнитного поля Земли. Для H-компоненты тренд практически равен нулю, в то время как у D- и Z-компонент тренд четко выделен. Это говорит о том, что вариации поля для данных компонент усиливаются.

Поскольку изменения DHZ-компонент магнитного поля и планетарного A_p -индекса являются короткопериодными процессами, для удобства обработки данные были разбиты по месяцам. Затем были построены совместные графики изменений пар значений: D-компонента и A_p -индекс, H-компонента и A_p -индекс, Z-компонента и A_p -индекс. Была произведена визуальная оценка данных графиков. Поскольку целью работы было лишь нахождение связи между колебаниями этих величин, можно привести данные за два месяца. В качестве примера были выбраны март и сентябрь 2011 года.

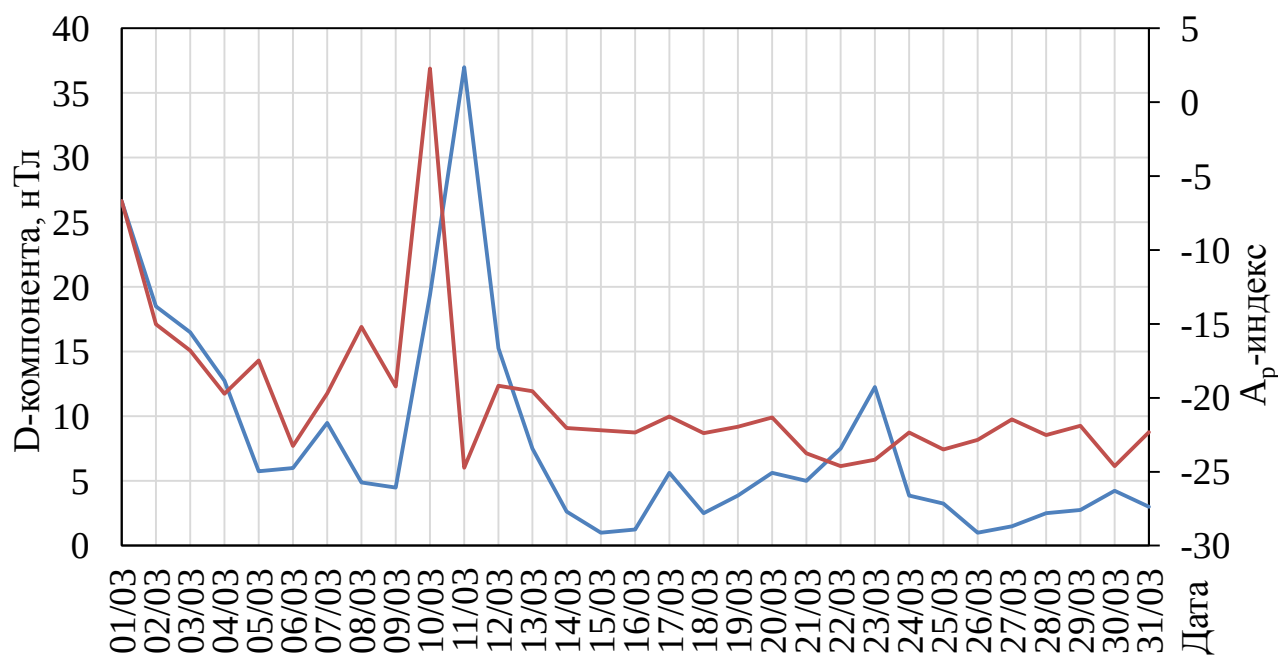


Рисунок 3.1.4. Вариации D-компоненты магнитного поля Земли и планетарного А_p-индекса за март 2011 года
(D-индекс – красная линия, А_p-индекс – синяя линия)

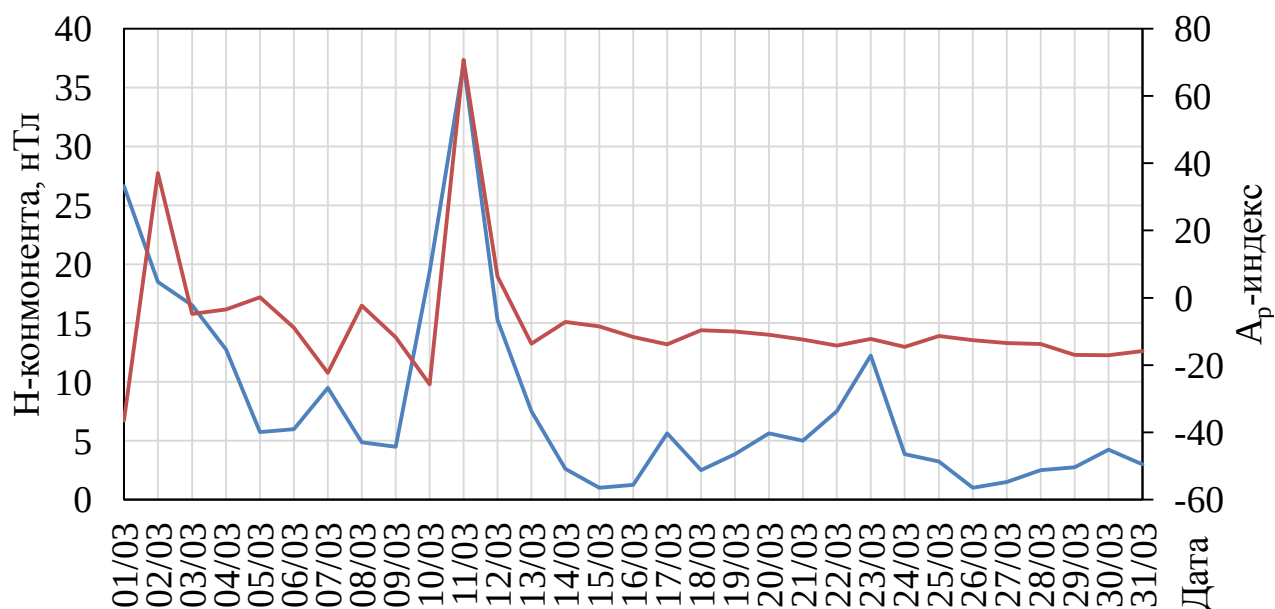


Рисунок 3.1.5. Вариации H-компоненты магнитного поля Земли и планетарного А_p-индекса за март 2011 года
(H-индекс – красная линия, А_p-индекс – синяя линия)

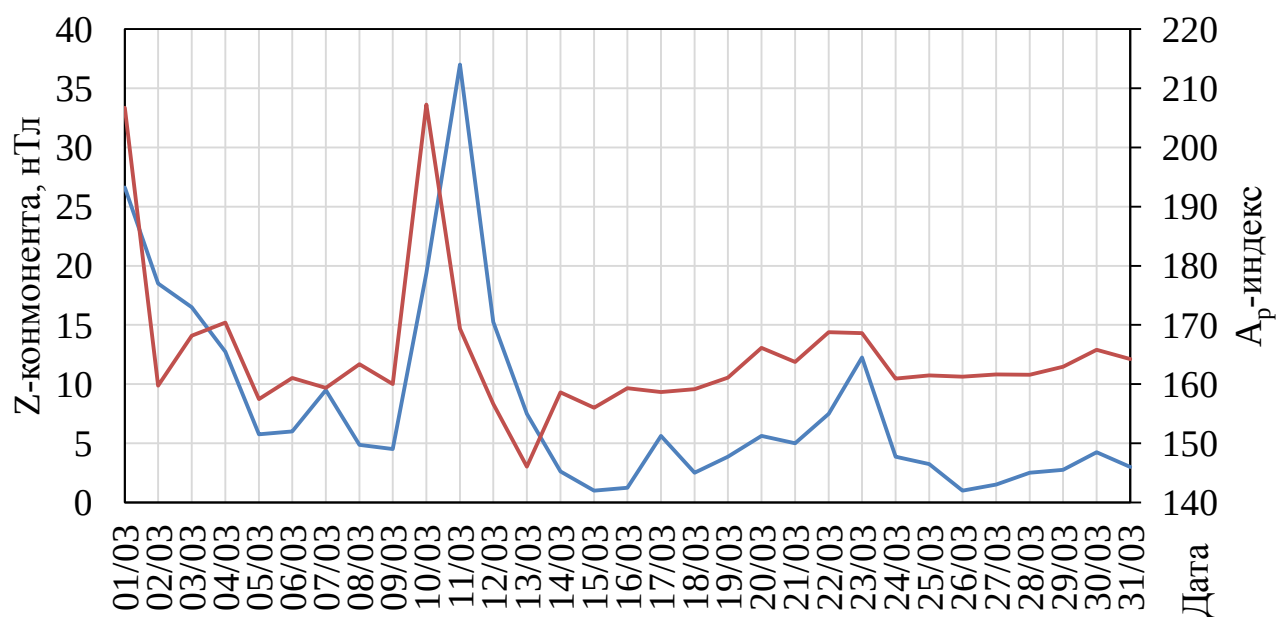


Рисунок 3.1.6. Вариации Z-компоненты магнитного поля Земли и планетарного А_p-индекса за март 2011 года
(Z-индекс – красная линия, А_p-индекс – синяя линия)

