



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
филиал ФГБОУ ВО «РГГМУ» в г. Туапсе

Кафедра «Метеорологии экологии и природопользования»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)  
по направлению подготовки 05.03.05 Прикладная гидрометеорология  
(квалификация – бакалавр)

На тему «Характеристика метеорологических условий Антарктиды и примыкающих к ней океанических районов Антарктики»

Исполнитель: Озолин Андрей Георгиевич

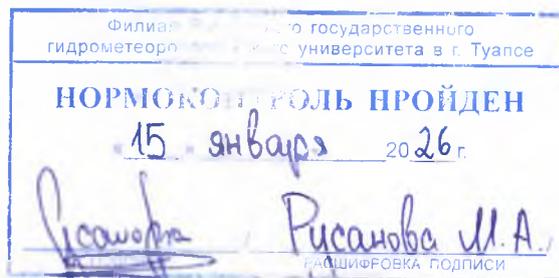
Руководитель: к.ф.-м.н., доцент Величко Виталий Андреевич

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
Цай Светлана Николаевна

« 15 » января 2026 г.



Туапсе  
2026

Введение.....	2
1 Особенности географического положения, подстилающей поверхности и животного мира континента Антарктида.....	2
1.1 Краткая географическая характеристика.....	2
1.2 Природные зоны и животный мир.....	2
2 Общая характеристика климатических условий континента.....	2
2.1 Характеристика метеорологических условий Антарктиды и примыкающих к ней океанических районов Антарктики.....	2
2.2 Особенности метеорологических условий станции Новолазаревская...	2
3 Изменение климата и характеристика типичных опасных явлений.....	2
Заключение.....	2
Список литературы.....	2

## Введение

Изменение климата является одной из наиболее сложных проблем нашего столетия. Решению этой проблемы посвящены многочисленные исследования в области климатологии и их обобщения в виде докладов Межправительственной группы экспертов по проблеме изменений климата (МГЭИК). В России изменению климата посвящена разработанная Климатическая доктрина и Климатическая программа с оценкой будущих изменений климата, как по всей стране, так и для отдельных федеральных округов.

Несмотря на то, что существует большое количество эффективных физико-математических моделей климата для оценки его будущих изменений на основе климатических сценариев, вопрос региональных изменений климата, а в частности температурного режима остается открытым.

Актуальность исследований обусловлена тем, что понимание проявления и изменения климата любого региона формирует тенденции и характер изменений температурного режима и других метеорологических факторов на региональном уровне.

Объект исследований – Антарктида

Предмет исследований – климатические условия континента Антарктида

Для решения поставленной задачи необходимо было выполнить следующие виды работ:

- собрать информацию по среднемесячным температурам воздуха на метеостанциях Антарктиды, которые равномерно размещены на ее территории;
- ~ сформировать базу данных многолетних рядов среднемесячных температур метеостанций;
- ~ осуществить пространственное обобщение полученных климатических изменений для каждой нестационарной модели.

# 1 Особенности географического положения, подстилающей поверхности и животного мира континента Антарктида

## 1.1 Краткая географическая характеристика

Антарктида – это исключительный континент, имеющий ключевое значение для глобальной экосистемы и климатических механизмов Земли. Научные изыскания в этом регионе позволяют исследователям глубже изучать климатические трансформации и реконструировать геологическое прошлое планеты по данным, заключённым в ледниковых массивах.

Континент также служит средой обитания для самобытных экосистем: здесь располагаются колонии императорских пингвинов, и наблюдается богатое разнообразие морских организмов [19]. В соответствии с Антарктическим договором территория сохраняет статус международной научной площадки – на ней запрещены военные операции и отсутствует постоянное население (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Рельеф местности

Исключительная особенность Антарктиды заключается в том, что этот континент со всех сторон омывается океаном и скрыт под массивными ледяными покровами, благодаря чему он входит в число наиболее холодных и возвышенных на нашей планете. В отдельных районах толщина ледяного панциря поднимает поверхность материка на высоту свыше 4,5 км над уровнем моря [7].

Научные исследования этого континента не прекращаются – учёные продолжают изучать его уникальные природные особенности и климат. Есть версия, что название происходит от греческих «anti» (против) и «arktos» (медведь/север), то есть «противоположная северу». Такое наименование вполне соответствует расположению материка на глобусе, указывая на его противоположность Арктике (рисунок 1.2).

