

**Министерство образования и науки РФ
Федеральное агентство по образованию**

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (РГГМУ)**

**На правах рукописи
УДК 551.513.3+551.583**

Розанова Ирина Владимировна

**ЦИКЛОНИЧЕСКИЕ ЦЕНТРЫ ДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ,
ЦИРКУЛЯЦИЯ И КЛИМАТ ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ ВО
ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX СТОЛЕТИЯ**

25.00.30 – Метеорология, Климатология, Агрометеорология

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук**

Санкт-Петербург 2006

Диссертация выполнена в Российском Государственном Гидрометеорологическом университете (РГГМУ)

Научные руководители:	доктор географических наук, профессор Н.П.Смирнов доктор географических наук, профессор В.И.Воробьев
Официальные оппоненты:	доктор географических наук, профессор К.В.Кондратович кандидат географических наук, с.н.с. Л.Ю. Рыжаков
Ведущая организация	Кафедра климатологии и мониторинга окружающей среды факультета географии и геоэкологии Санкт-Петербургского Государственного университета

Защита состоится 26 декабря 2006 г. в 15 часов 30 минут на заседании
Диссертационного совета Д.212.197.01 при Российском Государственном
Гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург,
Малоохтинский пр., 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского Государственного
Гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан _ ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



доктор физ.-мат. наук
проф. А.Д.Кузнецов

Общая характеристика работы

Актуальность работы. На среднemesячных картах приземного давления на земном шаре отчетливо выделяются замкнутые области низкого и высокого давления. В Южном полушарии имеются три стационарные антициклонические области, расположенные в субтропических широтах каждого из трех океанов. На юге, охватывая Антарктический континент, простирается обширная зона низкого давления, центральная часть которой располагается между 60° ю. ш. и берегом материка. В пределах этой зоны выделяются три области наиболее низкого давления, приуроченные к каждому из секторов Южного океана: атлантическому, индоокеанскому и тихоокеанскому.

Начиная с 60-х годов прошлого столетия появились работы, в которых центры действия атмосферы стали рассматриваться как объекты, характеризующиеся интенсивностью (величиной давления в центре) и географическим положением центра. Первым такому анализу был подвергнут Исландский минимум давления. Несколько позднее - другие центры действия атмосферы Северного полушария. Вместе с исследованием динамики характеристик центров действия атмосферы приходило и понимание того, что они тесно связаны с климатическими вариациями в регионах их расположения и, более того, их положение и интенсивность определяют тип и интенсивность циркуляции атмосферы в удаленных от них районах. В Южном полушарии, за исключением Южно-Атлантического максимума давления, характеристики других центров действия ранее не рассматривались. В то же время интенсивность этих центров и связанный с этим западно-восточный перенос в Южном полушарии выражены значительно сильнее, чем Северном. Поэтому в работе на материалах второй половины двадцатого столетия наряду с получением многолетних характеристик положения и интенсивности циклонических центров действия Южного полушария проанализирована их сезонная и многолетняя динамика. Сделана успешная попытка найти южный аналог индексу Северо-Атлантического колебания, которое по общему признанию во многом определяет характер и интенсивность циркуляции атмосферы и особенности динамики климата на большей части Северного полушария. Получены некоторые оценки взаимосвязи характеристик многолетней динамики циклонических центров действия атмосферы в Северном и Южном полушариях, свидетельствующие о единстве атмосферной циркуляции на земном шаре. Установлена зависимость многолетнего режима температуры и осадков в Антарктике от изменчивости Южно-Полярного колебания и интенсивности циклонических центров действия. Показано отсутствие во

второй половине двадцатого столетия устойчивых во времени и пространстве тенденций в изменении интенсивности циркуляции и режима температуры и влажности, что не согласуется с утверждениями о существовании глобального потепления.

Следует отметить, что в диссертации, как и в многих других работах, центры действия атмосферы рассматриваются как обобщенные характеристики динамики атмосферы, понимая при этом, что они по сути являются статистическими образами реально возникающих и перемещающихся циклонических образований. Южная Полярная область не является в этом смысле исключением. Как будет показано далее, существование циклонических центров действия атмосферы в ее атлантическом, индийском и тихоокеанском секторах отражает циклоническую активность в этих регионах. Последняя, в частности, является основной причиной формирования в приантарктической акватории Южного океана обширных облачных полей, существенно затрудняющих космический землеобзор с помощью спутниковых оптических систем. Такая информация особенно важна в навигационный (светлый) период, когда осуществляется проводка судов к берегам Антарктиды и проводятся экспедиционные работы на континенте.

Цель исследования. На основе изучения метеорологических данных за вторую половину XX столетия дать всестороннюю характеристику циклонических центров действия и интенсивности зональной циркуляции Южного полушария, а также динамики климата Южной Полярной области.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- расчет и анализ внутригодовой и межгодовой динамики характеристик циклонических центров действия Южного полушария (интенсивности и координат);
- исследование структуры многолетней изменчивости характеристик циклонических центров действия Южного полушария;
- сравнительный анализ многолетней динамики циклонических центров действия Северного и Южного полушарий;
- выбор и апробация лучшего варианта индекса Южно-Полярного колебания;
- исследование межгодовой изменчивости индекса Южно-Полярного колебания и его связей с другими индексами и формами атмосферной циркуляции;
- анализ многолетней изменчивости температуры и осадков в Антарктике;
- разработка метода априорной оценки успешности обзора земной поверхности с помощью спутниковых оптических систем на основе использования климатических данных о количестве общей облачности;

- вероятностная оценка успешности обзора поверхности Антарктиды и ледовой обстановки на прилегающей к ней акватории Южного океана в навигационный период.

Методы исследования. При обработке и анализе рядов исходных данных использовались методы корреляционного и спектрального анализа, скользящего осреднения и разложения на естественные ортогональные функции.

Научная новизна:

впервые на больших временных рядах получены характеристики интенсивности е годовой и полугодовой волн в изменениях положения центров всех трех циклонических центров действия Южного полушария;

получены статистически значимые связи как между характеристиками циклонических центров действия Южного полушария, так и с аналогичными характеристиками циклонических центров действия Северного полушария;

предложен новый индекс Южно-Полярного колебания, в большей мере, чем предыдущие, учитывающий особенности зональной циркуляции в различных секторах Южной Полярной области;

установлены связи форм атмосферной циркуляции Южного полушария с индексом Южно-Полярного колебания и индексами циркуляции Северного полушария (NAO и NPO), которые (связи) в перспективе могут иметь прогностическое значение;

установлено отсутствие во временных рядах интенсивности циклонических центров действия Южного полушария, температуры и осадков в Южной Полярной области устойчивых однозначных тенденций их изменений, что свидетельствует, в свою очередь, об отсутствии повсеместного потепления в этом регионе;

разработан новый метод вероятностной оценки успешности обзора земной поверхности с помощью спутниковых оптических систем с использованием климатических данных о количестве общей облачности;

получены данные о возможности получения от спутниковых оптических систем землеобзора полезной информации о состоянии ледового покрова Южного океана и поверхности Антарктиды в навигационный период.

Практическая значимость работы заключается, в первую очередь, в том, что она может служить методологической базой для проведения исследований циркуляционного режима других регионов. Приведенные в работе многолетние характеристики температуры и осадков, а также сведения об их изменчивости могут быть использованы при составлении климатических описаний. Метод вероятностной оценки успешности обзора земной поверхности с помощью спутниковых оптических систем позволяет уже на

этапе планирования операций получить представление о периодичности получения полезной информации от этих систем.