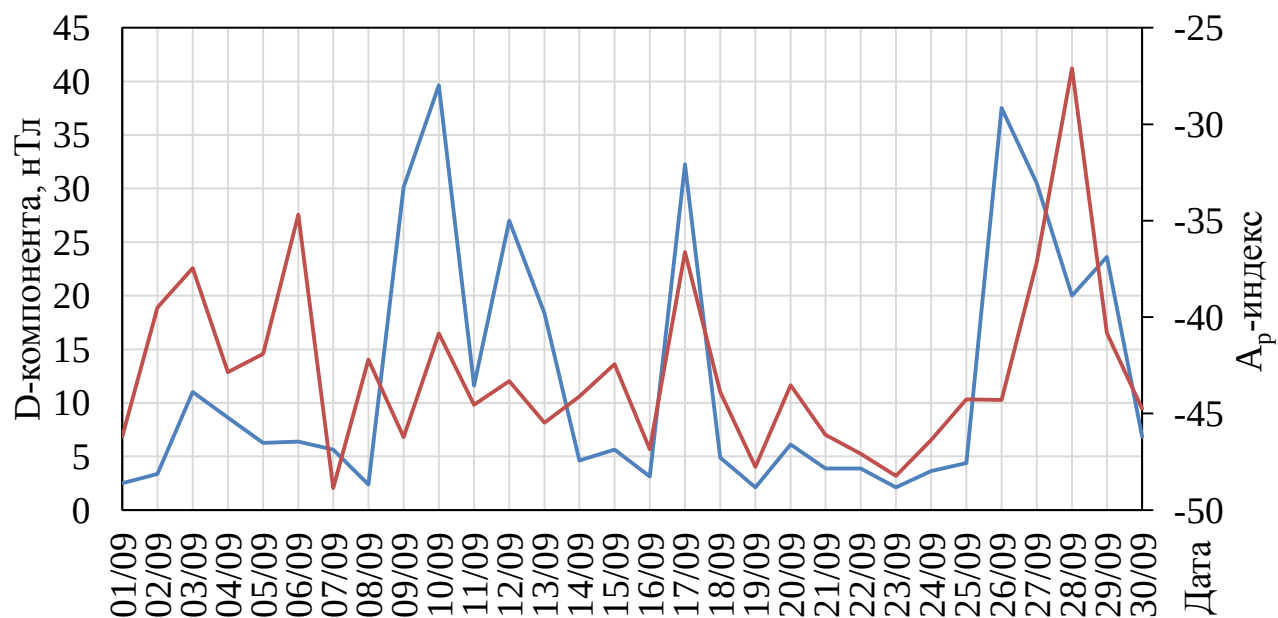


Рисунок 3.1.7. Вариации D-компоненты магнитного поля Земли и планетарного А_p-индекса за сентябрь 2011 года
(D-индекс – красная линия, А_p-индекс – синяя линия)

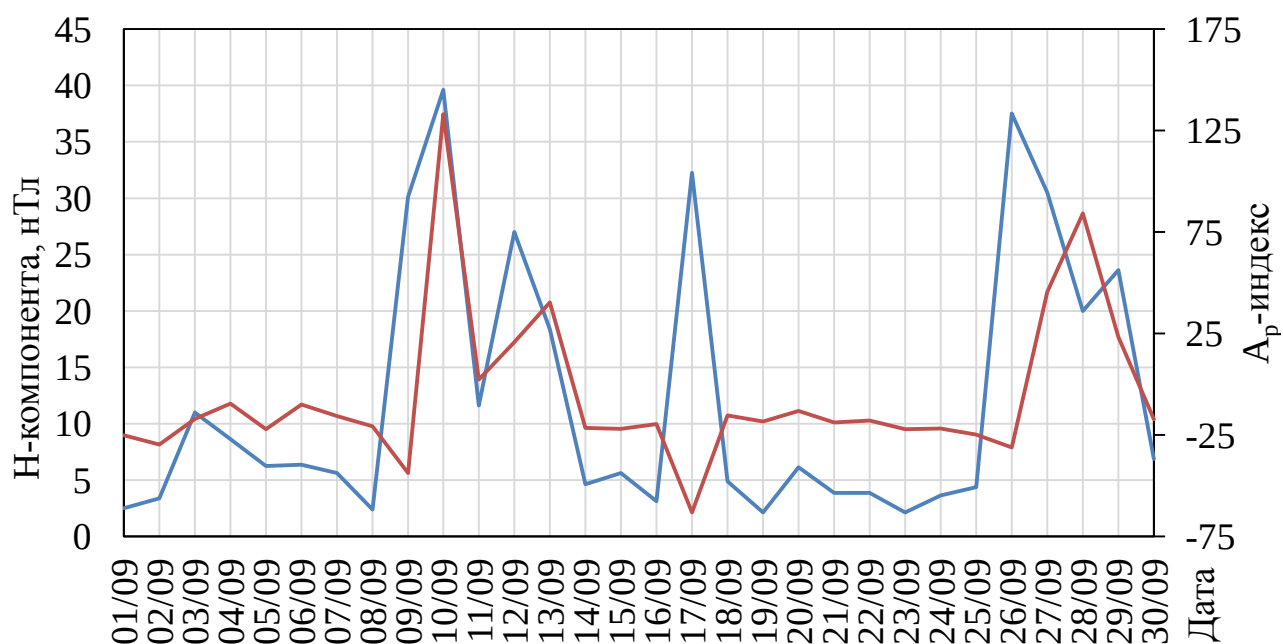


Рисунок 3.1.8. Вариации Н-компоненты магнитного поля Земли и планетарного А_р-индекса за сентябрь 2011 года
(Н-индекс – красная линия, А_р-индекс – синяя линия)

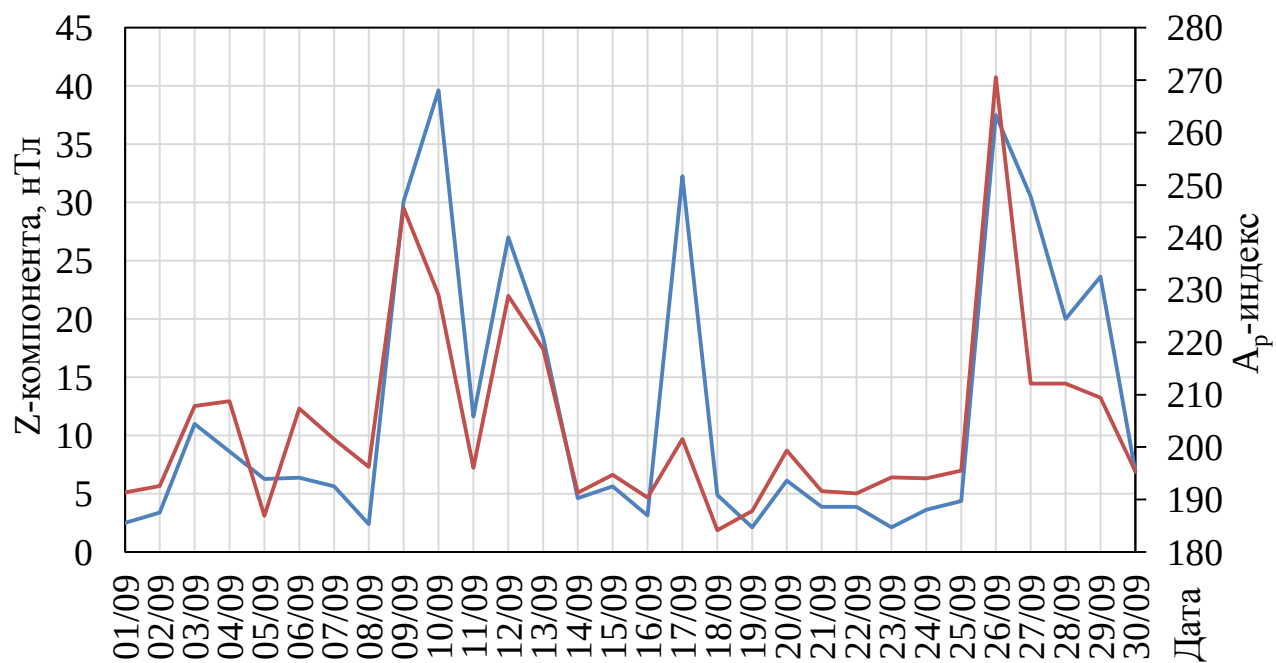


Рисунок 3.1.9. Вариации Z-компоненты магнитного поля Земли и планетарного А_р-индекса за сентябрь 2011 года
(Z-индекс – красная линия, А_р-индекс – синяя линия)

Визуальный анализ указывает на наличие очень сильной связи между вариациями всех трёх компонент магнитного поля Земли и планетарного A_p -индекса. Поскольку эти вариации имеют одну и ту же природу, логично предположить, что они должны происходить синхронно. Это чётко видно на графиках. Так же можно отметить, что связь между вариациями компонент магнитного поля и A_p -индекса может иметь одинаковый или разный знак. Что же касается наблюдаемых сдвигов, различия знаков связи и прочих расхождений - это можно легко объяснить. A_p -индекс – это глобальная характеристика магнитного поля, а DHZ-вариации – локальная. В результате данного анализа можно сделать несколько выводов:

1. Связь между вариациями DHZ-компонент магнитного поля Земли и вариациями планетарного A_p -индекса можно считать доказанной на основании сравнения имеющихся данных и единой природы данных вариаций;
2. Для количественной оценки данной связи необходимо при желании провести более глубоких анализ.
3. Для оценки влияния космогеофизических факторов на гидрофизические процессы, а также для прогнозирования этих процессов целесообразнее использовать данные о магнитных вариациях, полученных в исследуемом районе вместо глобальных A_p -индексов. Поскольку данные о вариациях магнитного поля являются гораздо более информативными. Разумеется это связано с необходимостью организации непрерывных наблюдений за магнитными вариациями в данном районе по аналогии с наблюдениями, проводимыми на станции Новолазаревская.

3.2. Анализ связи между ГМВ и характеристиками ветра с купола Антарктиды в летнее время

Для анализа связи между магнитными вариациями и ветром с купола Антарктиды были выбраны летние месяцы южного полушария – декабрь, январь и февраль. Это обусловлено тем, что в связи с потеплением, происходит таяние льда, а, следовательно, и образование айсбергов. Гидрофизические процессы происходят активнее. Поэтому в летний период растёт актуальность задачи прогнозирования данных процессов.

По аналогии с пунктом 3.1. данные по магнитным вариациям и характеристикам ветра были разбиты по месяцам. Анализ проводился для всех месяцев отдельно.

Далее рассмотрен пример статистического анализа данных на примере февраля 2012 года.

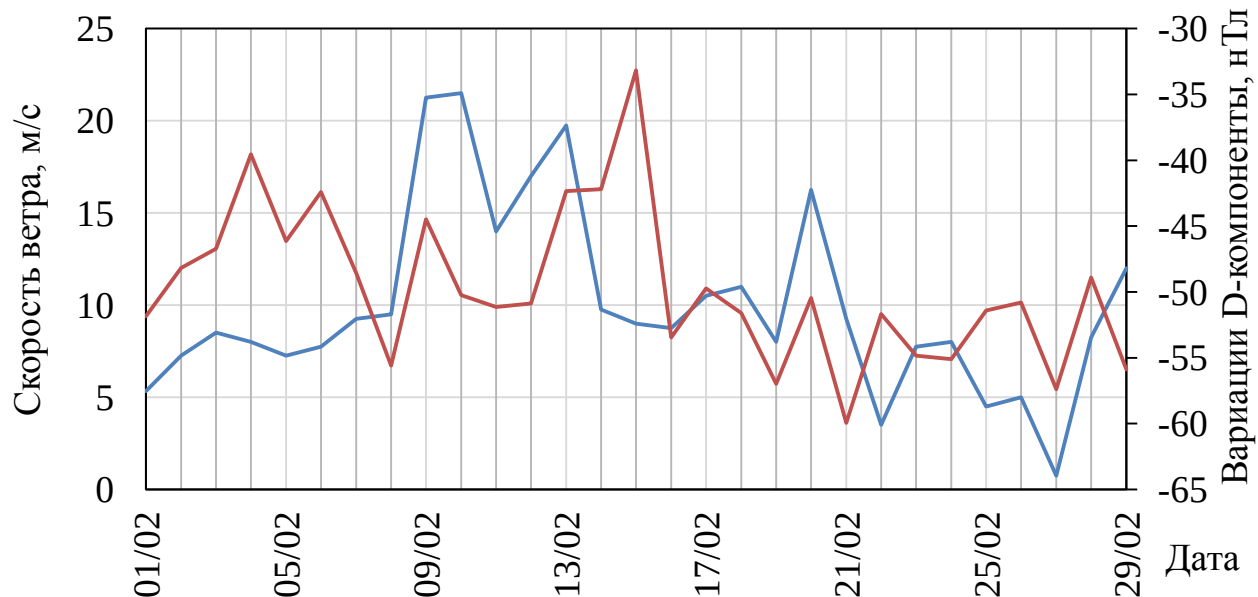


Рисунок 3.2.1. Вариации D-компоненты магнитного поля Земли и скорости ветра за февраль 2012 года

(D-компонента – красная линия, ветер – синяя линия)

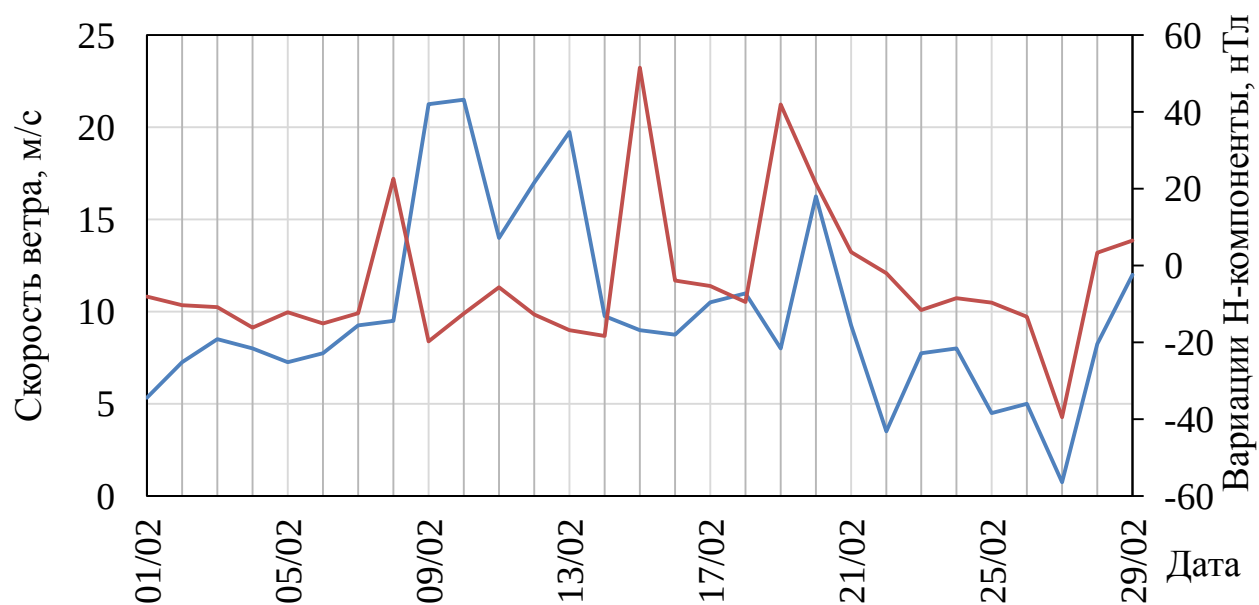


Рисунок 3.2.2. Вариации H-компоненты магнитного поля Земли и скорости ветра за февраль 2012 года

(D-компонента – красная линия, ветер – синяя линия)

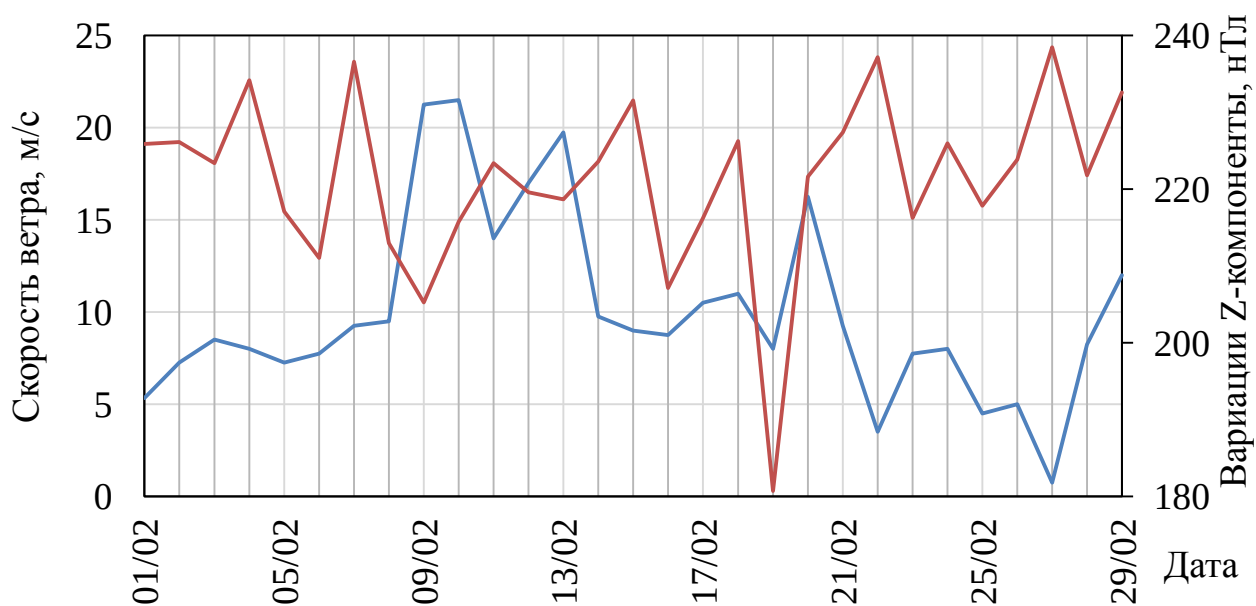


Рисунок 3.2.3. Вариации Z-компоненты магнитного поля Земли и скорости ветра за февраль 2012 года

(D-компонента – красная линия, ветер – синяя линия)

На графиках сразу можно отметить, что синхронно или с задержкой в одни сутки за сильными скачками вариаций магнитных компонент следует

резкое усиление ветра. В течение всего периода наблюдений во время сильных магнитных бурь, сопровождавшихся полярным сиянием, наблюдался штормовой ветер. Этот механизм связи объясняется тем, что преобладающим направлением ветра на станции Новолазаревская является юго-восточное. Данный ветер дует более чем в половине дней в году. Данное направление соответствует ветру, дующему из центральной Антарктики, а если быть точным со стороны магнитного полюса Земли. Атмосферные процессы в центральной Антарктике в значительной степени зависят от возмущенности солнечного ветра. Когда межпланетное магнитное поле длительное время имеет южное направление, межпланетное электрическое поле значительно увеличивается, оно, воздействуя через изменения в глобальной электрической цепи, способствует созданию условий для формирования слоя облаков на высоте 5-10 км. Этот слой действует как экран для радиационного выхолаживания на поверхности ледяного купола, в результате чего происходит быстрое атмосферное потепление. Потепление же в приполюсном районе будет влиять на ветровую систему всей Антарктики. [10]

Для более точной оценки вариаций исследуемых величин был проведен кросс-спектральный анализ, были выделены фазовые сдвиги и когерентность. Результаты анализа данных за февраль 2012 года были занесены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2. Результаты статистического анализа данных магнитных вариаций и скорости ветра в феврале 2012 года

	N	Период	Кросс-спектр	Фаза	Когерентность	Сдвиг
D	1	7,69	45,32	-41,06	0,72	-1
	2	2,56	28,75	54,22	0,88	0
H	1	7,69	54,13	67,81	0,35	1
	2	3,33	127,49	140,86	0,79	1
	3	2,17	32,20	87,15	0,60	1
Z	1	3,45	104,00	-63,46	0,86	-1
	2	2,08	19,34	-162,19	0,70	-1

Для всех компонент магнитного поля можно выделить три общих периода: 2, 3 и 7 дней. Фазовый сдвиг скорости ветра относительно магнитных компонентов не превышает во всех случаях одного года. После выявления общих периодов была проведена узкополосная фильтрация парных рядов с выделением только этих периодов. Результат для одной пары рядов представлен в графике 3.2.4.