Обоснованность и достоверность полученных в работе результатов обусловлена большим объемом исходных данных, корректным применением современных методов их обработки и непротиворечивостью результатов современным взглядам на общую циркуляцию атмосферы.

Апробация результатов. Основные результаты работы докладывались на научных семинарах кафедры метеорологических прогнозов РГТМУ, на итоговых сессиях Ученого Совета РГТМУ и опубликованы в пяти статьях и одной монографии.

На защиту выносятся

1. Результаты определения характеристик циклонических центров действия Южного полушария, анализа их временной и пространственной изменчивости и её структуры.
2. Результаты сравнительного анализа многолетней динамики циклонических центров действия Южного и Северного полушарий.
3. Новый подход к оценке интенсивности Южно-Полярного колебания и его индекс.
4. Результаты анализа связей форм атмосферной циркуляции Южного полушария с индексами циркуляции обоих полушарий.
5. Результаты анализа пространственной и временной изменчивости температуры и осадков в Южной Полярной области.
6. Метод вероятностной оценки успешности обзора земной поверхности спутниковыми оптическими системами по климатическим данным о количестве общей облачности.
7. Результаты анализа расчетов количества пролетов ИСЗ с суточным интервалом, обеспечивающее 90%-ную вероятность успешного обзора ледового покрова Южной Полярной области и поверхности Антарктиды в навигационный период.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 60 наименований источников, четырех приложений, содержит 131 страницу основного текста, включая 62 рисунка и 43 таблицы.

Содержание диссертационной работы

Во введении обосновывается актуальность темы, излагаются цели и задачи диссертационной работы.

В первой главе излагается методика и результаты расчетов характеристик (интенсивности и координат) циклонических центров действия Южного полушария. В качестве исходного материала был использован архив среднемесячных карт привенного давления в Южной полярной области с 1957 по 2000 год включительно, созданный в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте.

На рис.1 приведены положения циклонических центров действия атмосферы в среднем за 44 года наблюдений (1957-2000), а в табл.1. средние годовые значения всех характеристик центров.

Таблица 1

Средние годовые значения характеристик циклонических центров действия атмосферы в Южном полушарии.

Характеристика	Южно-Атлантический	Индоокеанский	Южно-Тихоокеанский
P гПа	982	981	982
φ° ю.ш.	69	64	71
λ° в.д.	-30*	99	-160

Примечание: * -знак минус означает западную долготу.

Средняя годовая интенсивность всех центров действия атмосферы в Южном полушарии практически одинакова. Они более глубоки, примерно на 20 гПа, по сравнению с Исландским и Алеутским минимумами давления в Северном полушарии. Циклонические центры действия в Южном полушарии располагаются ближе к полюсу, особенно Южно-Тихоокеанский центр, который почти на 17° широты ближе к Южному полюсу, чем его Северо-Тихоокеанский аналог к Северному. Циклонические центры действия атмосферы на севере и на юге как в Атлантическом, так и в Тихоокеанском секторах находятся, примерно, на одних и тех же меридианах. Различия составляют менее 20° долготы.

Из пяти основных циклонических центров действия атмосферы на Земле самым изменчивым по интенсивности является Исландский минимум давления, а самым стабильным, особенно в зимний период – Южно-Атлантический.

Что касается перемещений по широте, все циклонические центры действия атмосферы Южного полушария более стабильны по сравнению с их северными аналогами. И как в случае интенсивности, наиболее изменчивым является Исландский минимум давления, а наиболее стабильным – Южно-Атлантический.

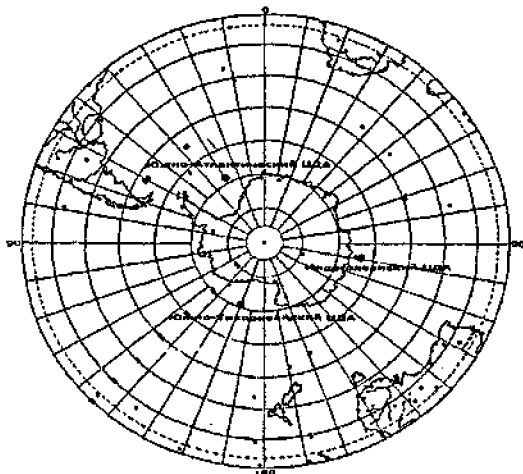


Рис. 1 Среднегодовое положение циклонических центров действия атмосферы в Южном полушарии.

В табл.2 приведены средние многолетние значения давления и координат трех циклонических центров действия атмосферы Южного полушария за каждый месяц. Обращает на себя внимание удивительно точное совпадение сезонного хода давления в рассматриваемых центрах действия атмосферы. Кроме того, в сезонных изменениях всех характеристик депрессий хорошо видно наличие, наряду с годовой, гармоникой гармоникой с периодом 0,5 года. В результате, в изменениях давления основной минимум наблюдается в сентябре-октябре, а следующий – в марте. Максимум давления имеет место в январе, а последующий максимум наблюдается в мае. Максимальное широтное смещение к северу всех центров действия атмосферы наблюдается в сентябре-октябре и марте, а к югу – в январе и июне. Зимой все центры имеют тенденцию смещаться к востоку, тогда как летом они занимают наиболее западное положение.

Таблица 2

Средние многолетние значения давления P и координаты (φ , λ) циклонических центров действия атмосферы в Южной полярной области.

Месяцы	P , гПа			φ° ю.ш.			λ° в.д.		
	Южно-Атлантический	Индоокеанский	Южно-Тихоокеанский	Южно-Атлантический	Индоокеанский	Южно-Тихоокеанский	Южно-Атлантический	Индоокеанский	Южно-Тихоокеанский
Январь	986,1	985,3	986,7	67,8	62,9	71,1	-39,3	95,5	-166,5
Февраль	984,4	984,2	985,5	68,3	63,9	70,3	-32,4	104,6	-158,2
Март	981,8	981,1	981,8	69,3	65,0	70,9	-31,5	103,6	-159,0
Апрель	983,1	982,2	982,5	69,0	64,6	70,4	-24,1	102,6	-158,3
Май	983,1	983,4	983,2	68,1	64,4	70,3	-21,5	102,4	-162,8
Июнь	983,0	982,5	982,5	68,8	62,3	69,2	-28,7	96,5	-154,8
Июль	981,1	979,4	979,1	69,3	63,8	71,0	-26,4	98,8	-155,9
Август	979,8	977,0	978,9	69,0	64,3	71,7	-28,3	99,8	-160,3
Сентябрь	981,2	977,1	979,1	69,8	65,0	71,4	-29,6	105,9	-157,2
Октябрь	979,1	977,7	976,5	70,2	65,1	71,8	-28,0	97,1	-161,5
Ноябрь	980,5	980,6	979,7	68,4	64,4	70,8	-31,9	91,2	-161,3
Декабрь	984,3	984,4	985,1	67,4	63,0	71,1	-35,4	91,8	-162,6

С целью обобщения полученных результатов и сведения к минимуму ошибок определения координат центров действия атмосферы по синоптическим картам были выполнены разложения на естественные ортогональные функции (ЕОФ) сезонного хода каждой характеристики по трем центрам и в целом всех характеристик. Результаты разложения подтвердили сделанные выше выводы.

Далее, в основном, анализируются изменения зимних значений характеристик центров действия атмосферы, поскольку именно зимой циклонические центры действия атмосферы наиболее выражены, что наилучшим образом отражается и связью между среднегодовыми и зимними характеристиками (табл.3). Анализируя закономерности многолетних изменений давления в течение 44 лет, можно отметить следующее. В многолетнем ходе давления всех трех центров действия атмосферы наблюдалось два минимума – в 60-е и 80-е годы (рис.2).

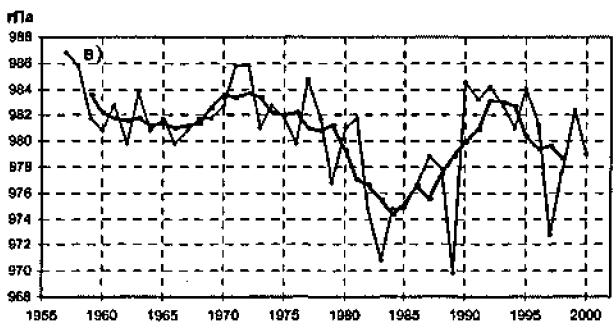
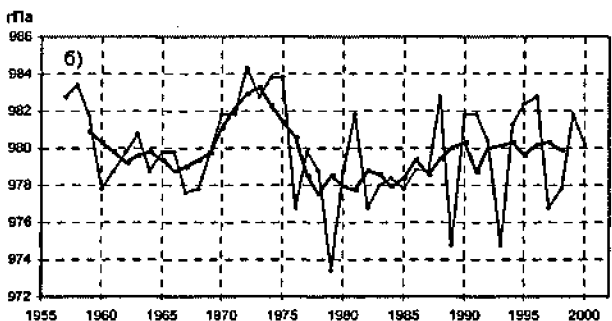
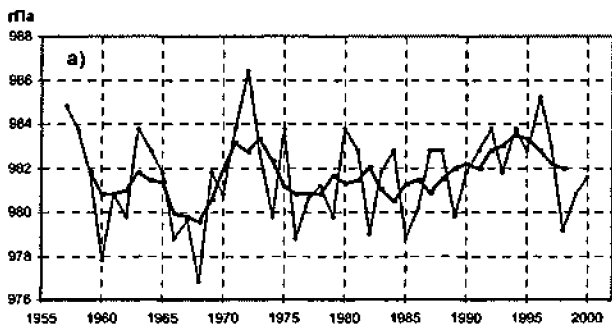


Рис.2 Изменения давления за зимний период в циклонических центрах действия атмосферы Южного полушария: Южно-Антарктический (а), Индоокеанский (б), Южно-Тихоокеанский (в). Жирной линией показаны их 5-летние скользящие средние.

Максимумы в многолетнем ходе изменения давления наблюдались в 50-е, 70-е и 90-е годы. Присутствие двух минимумов и трех максимумов в многолетних изменениях давления у всех трех центров действия атмосферы за рассматриваемый период свидетельствует о наличии в этих изменениях вариации с периодом около 20 лет.

Таблица 3

Значения коэффициентов корреляции между среднегодовыми и сезонными значениями характеристик циклонических центров действия атмосферы Южного полушария
($r_{99\%} = 0,37$)

Сезоны	Зима	Весна	Лето	Осень
Давление				
Южно-Атлантический	0,72	0,52	0,46	0,55
Индоокеанский	0,83	0,61	0,43	0,66
Южно-Тихоокеанский	0,90	0,78	0,42	0,73
Широта				
Южно-Атлантический	0,86	0,49	0,61	0,70
Индоокеанский	0,89	0,69	0,64	0,50
Южно-Тихоокеанский	0,81	0,68	0,62	0,51
Долгота				
Южно-Атлантический	0,88	0,69	0,32	0,59
Индоокеанский	0,71	0,55	0,46	0,68
Южно-Тихоокеанский	0,87	0,58	0,54	0,70

При рассмотрении спектров многолетних изменений давления в циклонических центрах действия атмосферы, вариация с периодом около 20 лет представляется основной и полностью превалирует в изменчивости характеристик Южно-Тихоокеанской депрессии (рис.3). В изменчивости характеристик Южно-Атлантического центра действия наиболее значительна вариация с периодом 7 – 8 лет, которая характерна и для многолетней изменчивости североатлантических центров действия атмосферы. В изменениях давления и широты Южно-Тихоокеанской депрессии заметно наличие слабой вариации с периодом 4 – 5 лет, которая наиболее характерна для северотихоокеанских центров действия атмосферы, и особенно для Гюнольдского максимума давления.

Непосредственное сопоставление многолетнего хода давления в циклонических центрах обоих полушарий дало следующие результаты.

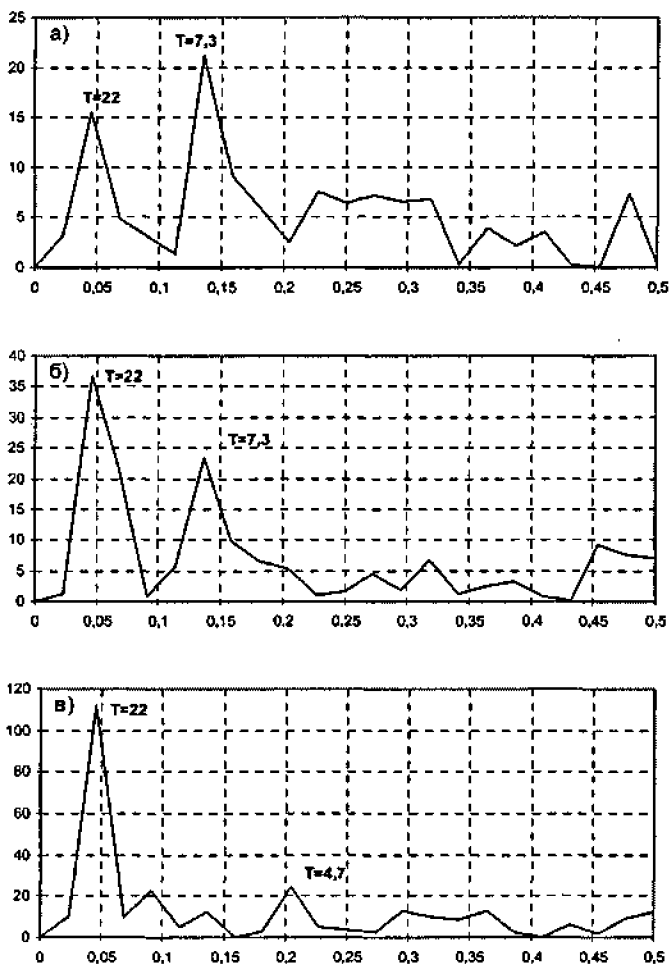


Рис.3 Спектры многолетней изменчивости давления в центрах действия атмосферы Южного полушария: Южно-Атлантический (а), Индоокеанский (б), Южно-Тихоокеанский (в).

На рис.4 и рис.5 приведено сопоставление сглаженных по 5-летним значениям давления в центрах Исландской и Алеутской депрессий за зимний период с аналогичными

значениями давления в депрессиях Южного полушария, а в табл.4 соответствующие коэффициенты корреляции между ними.

Таблица 4

Значения коэффициентов корреляции между 5-летними скользящими средними значениями давления в циклонических центрах Северного и Южного полушарий.

Центры	Южно-Атлантический	Индлокеанский	Южно-Тихоокеанский
Исландский	-0,62**	-0,33*	-0,05
Алеутский	0,42**	0,68**	0,72**

Примечание: Знак "*" – уровень обеспеченности 95%, "**" – 99%.