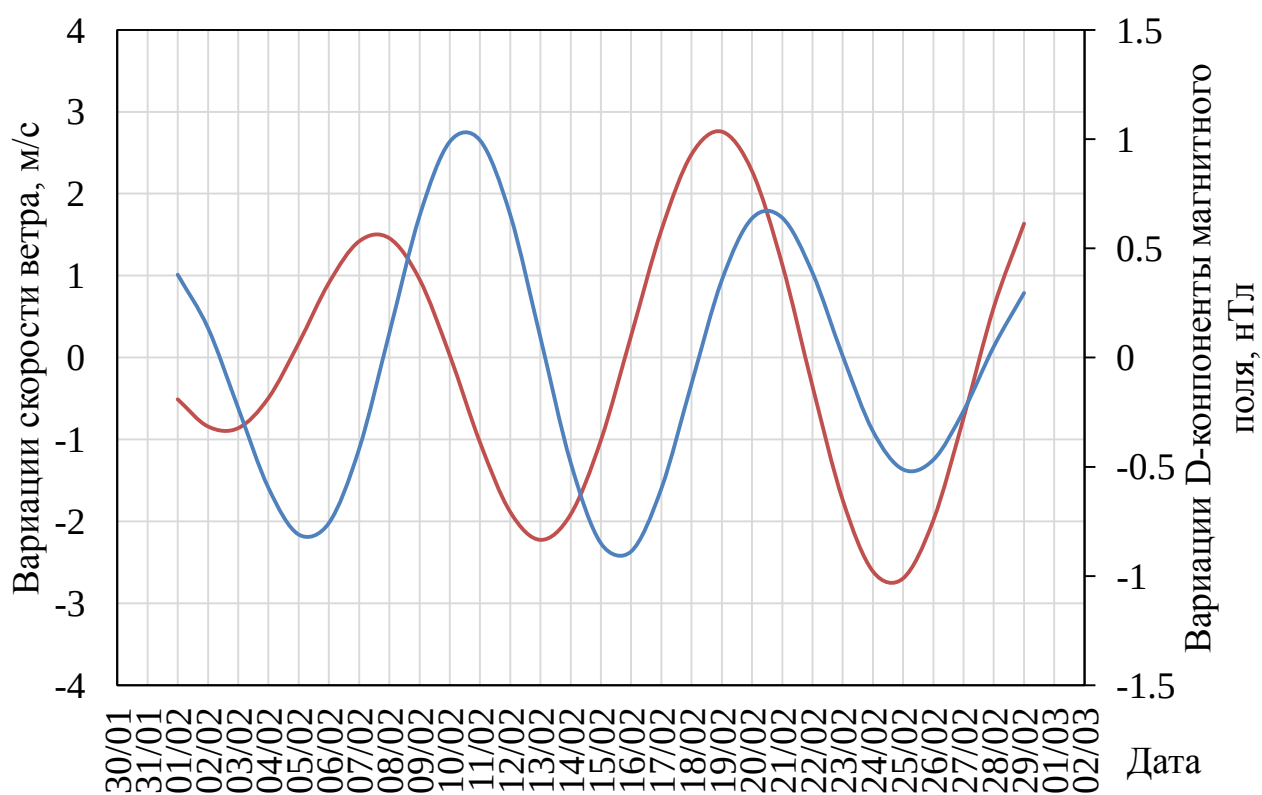


Рисунок 3.2.4. Спектральная плотность скорости ветра и D-компоненты магнитного поля Земли для февраля 2012 года

(D-компонента – красная линия, скорость ветра – синяя линия)

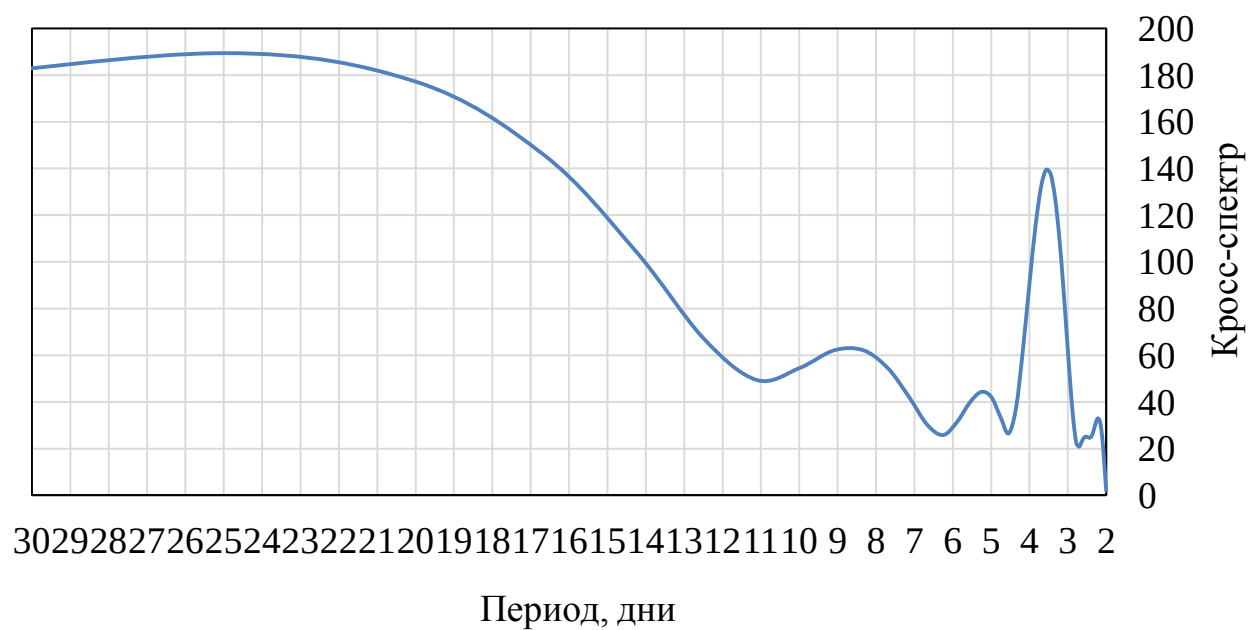


Рисунок 3.2.5. Кросс-спектр для скорости ветра и D-компоненты магнитного поля Земли для февраля 2012 года

3.3. Анализ связи между A_p -индексом и ледовитостью вод Антарктики

Для анализа были использованы данные ледовитости из архива ААНИИ, полученные по спутниковым данным. Они приведены в параграфе 2.4. Для проведения статистической обработки графические данные были оцифрованы. Из имеющихся архивов Интернета были взяты геомагнитные характеристики в виде числовых значений планетарного A_p -индекса за те же годы. Совместные графики приведены ниже (Рисунок 3.1. – 3.4.).

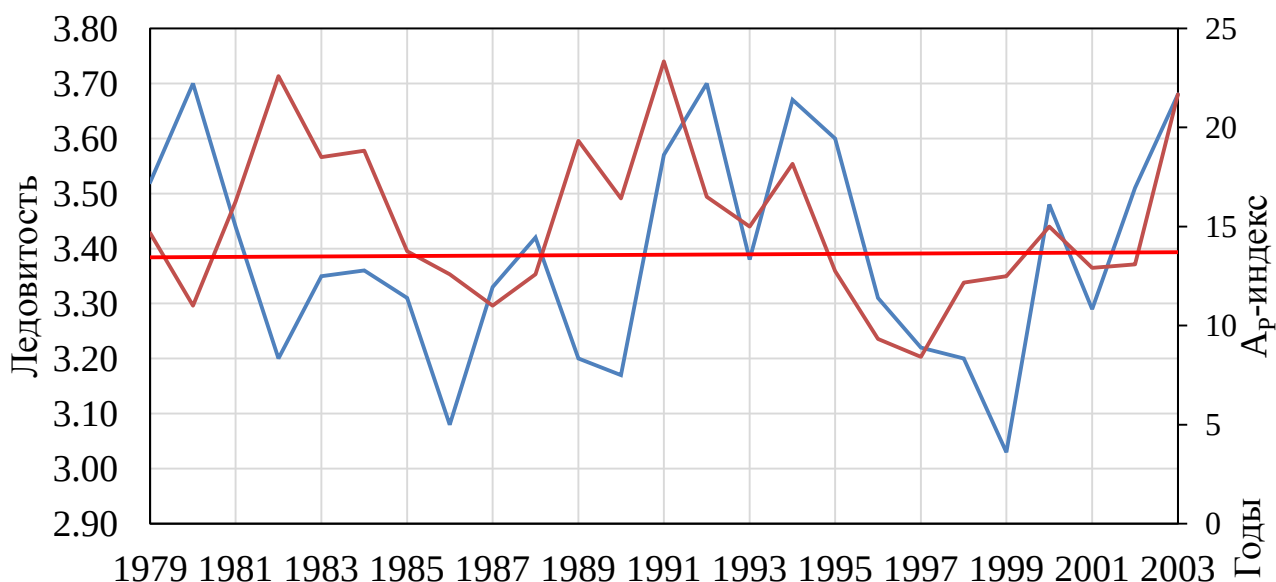


Рисунок 3.1. Изменения ледовитости моря Уэдделла

(Синяя кривая — значения ледовитости, красная линия — значения A_p -индекса, прямая линия — тренд ледовитости)

Визуальный анализ изменчивости двух характеристик показывает, что связь между ними существует, и характеристики ледовитости смещены по отношению к геомагнитным возмущениям. Это, видимо, поддерживает идею о возможности использования ГМВ как индикатора некоторых гидрофизических процессов в морях Южного океана.