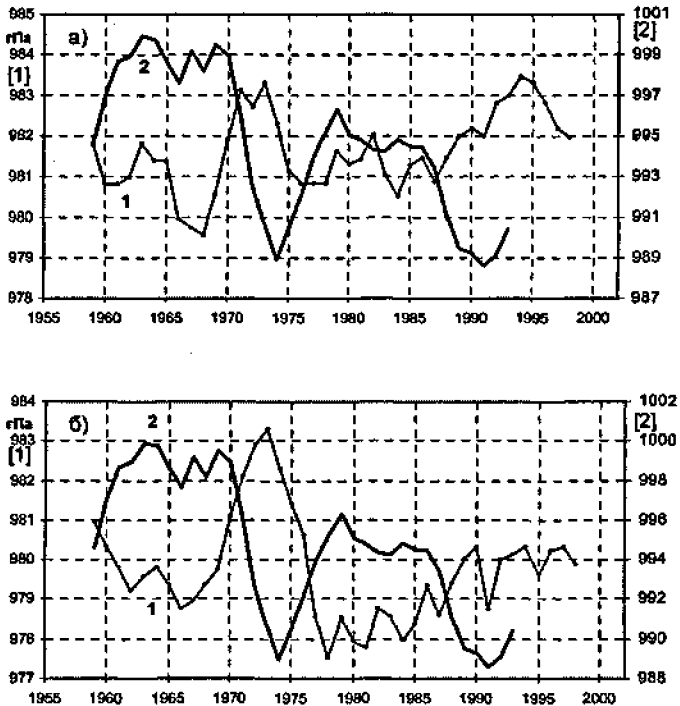


Рис.4 Сопоставление 5-летних скользящих средних значений давления за зимний период в центре Исландской депрессии (2) с изменениями давления (1) в Южно-Атлантической депрессии (а) и Индоокеанской (б).

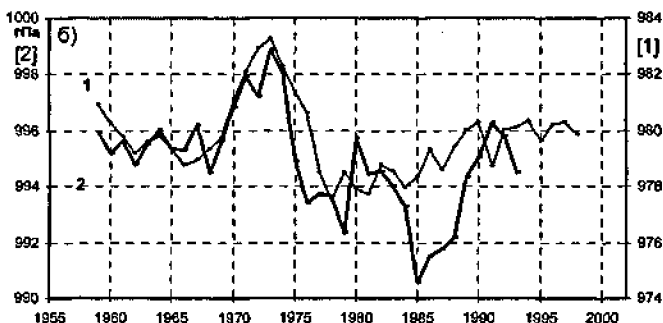
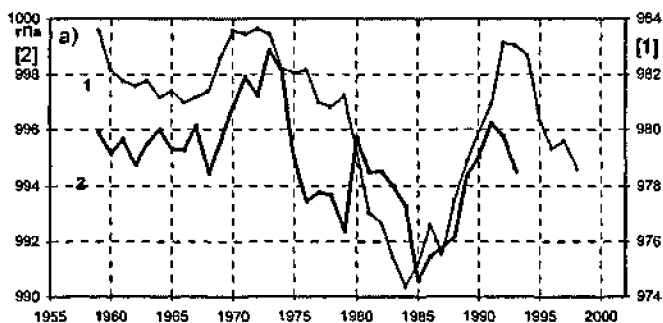


Рис.5 Сопоставления 5-летних скользящих средних значений давления за зимний период в центре Алеутской депрессии (1) с изменениями давления (2) в Южно-Тихоокеанской депрессии (а) и Индоокеанской (б).

Как следует из приведенных данных, изменения давления в центрах действия, расположенных в Атлантике, противофазны между собой. При этом связь давления в Исландском минимуме с давлением в центрах Южного полушария быстро уменьшается к востоку и вообще отсутствует с давлением в Южно-Тихоокеанской депрессии. В то же время межгодовые изменения давления в Алеутской депрессии и Южно-Тихоокеанской депрессии синфазны и практически идентичны (рис.5)

Таким образом, можно считать установленным, что многолетние изменения давления в циклонических центрах действия атмосферы Северного и Южного полушарий и их широтного положения происходят синфазно в Тихоокеанском регионе и асинфазно в

Атлантическом. Многолетняя изменчивость характеристик Индоокеанского циклонического центра, не имеющего своего северного аналога, отражает черты подобной изменчивости как атлантических, так и тихоокеанских центров действия атмосферы, но при этом ее связь с изменчивостью тихоокеанских центров проявляется заметнее.

Во второй главе рассматривается, предложенный автором индекс Южно-Полярного колебания, его межгодовая изменчивость, связь с другими индексами и формами атмосферной циркуляции.

Благодаря наличию циклонических центров действия атмосферы в Южной полярной области (ЮПО) и антициклонических центров в тропических районах Атлантического, Индийского и Тихого океанов в широтном поясе от 40° до 60° ю.ш. осуществляется постоянный западно-восточный перенос воздушных масс. Интенсивность этого переноса определяет многие характеристики климата ЮПО, а также интенсивность самого мощного в Мировом океане Антарктического циркумполярного течения.

Предложение некоторых авторов использовать в качестве индекса Южно-Полярного колебания разность осредненных по широтным кругам 60 и 40 градусов значений давления не кажется нам удачным. Нам представляется, что зональное осреднение давления по широте сглаживает пространственные особенности поведения атмосферной циркуляции, и использование указанного индекса ограничивает в этом случае возможности анализа по регионам. Поскольку одной из главных целей нашей работы являлось исследование активности циклонических центров действия атмосферы, локализующихся в трех секторах южной полярной области, для выбора индекса Южного полярного колебания был использован другой подход.

К сожалению, в отличие от Северного полушария, в Южном полушарии, преимущественно океаническом, покрытие данными наблюдений весьма ограничено, поэтому найти приемлемые пункты наблюдений для определения разностей давления в районах, близких к расположению центров действия атмосферы, почти невозможно. В связи с этим мы воспользовались разностями давления между станциями расположенными на побережье Антарктиды и на южных побережьях Южной Америки, Африки и Австралии, а также разностями давлений на широтных кругах 30° и 60° ю.ш. на нескольких меридиональных разрезах (рис.6).

Для определения индекса Южно-Полярного колебания используются средние разности давления за зимний период, которые, как и в северном полушарии, наилучшим образом отражают изменения среднегодовых разностей давления.

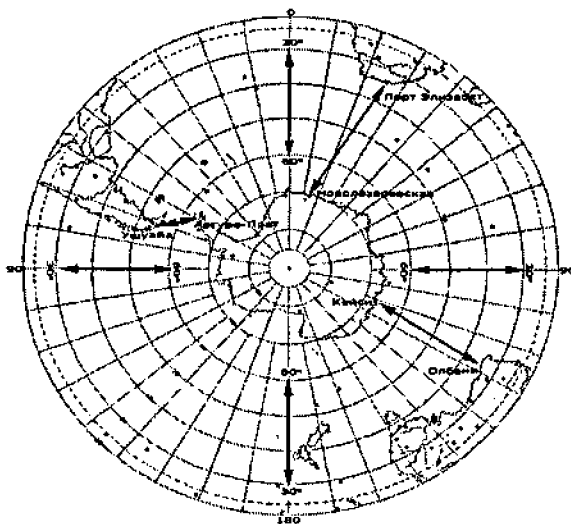


Рис.6 Расположение станций и сечений по которым определялись разности давлений.