Сравнение данных по ледовитости моря Росса и изменчивости Ар-индекса за этот же период (рис.3.2) демонстрирует более близкий характер связи. Возможно, это связано с тем, что море Росса расположено значительно ближе к южному геомагнитному полюсу, чем море Уэдделла. При этом тренд ледовитости (прямая линия) характеризует ее возрастание за показанные промежуток времени.

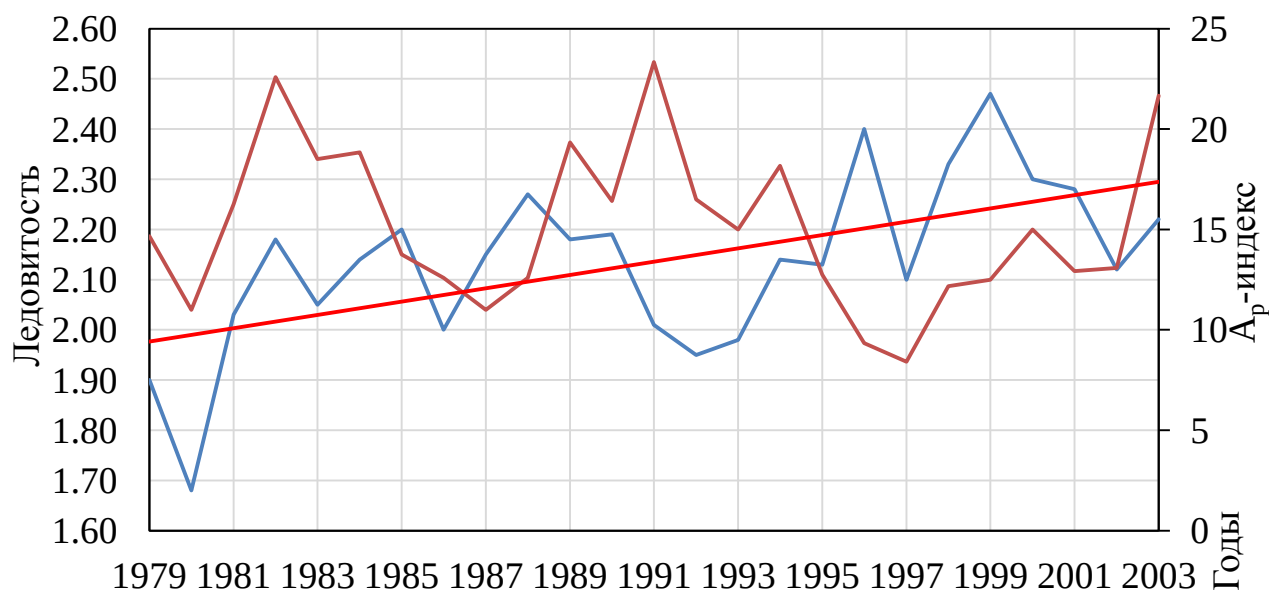


Рисунок 3.2. Изменения ледовитости моря Росса

(Синяя кривая – значения ледовитости, красная линия – значения Ар-индекса, прямая линия – тренд ледовитости)

Море Беллинсгаузена и Амундсена (рисунок 3.3.) имеют, как и море Росса, меньшее смещение значений ледовитости по отношению к Ар-индексу, чем море Уэдделла, хотя и расположено ближе к морю Уэдделла.

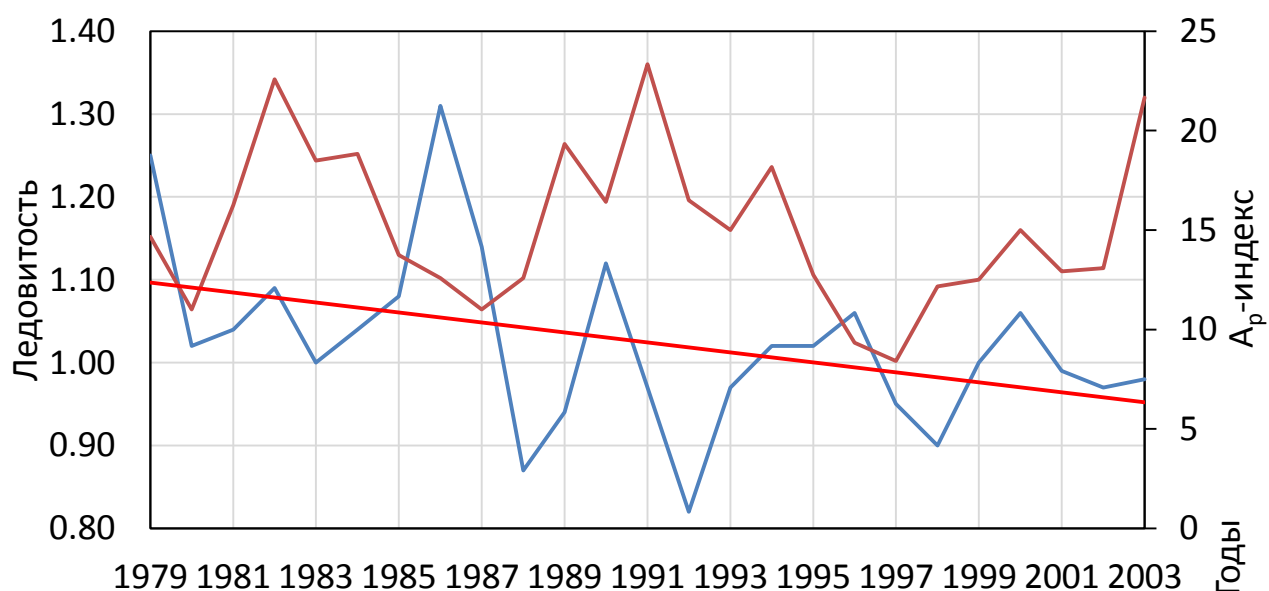


Рисунок 3.3. Изменения ледовитости моря Росса

(Синяя кривая – значения ледовитости, красная линия – значения A_p -индекса, прямая линия – тренд ледовитости)

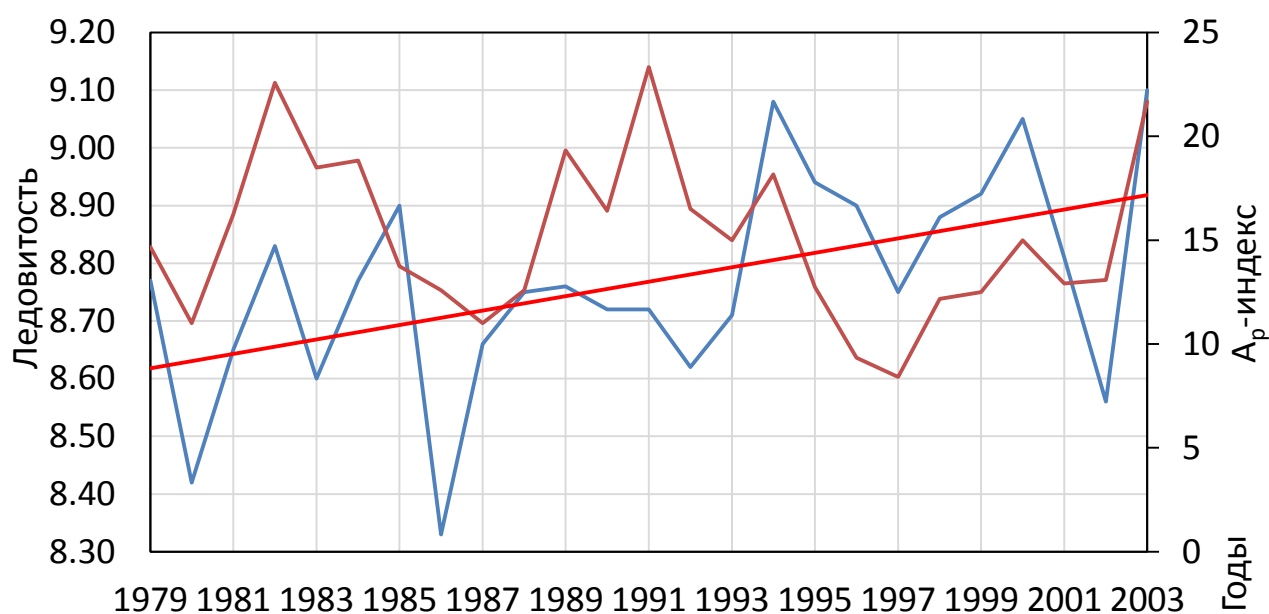


Рисунок 3.4. Изменения ледовитости Антарктики

(Синяя кривая – значения ледовитости, красная линия – значения A_p -индекса, прямая линия – тренд ледовитости)

На рисунке 3.4 показана общая характеристика связи общей ледовитости морей Южного океана и изменчивости Ар-индекса. Здесь также можно сказать, что связь существует. Смещение ледовитости по отношению к Ар-индексу существенно меньше, чем для моря Уэдделла.

Однако, визуальный анализ весьма ограничен по своим возможностям. Целесообразен статистический анализ, даже не смотря на крайне ограниченные ряды данных. Анализ проводился в статистическом пакете «Mesosaur». Результаты приводятся ниже.

Рассматривались такие статистические характеристики как периодограммы и спектры отдельных характеристик, так и кросс-спектры, где выделялось не только само значение взаимного спектра на совпадающих периодах, но также фазовые сдвиги и когерентность. Как известно, когерентность на близких периодах в кросс-спектре имеет смысл квадрата коэффициента корреляции.

Таблица 3.4. Результаты статистического анализа данных ледовитости и Ар-индекса.

	N	Период	Кросс-спектр	Фаза	Когерентность	Сдвиг
Антарктика	1	5	1,25	20,39	0,86	0,28
	2	3,23	1,18	-156,66	0,89	-1,41
	3	2,32	0,77	39,094	0,75	0,25
Моря Беллинсгаузена и Амундсена	1	7,14	0,99	-30,41	0,92	-0,60
	2	2,33	0,26	41,52	0,62	0,27
Море Росса	1	5,26	0,93	-177,11	0,84	-2,59
	2	2,33	0,41	-133,96	0,63	-0,87
Море Уэдделла	1	12,5	3,01	22,334	0,71	0,78
	2	5,56	0,53	172,6	0,64	2,67
	3	2,94	0,93	2,76	0,82	0,02