Поскольку разность давлений между парами станций, а тем более на одном меридиональном разрезе в таком обширном регионе вряд ли может быть достаточно показательным индексом циркуляции атмосферы ЮПО, мы использовали разложение на естественные ортогональные функции (ЕОФ) нескольких выборок разностей давлений. Этот прием был успешно применен ранее при исследовании Северо-Атлантического и Северо-Тихоокеанского колебаний. Значения первой главной компоненты разложения на ЕОФ указанных выборок разностей давления в дальнейшем мы будем называть индексом Южно-Полярного колебания (СПО). Как видно из данных табл.5, значения индекса имели отрицательные значения в середине 50-х годов, 70-х годов и особенно в середине 90-х годов. В 60-е годы, преимущественно в их вторую половину, и в 80-е годы значения индекса были положительными. Можно ожидать, что в первом десятилетии XXI в. также будет наблюдаться максимум в интенсивности зональной циркуляции в ЮПО. Установлено, что индекс СПО тесно связан с характеристиками циклонических центров действия атмосферы в ЮПО.

Таблица 5

Средние за 10-летия значения индекса Южно-Полярного колебания.

Годы	SPO
1957 - 1960	-0,28
1961 - 1970	0,61
1971 - 1980	-0,09
1981 - 1990	0,45
1991 - 2000	-0,94

Как и следовало предполагать, связь с давлением отрицательная, что означает, что рост значений индекса наблюдается при акцентации циклонических центров действия атмосферы.

Трендовая составляющая за 44 года в индексе SPO почти в два раза меньше стандартного отклонения изменчивости их значений за те же годы. Таким образом, можно заключить, что в изменениях индекса Южно-Полярного колебания значимый тренд во вторую половину XX столетия отсутствует. Результаты, приведенные в табл.6, показывают, что связь между индексом Южно-Полярного колебания и индексами, характеризующими интенсивность циркуляции атмосферы в северных частях Атлантического и Тихого океанов, отрицательна и значима.

Таблица 6

Коэффициенты корреляции между индексом SPO и индексами, характеризующими интенсивность циркуляции в Северном полушарии: NAO и NPO

Индексы	SPO Исходные значения	SPO 5-летние скользящие средние	SPO
			Исходные значения минус 5- летние скользящие средние
NAOоб	-0,36*	-0,67**	-0,09
NPOоб	-0,33*	-0,03	-0,58**

Примечание. Знак "*" указывает на 95%-ный уровень обеспеченности, "**" – на 99%-ный.

Однако, как видно из данных второго и третьего столбцов таблицы, эта связь осуществляется для различных регионов на разных участках спектра изменчивости. Если между Северо-Атлантическим и Южно-Полярным колебанием связь осуществляется на частотах соответствующих периодам более 7-8 лет, то между Северо-Тихоокеанским и Южно-Полярным - на частотах 5 лет и менее.

В середине прошлого века Г. Я. Вангенгейм предложил классификацию атмосферной циркуляции Северного полушария, основанную на изучении макропроцессов в атмосфере севернее 30° с.ш. Были предложены три формы циркуляции: W, C, E. Позднее, на основе тех же принципов были определены аналогичные три формы циркуляции атмосферы для Южного полушария: зональная - Z и две меридиональные - Ma и Mb.

Сопоставление 5-летних скользящих средних значений повторяемости форм атмосферной циркуляции и индексов показало, что в долгопериодной части спектра изменчивости связь существует и она довольно заметна (табл.7).

Таблица 7

Коэффициенты корреляции между 5-летним и скользящим и средними значениями повторяемости форм атмосферной циркуляции Южного полушария и индексами циркуляции SPO, NAO и NPO.

Индекс	Форма циркуляции		
	Z	Ma	Mb
SPO	0,22	-0,48**	0,47**
NAO	-0,74**	0,71**	-0,33*
NPO	-0,58**	0,59**	-0,07

Примечание: Знак "*" - уровень обеспеченности 95%, "**" - 99%.

Как видно из данных табл.7, индекс Южно-Полярного колебания слабо связан с повторяемостью зональной формы, но существенно лучше связан с меридиональными формами циркуляции атмосферы. При увеличении индекса характер циркуляции атмосферы больше соответствует форме Mb и, наоборот, при его ослаблении форме Ma. Особенно высока связь с повторяемостью форм циркуляции у индекса NAO. При увеличении индекса NAO ослабевает повторяемость зональной формы циркуляции и в определенной степени формы Mb, а преимущественное развитие получают процессы формы Ma. И, наоборот, при ослаблении Северо-Атлантического колебания, преимущественное развитие получают процессы формы Z. Такой же характер связи

наблюдается у повторяемости форм атмосферной циркуляции в Южном полушарии и с индексом NPO. Таким образом, долгопериодная изменчивость меридиональных форм циркуляции в южном полушарии весьма тесно связана с изменчивостью Южно-Полярного колебания, тогда как повторяемость зональных форм циркуляции, как в Северном, так и в Южном полушариях, оказываются связанными с Северо-Атлантическим и Северо-Тихоокеанским колебаниями. Следовательно, можно с уверенностью полагать, что между циркуляцией атмосферы в Северном и Южном полушариях, несмотря на большие различия между полушариями (первое – континентальное, второе – океаническое), существует несомненная связь, и существуют также общие планетарные причины, определяющие динамику глобальной атмосферной циркуляции.

Дальнейшие исследования в этом направлении, возможно, могут привести к установлению прогностических связей, полезных при долгосрочном и сверхдолгосрочном метеорологическом прогнозировании.

В третьей главе приводятся результаты исследования многолетней изменчивости режима температуры и осадков в Антарктике, а также его связи с циклоническими центрами действия Южного полушария. В связи с проблемой «глобального потепления» в этой главе довольно подробно проанализированы возможные изменения режима температуры и осадков в ЮПО не только с точки зрения его связи с динамикой атмосферной циркуляции, но и также его общие особенности во второй половине прошедшего столетия, т.е. в период, когда максимально возросла антропогенная нагрузка на атмосферу Земли.

Для анализа режима температуры Южной Полярной области были использованы среднемесячные данные по приземной температуре воздуха на станциях в Антарктике из архива данных Арктического и Антарктического научно-исследовательского института. Было выбрано 22 станции, имеющих наиболее длинные ряды наблюдений (рис.7). Из них 12 станций относительно равномерно расположены на побережье Антарктиды, 4 станции на Антарктическом полуострове и шесть станций на островах, расположенных значительно севернее побережья Антарктиды.

Данные, приведенные в табл.8, показывают, что на большинстве станций (16 из 22-х) изменение средних декадных температур воздуха от десятилетия к следующему десятилетию носили знакопеременный характер. На десяти станциях из 22-х самыми холодными были 60-е годы XX столетия, на восьми – 90-е годы и на четырех – 70-е годы. Если рассматривать самые теплые десятилетия, то на девяти станциях из 22-х самыми теплыми были 80-е годы, на шести – 70-е годы и только на семи – последнее десятилетие.

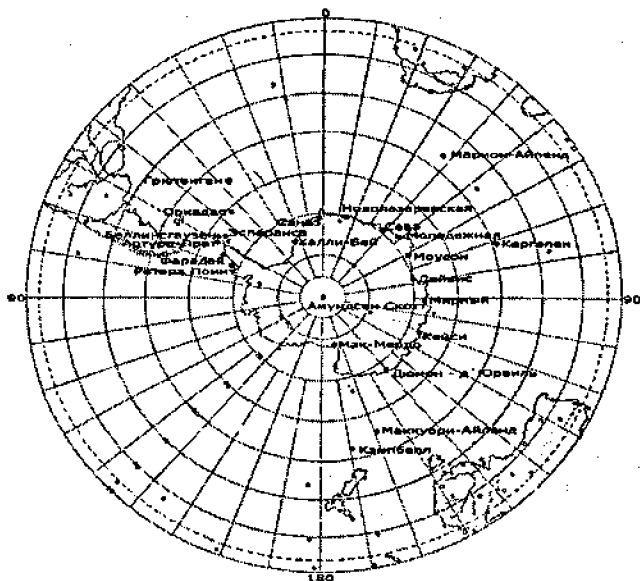


Рис.7 Схема расположения станций наблюдений за характеристиками климата в Антарктиде и Южном океане.

Таким образом, данные табл. 8 не подтверждают предположения об активно развивающемся глобальном потеплении, которое, естественно, должно было бы охватывать и Антарктику.

Убедительные результаты об отсутствии потепления на Антарктическом континенте дают результаты анализа линейных трендов приемной температуры воздуха на станциях за период с 1961 по 2000 г. На всех станциях, расположенных на континенте, за исключением станций Антарктического полуострова и станции Мак-Мердо, тренд отсутствует на протяжении первых 30 лет, а затем в последнее десятилетие наблюдается отрицательный тренд. Только в районе Антарктического полуострова и на ст. Мак-Мердо отмечается заметный положительный тренд как в целом за рассматриваемый период, так и особенно в последнее 10-летие. На островных станциях тренд положительный, но не очень большой, и его величина уменьшается с удалением от Антарктического полуострова.

Среднедекадные значения температуры воздуха на станциях в Антарктиде и Южном океане.

Годы	Халли - Бей	Саназ	Новолазаровская	Сева	Молодежная	Моусон	Дейвис	Мирный	Восток	Кейсн	Джонсон - д'Юрвиль
1961-70	-18,8	-17,5	-10,8	-10,3	-10,9	-11,3	-10,2	-11,6	-55,4	-9,7	-10,8
1971-80	-18,2	-16,7	-10,3	-10,6	-10,9	-11,0	-10,0	-11,0	-55,1	-8,8	-10,5
1981-90	-18,1	-17,0	-10,1	-10,3	-11,2	-11,5	-10,2	-11,3	-55,2	-8,9	-10,4
1991-00	-19,4	-16,6	-10,0	-10,5	-10,9	-11,5	-10,2	-11,6	-55,5	-9,5	-11,1
Годы	Мак - Мерло	Ротера Поинт	Фарадей	Артуро - Праг	Эсперанша	Орланд	Грюнвиген	Марьян - Айленд	Кергелен	Макмури Айленд	Кэмпбелл Айленд
1961-70	-17,3	-5,4	-4,4	-2,6	-5,7	-3,6	2,0	5,4	4,2	4,6	7,0
1971-80	-17,2	-5,1	-3,9	-2,8	-6,0	-4,1	2,1	5,4	4,6	5,1	7,1
1981-90	-16,8	-4,1	-3,2	-2,3	-4,8	-3,0	2,2	5,9	4,7	5,1	7,3
1991-00	-16,5	-4,5	-3,0	-2,0	-4,5	-3,1	2,5	6,3	4,9	4,9	7,0

Анализ связей многолетней динамики температуры воздуха с индексами атмосферной циркуляции позволил сделать вывод, что она испытывает влияние двух колебаний: Северо-Атлантического, более ответственного за долгопериодную динамику (с периодами изменчивости более 6-7 лет) и Северо-Тихоокеанского центра, ответственного за короткопериодную динамику температуры воздуха (с периодами от 2-3 лет до 5-6 лет). Это влияние осуществляется через изменения интенсивности Южно-Полярного колебания, которое, как было показано во второй главе, тесно связано с индексами циркуляции атмосферы северного полушария.

Наряду с температурой воздуха осадки являются важнейшей характеристикой климата. Считается, что важным следствием глобального потепления климата является усиление влагооборота на Земле, а это должно привести к увеличению годовых сумм осадков на континентах. Так ли обстоит дело в Южной Полярной области? Чтобы

ответить на этот вопрос, были проанализированы те немногочисленные данные по осадкам, которые имеются в архиве Арктического и Антарктического научно-исследовательского института.

В нашем распоряжении имелось лишь десять станций, имеющих наблюдения за осадками 30 лет и более (табл.9).

Таблица 9

Средние за 10-летия значения осадков на антарктических станциях.

Годы	Новолазаревская	Молодежная	Мирный	Восток	Мак-Мердо	Артуро-Праг	Оркадас	Мариян-Айленд	Киргелен	Маккуори Айленд
1951-60	-	-	-	-	-	42,5	-	204,2	93,1	79,3
1961-70	20,5	48,7	57,6	2,11	18,4	41,5	66,6	223,9	48,8	71,1
1971-80	22,5	47,9	36,4	2,0	17,0	47,7	43,8	197,1	61,7	73,5
1981-90	19,2	41,0	36,1	2,1	20,4	55,8	45,4	181,1	64,3	80,9
1991-00	15,3	40,1	52,2	1,6-	-	-	-	-	-	-

Данные приведенные в табл. 9 в большинстве своем свидетельствуют, что во второй половине XX столетия не наблюдалось непрерывного увеличения или уменьшения количества осадков, как на континентальных, так и на островных станциях Южной Полярной области. Десятилетние периоды их увеличения сменялись периодами уменьшения и наоборот. На пример, на большинстве рассматриваемых станций, из которых пять расположены на континенте, максимальные осадки наблюдались в 60-е годы, на ст.Новолазаревская – в 70-е годы, на ст. о. Киргелен – в 50-е годы. В 80-е годы максимальные осадки наблюдались лишь на станциях. Мак-Мердо, Артуро-Праг и Маккуори-Айленд

Анализ линейных трендов показал, что на пяти станциях из десяти за рассматриваемые периоды времени (1951 – 1990 гг. или 1961 – 2000 гг.) наблюдался заметный (больше величины σ) отрицательный тренд. Положительный тренд выражен только на двух станциях (Мак-Мердо и Артуро-Праг). На остальных четырех станциях линейные тренды в изменениях осадков за 40 лет не выражены.

Таким образом, данные по осадкам в Южной Полярной области, как и данные по температуре воздуха, не подтверждают в целом наличия здесь глобального потепления климата. По нашему мнению, отмеченные выше разнонаправленные изменения в

температуре и количестве осадков в различных регионах Антарктики связаны с естественным ходом многолетней изменчивости атмосферной циркуляции в Южной Полярной области.

Расчеты показали, что изменения осадков на семи из десяти станций значимо связаны с изменениями либо индекса Южно-Полярного колебания (SPO), либо давления в центрах южных депрессий. Они также связаны с изменчивостью индекса Северо-Атлантического колебания (NAO). Количество осадков на восьми из десяти станций значимо связано с индексом NAO. Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции NAO с годовыми суммами осадков наблюдаются на станциях, расположенных в атлантическом секторе Южной Полярной области.

Следовательно, на основе анализа многолетних изменений температуры и количества осадков на станциях в Антарктике можно сделать вывод о том, что они связаны с многолетней изменчивостью в характере и интенсивности атмосферной циркуляции в Северной Атлантике, что позволяет предполагать её важную роль в формировании долгопериодной изменчивости глобальной циркуляции атмосферы (с периодами изменчивости более 6-7 лет).

В четвертой главе рассматриваются возможности получения полезной информации о состоянии ледового покрова Южного океана и поверхности Антарктиды в навигационный период от спутниковых оптических систем землеобзора.

Одним из важных направлений практических приложений результатов научных исследований Антарктиды и Южного океана является совершенствование методов гидрометеорологического обеспечения научных работ в Антарктике и плавания научных, транспортных, рыболовецких и других судов в приантарктических водах Южного океана, которые, практически, в течение всего года имеют ледовый покров. Поэтому организация слежения за его состоянием и эволюцией в навигационный период является одной из приоритетных задач, которую приходится решать гидрометеорологам.