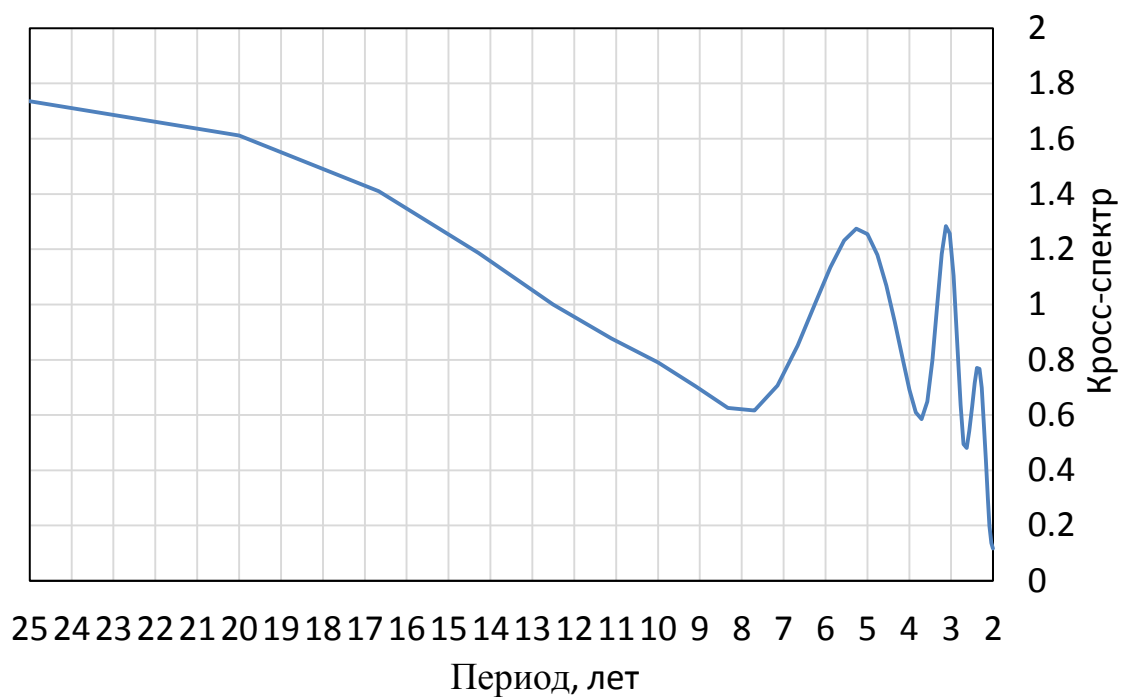


Рисунок 3.5. Кросс-спектр для A_p -индекса и ледовитости вод Антарктики

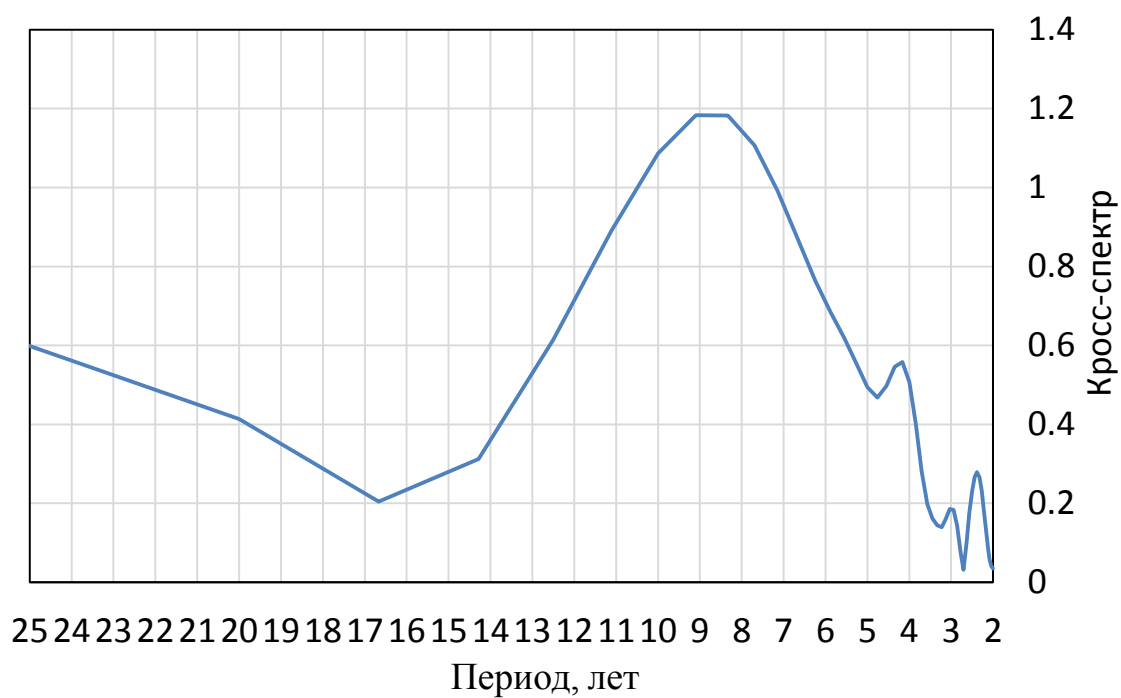


Рисунок 3.6. Кросс-спектр для A_p -индекса и ледовитости моря Уэдделла

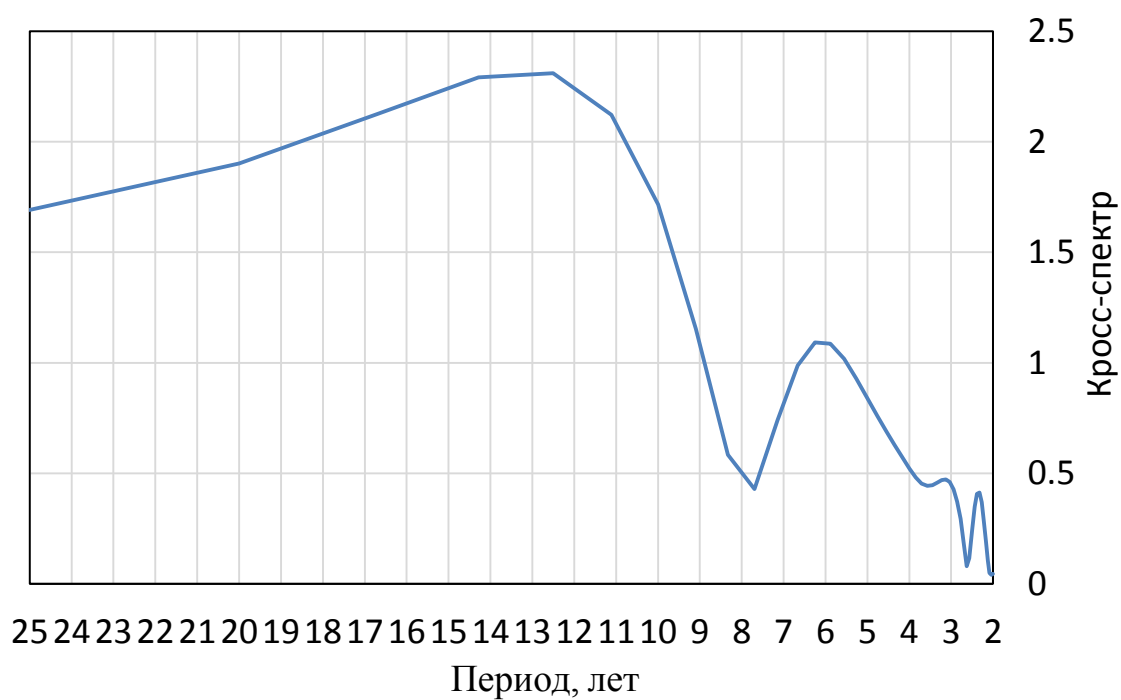


Рисунок 3.7. Кросс-спектр для A_p -индекса и ледовитости моря Росса

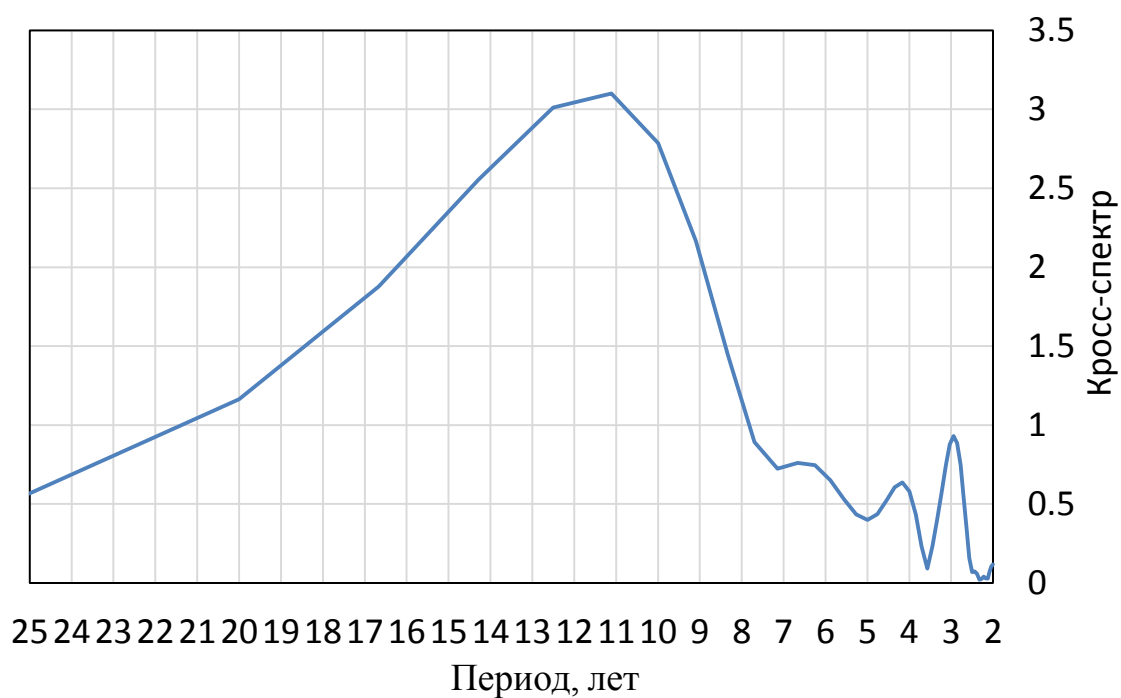


Рисунок 3.8. Кросс-спектр для A_p -индекса и ледовитости морей Беллинсгаузена и Амундсена

После выявления общих периодов проводилась узкополосная фильтрация парных рядов с выделением только этих периодов. Наиболее характерные результаты приведены на рисунках ниже.

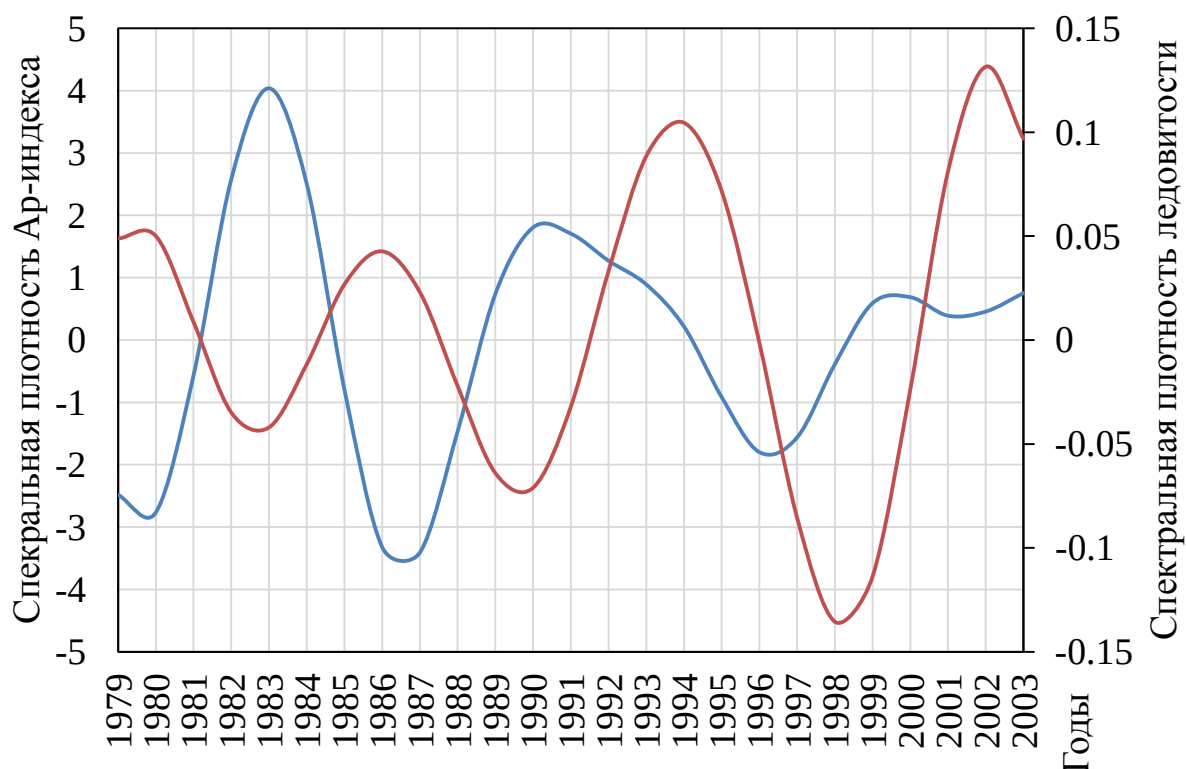


Рисунок 3.8. Спектральные плотность A_p -индекса и ледовитости моря

Уэдделла: характерный период 5,56 года

(A_p -индекс – красная линия, ледовитость – синяя линия)

Видно хорошо выраженное смещение максимумов спектральной плотности ледовитости по отношению к A_p -индексу. Оно составляет примерно до 3 лет. Из-за ограниченности рядов (25 лет) более надежных данных для выделенных длинных периодов получить не удалось.

Для длиннопериодной составляющей ледовитости моря Росса тоже наблюдается фазовый сдвиг по отношению к A_p -индексу (Рисунок 3.9). Однако этот сдвиг существенно меньше чем для моря Уэдделла – примерно на 1-1,5 года. Видимо, это обусловлено географической близостью моря Росса к геомагнитному полюсу.

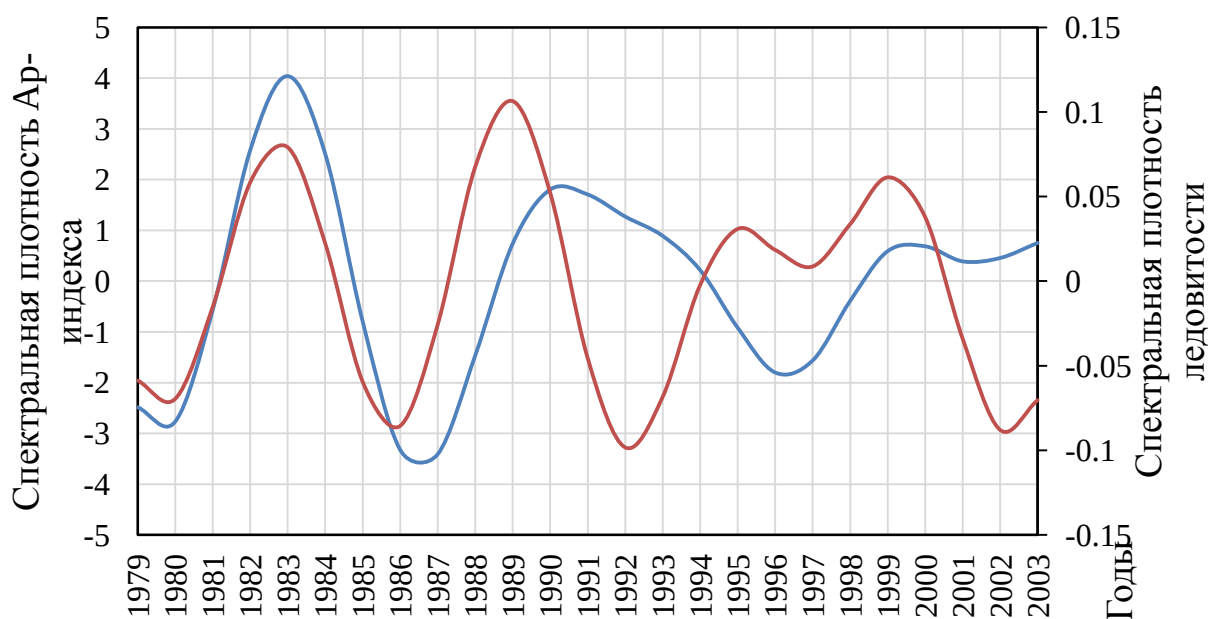


Рисунок 3.9. Спектральная плотность Ар-индекса и ледовитости моря

Россия: характерный период 2,33 года

(Ар-индекс – красная линия, ледовитость – синяя линия)

В целом, для морей Южного океана (Рисунок 3.10) характер связи менее выразителен. Сдвиг получается для разных максимумов слишком разный. Видимо, подобное суммирование значений ледовитости вряд ли можно считать целесообразным.

Полученные результаты являются лишь первой попыткой поиска связи гидрофизического режима Южного океана с общепланетарной геомагнитной возмущенностью. В дальнейшем целесообразно использовать более длинные ряды, а характеристики геомагнитной возмущенности брать не общепланетарные, а больше привязанные к Южному океану, т.е. данные антарктических магнитометрических наблюдений.

Поскольку изначальная идея о связи полученными результатами косвенно подтверждается, то наиболее целесообразны магнитометрические данные станции Восток.

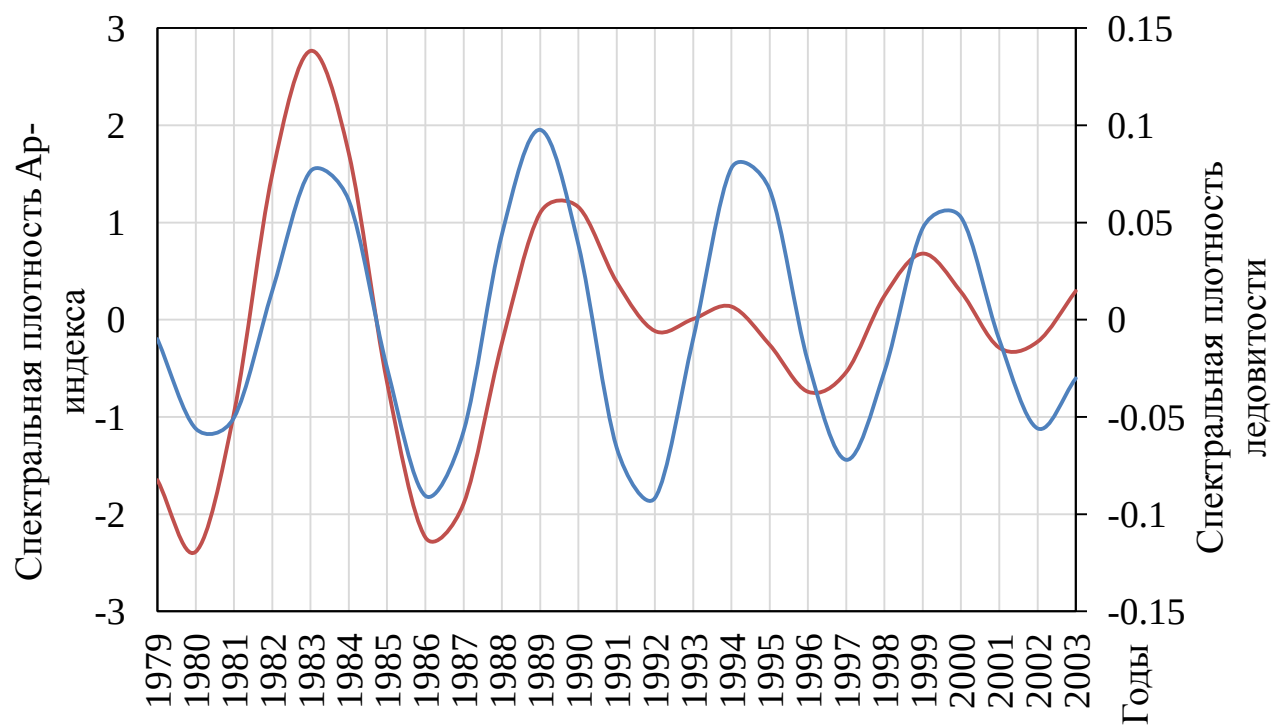


Рисунок 3.10. Спектральные плотность A_p -индекса и ледовитости вод

Антарктики: характерный период 3,23 года

(A_p -индекс – красная линия, ледовитость – синяя линия)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перед началом данной работы ставились следующие задачи. По экспериментальным данным, полученным в ходе работы 56 Российской Антарктической Экспедиции на станции Новолазаревская, а также по данным о ледовитости морей, хранящимся в архивах ААНИИ и планетарных A_p -индексах, имеющихся в свободном доступе в сети интернет, найти связь между следующими характеристиками:

1. Данными о магнитных вариациях, полученными на станции Новолазаревская и планетарными A_p -индексами;
2. Данными о магнитных вариациях и метеопараметрами, полученными на станции Новолазаревская;
3. Данными и планетарных A_p -индексах и данными о ледовитости морей Антарктики.

Был проделан большой объём работы. Все данные были осреднены до необходимых значений и помещены в один массив информации. Затем была проведена статистическая обработка получившихся данных. Для наглядности получившиеся результаты были занесены в таблицы, также были построены графики. Проанализировав полученные результаты можно сказать о том, что работа была проделана не зря и задачи, поставленные перед нами были выполнены.

Между магнитными вариациями, регистрируемыми непрерывно на станции Новолазаревская и планетарными A_p -индексами, являющимися средними значениями, получаемыми по результатам наблюдений на нескольких станциях по всему миру, присутствует чёткая связь. Также хочется выделить, что A_p -индекс – это глобальная характеристика, а магнитные вариации – локальная. Отсюда следует, что вариации DHZ-компонентов магнитного поля – гораздо более информативные величины, когда дело касается изучения и прогнозирования различным метеорологических и гидрофизических параметров определенного региона нашей планеты. Поэтому

в этих работах целесообразно использовать значения магнитных вариаций, получаемые непосредственно в данном регионе или близко к нему. Однако для этого требуется организация постоянного и непрерывного мониторинга этих вариаций.

Также была обнаружена связь между магнитными вариациями и метеопараметрами, регистрируемыми на станции Новолазаревская. Реакция метеопараметров относительно начала усиления вариаций магнитных компонент запаздывает примерно на 1 сутки. Это связано с удалением станции от магнитного полюса Земли на большое расстояние. Сама же природа этих связей заключается в так называемой замутнённости атмосферы в центральных районах Антарктики, вызванной усилением потока солнечного ветра. После начала регистрации усиления колебаний компонент магнитного поля, примерно через сутки наблюдаются сильные, а иногда и штормовые ветра юго-восточных направлений – с купола Антарктиды. Данная связь крайне важна в исследованиях гидрофизических процессов Южного океана, так как в работах других учёных было установлено влияние метеопараметров, в частности ветра, на различные характеристики океана. Например, на ледовитость морей Антарктики.

В дополнение к обработке данных, полученных непосредственно во время на работы на станции Новолазаревская, в ходе работы были использованы данные о ледовитости морей, окружающих Антарктиду, полученные по спутниковым наблюдениям. Массив данных включал в себя ежегодные данные о ледовитости морей Уэдделла, Росса, Беллинсгаузена и Амундсена, а также Антарктики в целом за период с 1979 по 2003 года. Было проведено сравнение величин ледовитости со значениями планетарного A_p -индекса, за этот же период, также имеющими годовую дискретность. В ходе обработки данных были обнаружены ряд связей. Имеется смысл продолжить искать связь ледовитости морей с геофизическими характеристиками, но уже, например, заменить глобальный A_p -индекс на локальные характеристики магнитных вариаций, которые определённо являются гораздо более

информативными величинами. В районе Антарктиды мониторинг за этими параметрами осуществляется непрерывно на ряде российских научных станций. Для описания какого-то конкретного моря целесообразно использовать данные, полученные на ближайшей станции.

Хочется отметить, что имеется возможность для дальнейшего более глубокого изучения рассмотренных вопросов, продолжающего и логически дополняющего данный дипломный проект.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Доронин Ю.П. Физика океана. Учебник.— СПб: Изд. РГГМУ, 2000.— 340 с.
2. Доронин Ю.П., Степанюк И.А. Электромагнитное поле океана. Учебное пособие. Санкт-Петербург: Изд-во РГГМИ, 1992. 87 с.
3. Южный океан. Антарктида // Атлас Мира / Сост. и подгот. к изд. ПКО «Картография» в 2009 г. ; гл. Ред. Г. В. Поздняк. — М. : ПКО «Картография» : Изд-во ОНИКС, 2010. — с. 201. — ISBN 978-5-85120-295-7 (Картография). — ISBN 978-5-488-02609-4 (ОНИКС).
4. Южный океан [Электронный ресурс], http://ru.wikipedia.org/Южный_океан - статья в интернете.
5. Оазис Ширмахера [Электронный ресурс], - [http://ru.wikipedia.org/Оазис Шармахера](http://ru.wikipedia.org/Оазис_Шармахера) - статья в интернете.
6. Новолазаревская [Электронный ресурс], - <http://ru.wikipedia.org/Новолазаревская> - статья в интернете.
7. Степанюк И. А. Электромагнитные поля при аэро- и гидрофизических процессах. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2002. – 214 с.
8. Вовк, В.Я., Егорова Л.В. Связь вариаций южной атмосферной циркуляции и космическая погода// Геомагнетизм и аэрономия. -2004. - №3 (44).- 402-406 с.
9. Вовк, В.Я., Егорова Л.В. Отклик метеопараметров нижней атмосферы в Антарктике на вариации вертикальной составляющей межпланетного магнитного поля// Геомагнетизм и аэрономия. -2005. - №4 (45).- 552-558 с.
10. Вовк, В.Я., Егорова Л.В. Роль солнечной активности в формировании аномального течения Эль-Ниньо// Геомагнетизм и аэрономия. -2007. - №1 (47).- 99-106 с.
11. Вовк, В.Я., Егорова Л.В. Влияние геомагнитной и вулканической активности на явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья// Геомагнетизм и аэрономия. -2009. - №2 (49).- 278-288 с.