Используя ежедневные данные о количестве общей облачности можно дать априорную оценку вероятности диагноза состояния поверхности Антарктиды и ледового покрова приантарктической акватории Южного океана с помощью оптических систем землеобзора по такой формуле

$$P = 1 - \frac{1}{n} \sum_{\nu=1}^n \prod_{i=1}^k N_{i\nu}$$

где N_i - среднее суточное количество общей облачности в квадрате, k - количество пролетов ИСЗ над квадратом с суточным интервалом, n - количество интервалов по k наблюдений в архивной выборке, использованной для расчетов.

Существенным недостатком, ограничивающим возможности практического применения этой формулы, является недоступность архивов ежедневных спутниковых данных о количестве общей облачности широкому кругу потребителей. В то же время есть опубликованные средние многолетние (климатические) данные за каждый месяц года. Их можно использовать для получения априорной оценки вероятности успешного обзора земной поверхности из космоса при различном количестве пролетов ИСЗ над изучаемым районом с суточным интервалом, если эту формулу преобразовать следующим образом.

Представим ежедневное значение количества общей облачности как $N = N_{cp} - \delta$, где N_{cp} - среднее многолетнее количество общей облачности в данном квадрате, а δ - отклонение от него в данные сутки. Тогда формула, например, для двух пролетов ИСЗ с суточным интервалом примет такой вид:

$$P = 1 - N_{cp}^2 - N_{cp} \frac{\sum_{i=1}^n (\delta_1 + \delta_2)}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (\delta_1 \delta_2)}{n},$$

Аналогичные формулы могут быть написаны для большего количества пролетов ИСЗ с суточным интервалом.

Естественно предположить, что, во-первых, отклонения N соседних суток от N_{cp} , как правило, будут иметь различные знаки, поэтому их суммы будут малы; во-вторых, поскольку отклонения от N_{cp} чаще всего меньше его и меньше единицы, то их произведения также будут невелики. Поэтому члены, куда входят суммы и произведения отклонений от среднего значения количества общей облачности, должны быть существенно меньше разности $1 - N_{cp}^k$. В связи с этим был сделан вывод, что без большой потери точности можно оценить априорную вероятность успешного обзора земной поверхности из космоса по климатическим данным о среднем месячном или сезонном количестве общей облачности при различном числе пролетов спутника над изучаемым районом с суточным интервалом. Формула для расчета будет иметь следующий вид:

$$P = 1 - N_{cp}^k,$$

где k - количество пролетов ИСЗ с суточным интервалом.

С целью проверки возможности практического использования этой формулы, вместо предыдущей, выполнены расчеты для квадратов с центральной точкой 60° с.ш. и 30° в.д., а также 60° с.ш. и 100° в.д. для большого количества пролетов ИСЗ в зимний и летний сезоны 1988-1991гг. (по 360 ежедневных наблюдений за каждый сезон). Различия в результатах расчетов по обеим формулам не превышают одного процента.

Таким образом, при перспективном планировании работы спутниковых оптических систем можно по климатическим данным о количестве общей облачности оценить вероятность успешного обзора земной поверхности при различном количестве пролетов ИСЗ над изучаемым районом. Более того, последняя формула позволяет оценить с заданной вероятностью ожидаемую периодичность успешности обзора земной поверхности. Для этого нужно при данном N_p найти такое значение k , при котором $P_k \geq P^*$, где P^* - заданное критическое значение вероятности, обеспечивающее потребителю привлекаемую для его целей оценку возможности обзора поверхности Антарктики в навигационный период.

Исходным материалом для решения поставленной задачи послужили многолетние ежемесячные данные о количестве общей облачности. Они получены в результате обработки ежедневных спутниковых фотографий облачного покрова Земли за десятилетний период (1971-1980гг.) и представляют собой оформленные в виде таблиц средние месячные значения количества общей облачности в сферических прямоугольниках размером 5° широты и 10° долготы.

С целью создания общего представления о территориальном распределении количества пролетов ИСЗ с суточным интервалом, обеспечивающее успешность обзора поверхности Антарктики с помощью оптических систем земскобзора равное 90%, на рис. 8 приведены три карты. На первой из них показано распределение числа пролетов ИСЗ в первый месяц навигационного периода (октябрь), на второй - в его середине (январь) и на третьей - в его конце (май).

В первую очередь обращает на себя внимание общее сходство в распределении количества пролетов ИСЗ, обеспечивающее 90%-ную вероятность успешного обзора поверхности Антарктики, в начале, середине и конце навигационного периода. В течении всей его продолжительности для обеспечения успешности обзора континента Антарктиды с вероятностью 90% необходимо не более трех пролетов ИСЗ с суточным интервалом. Изолиния три пролета практически везде окаймляет контуры материка.

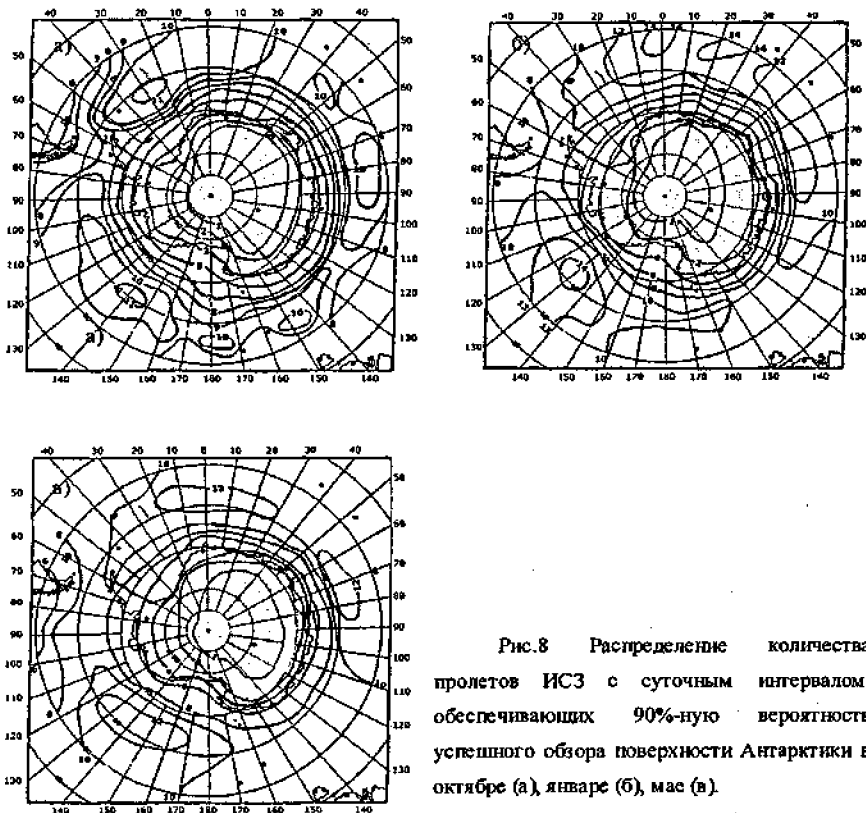


Рис.8 Распределение количества пролетов ИСЗ с суточным интервалом, обеспечивающих 90%-ную вероятность успешного обзора поверхности Антарктики в октябре (а), январе (б), мае (в).

Другой особенностью является наличие в широтном поясе 50-60° ю.ш. полосы высоких значений количества пролетов. В её пределах необходимое количество пролетов достигает 12 и, местами, даже более. Вдоль этого широтного пояса в своем движении с запада на восток проходят северные периферии фронтальных циклонов со сплошной и значительной облачностью, покрывающей большие территории и на длительное время исключая возможность получения полезной информации о состоянии ледовой обстановки в этой части Южного океана от спутниковых оптических систем. По мере приближения к континенту условия наблюдения несколько улучшаются и вблизи береговой черты составляют 4-6 пролетов ИСЗ с суточным интервалом.

Таблица 10

Средние месячные и средние за навигационный период количества пролетов ИСЗ по широтным зонам, обеспечивающие вероятность успешного обзора поверхности Антарктики, равную 90%.

Широтная зона, °	Месяцы (№)								Период
	10	11	12	1	2	3	4	5	
50-55	11	11	10	9	9	10	10	10	10
55-60	9	11	10	9	9	11	11	10	10
60-65	10	10	9	8	9	9	10	9	9
65-70	6	7	8	6	7	7	7	7	7
70-75	4	4	3	4	4	4	3	3	4
75-80	2	2	2	2	2	2	2	2	2
80-85	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85-90	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Среднее	4,1	4,4	4,2	3,7	3,9	4,2	4,3	4,1	4,1

Данные таблицы 10 подтверждают выводы, сделанные в результате визуальной оценки особенностей распределения количества пролетов ИСЗ над Антарктикой по картам за начальный, срединный и конечный месяцы навигационного периода. Наиболее благоприятные условия для получения информации о состоянии поверхности Антарктики следует ожидать в январе-феврале.

Таким образом, благоприятные условия для использования спутниковых оптических систем землеобзора в Антарктике в навигационный период, когда ведется активная работа по обеспечению жизнедеятельности антарктических станций и проводятся обширные научные исследования, наблюдаются только над континентом и вдоль береговой черты. Здесь, в основном, в зависимости от удаленности от берега, количество пролетов ИСЗ с суточным интервалом, обеспечивающее вероятность успешного обзора подстилающей поверхности 90% составляет 1-3. По мере удаления от берега в направлении на север периодичность получения полезной информации о состоянии ледового покрова быстро возрастает и на его северной границе достигает 9-12 суток. Это обстоятельство делает проблематичным использование спутниковых оптических систем землеобзора в качестве основного средства наблюдения за состоянием ледового покрова Южного океана.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационного исследования.

1. В результате обработки синоптических материалов за вторую половину XX столетия получены статистические характеристики циклонических центров действия атмосферы Южного полушария: географические координаты центров и интенсивность (давление в центре).

2. Подтверждено наличие в годовом ходе положения и интенсивности циклонических центров действия Южного полушария полугодовой волны: в декабре-январе и июне - максимум давления при смещении центров на северо-запад, а в сентябре-октябре и в марте, при смещении центров на юго-восток, минимум давления.

3. Установлено, что в годовой волне все циклонические центры действия Южной полярной области движутся по часовой стрелке. В полугодовой волне в этом же направлении перемещаются центры Индоокеанской и Южно-Тихоокеанской депрессий, а Южно-Атлантической – наоборот, против часовой стрелки.

4. Зафиксировано отсутствие отчетливо выраженных и характерных для всех циклонических центров действия Южного полушария трендов в изменении их параметров.

5. Показано существование связи между многолетними (пятилетними средними) значениями давления и широтой центров действия атмосферы Южного и Северного полушарий. Изменения указанных параметров происходит одновременно, синфазно в Тихом океане (Южно-Тихоокеанский – Алеутский минимумы) и асинфазно в Атлантическом океане (Южно-Атлантический – Исландский минимумы). Эти связи свидетельствуют о существовании единого планетарного циркуляционного механизма, дальнейшие исследования которых могут оказаться полезными при долгосрочном метеорологическом прогнозировании.

6. В связи со слабой освещенностью метеорологическими данными обширной акватории Южного океана, с целью повышения надежности оценок интенсивности зональной циркуляции в Южном полушарии, предложен и успешно использован в работе индекс Южно-Полярного колебания (SPO), расчеты которого ведутся с использованием результатов разложения разностей давления на четырех разрезах на ЕОФ.

7. Установлены статистически значимые связи индекса Южно-Полярного колебания с индексами циркуляции Северного полушария, а также между формами атмосферной циркуляции Г.Я.Вангенгейма и их аналогами в Южном полушарии, что указывает на наличие общих планетарных причин, определяющих динамику атмосферной циркуляции на всей Земле.

8. На изменение температуры воздуха в Антарктике оказывает влияние Северо-Атлантическое колебание (периоды более 6-7 лет) и Северо-Тихоокеанское колебание (периоды от 2-3 до 5-6 лет). Это влияние осуществляется через изменение интенсивности Южно Полярного колебания.

9. Знакопеременность изменений температуры и количества осадков от десятилетия к следующему десятилетию, отсутствие на большинстве станций Антарктики статистически значимых положительных трендов температуры и количества осадков позволяют сделать вывод об отсутствии в последние десятилетия XX века общего потепления Антарктики.

10. Разработана методика вероятностной оценки успешности обзора земной поверхности с помощью спутниковых оптических и ИК-систем землеобзора по климатическим данным о количестве общей облачности, что исключает необходимость использования для расчетов архивы ежедневных спутниковых данных о количестве общей облачности.

11. В навигационный период благоприятные условия для получения полезной информации о состоянии поверхности Антарктики с помощью спутниковых оптических систем землеобзора существуют только на континенте Антарктиды и непосредственно прилегающей к побережью акваторией, где периодичность поступления полезной информации составляет 1-3 суток. Над всей остальной частью Южного океана, покрытой льдом, периодичность поступления сведений о состоянии ледового покрова составляет 9-12 суток, что вряд ли позволяет считать спутниковые оптические системы землеобзора основным средством получения полезной информации о состоянии поверхности этой части Южного океана.

Публикации автора по теме диссертации

1. Розанова И.В. Рациональный метод априорной оценки вероятности успешного обзора земной поверхности из космоса в оптическом диапазоне при наличии облачности // Материалы итоговой сессии Ученого Совета: Тезисы докл., Санкт-Петербург, 23 – 24 января 2001 г. – СПб.: Изд. РГТУ. – С.14 – 17. (соавторы: Воробьев В.И., Рознов Р.Е.)
2. Розанова И.В. Априорная оценка вероятности успешного обзора земной поверхности из космоса по климатическим данным о количестве общей облачности // Исследование земли из космоса. – 2002. - №1. – С.38 – 41 (соавторы: Воробьев В.И., Розанов Р.Е.)
3. Розанова И.В. Изменчивость интенсивности и положения циклонического штирпа действия в атлантическом секторе Южного океана во второй половине XX столетия //

Метеорология и гидрология. - 2003. - №1. - С.75 – 82 (соавторы: Смирнов Н.П., Саруханян Э.И.)

4. Розанова И.В. Сезонная динамика характеристик центров действия атмосферы в южной полярной области // Материалы итоговой сессии Ученого Совета: Тезисы докл., Санкт-Петербург, 27 – 28 января 2003 г. – СПб.: Изд. РГТМУ. – С.46 – 47.

5. Розанова И.В. Циклонические центры действия атмосферы южного полушария и изменения климата// Монография, - СПб.,: Изд. РГТМУ. – 217с. (соавторы: Смирнов Н.П., Саруханян Э.И.)

6. Розанова И.В. Вероятностная оценка возможности определения состояния земной поверхности с помощью оптических систем ИСЗ по климатическим данным о количестве облачности// Сборник трудов молодых ученых по гидрометеорологии. – СПб.: Изд. РГТМУ. – С.22 – 28. (соавтор: Розанов Р.Е.)