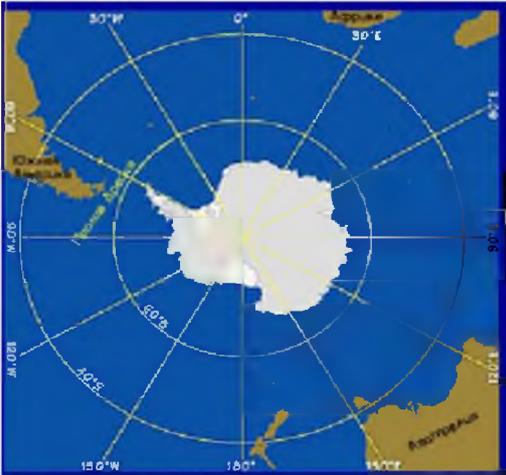
	<p><b>Антарктида - материк на крайнем юге Земли, который был открыт последним.</b></p>
	<p><b>1. Сходятся все меридианы;</b></p> <p><b>2. Находится Южный полюс Земли;</b></p> <p><b>3. Находится Южный магнитный полюс;</b></p> <p><b>4. Находится Полюс холода Земли – ст. Восток -89;</b></p> <p><b>5. Самые сильные ветры на Земле.</b></p> <p><b>6. Самый высокий материк средняя высота- 2040м.</b></p> <p><b>7. Максимальная высота льда -4500м</b></p> <p><b>8. Льды содержат 80% всех пресных вод Земли.</b></p>

Рисунок 1.2 – Краткое географическое описание континента

- Расположение – южнее 60° ю. ш.
- Площадь – 14,1 млн. км<sup>2</sup> (в 1,4 раза больше Европы)
- Расстояние до Южной Америки – 970 км

Уникальность Антарктиды заключается в том, что это настоящий континент, а не просто скопление льдов, как в случае с Арктикой. Её омывают три океана: Атлантический, Тихий и Индийский, а с 2000 года вокруг неё официально выделяют Южный океан как пятый океан планеты [22].

Под многометровой толщей льда Антарктиды таятся разнообразные географические объекты – от горных хребтов и долин до действующих вулканов (в том числе вулканов Винсон и Эребус).

Изучение этих форм рельефа имеет огромное значение для понимания геологических процессов и климатических особенностей Земли, а также позволяет учёным (рисунок 1.3) исследовать глубинные процессы планеты и их воздействие на мировую экосистему.

Характерный грушевидный облик материка сформировался благодаря специфике рельефа и наличию двух крупных морских заливов – моря Росса и моря Уэдделла. Из-за расположения за Южным полярным кругом континент отличается уникальными природными явлениями: летом солнце не заходит (полярный день), зимой – не появляется (полярная ночь). На Южном полюсе продолжительность каждого из этих периодов достигает полугода.



Рисунок 1.3 – Станция Беллинсгаузен

Помимо прочего, это масштабный регион, площадью 14,1 млн км<sup>2</sup>, подавляющая часть которого скрыта подо льдом. Его протяжённость в направлении с севера на юг составляет более 3000 км, а в направлении с запада на восток – 4500 км.

По показателям высоты Антарктида заметно выделяется: средний уровень её поверхности превышает 2000 м над морем [9]. Абсолютный максимум высоты приходится на массив Винсон (4892 м), в то время как абсолютный минимум зафиксирован во впадине Денмана (-3500 м относительно уровня моря).

Таблица 1.1 – Сведения о ледяном покрове по основным территориям континента

Региональные данные о льдах (из работ Дрюри и других авторов, 1982; Дрюри, 1983)			
Регион	Площадь(км <sup>2</sup> )	Средняя толщина льда (м)	Объём (км <sup>3</sup> )
Восточная Антарктида			
Внутренний лед	9,855,570	2,630	25,920,100
Шельфовые ледники	293,510	400	117,400
Лед поднимается	4,090	400	1,600
Западная Антарктида (за исключением Антарктического полуострова)			
Внутренний ледяной покров	1,809,760	1,780	3,221,400
Шельфовые ледники	104,860	375	39,300
Лед поднимается	3,550	375	1,300
Антарктический полуостров			
Внутренний ледяной покров	300,380	610	183,200
Шельфовые ледники	144,750	300	43,400
Лед поднимается	1,570	300	500
Шельфовый ледник Росса			
Шельфовые ледники	525,840	427	224,500
Лед поднимается	10,320	500	5,100
Шельфовый ледник Фильхнер-Ронне			
Шельфовые ледники	472,760	650	307,300
Лед поднимается	59,440	750	44,600

Последние научные исследования подтвердили: Антарктида выделяется наличием грандиозного ледяного покрова объёмом 26,5 млн. км<sup>3</sup>. Особенно внушительна толщина льда в восточной части – до 4800 м. Громадная масса ледяного щита создаёт колоссальное давление, из-за чего земная кора опускается примерно на 500 м. Кроме того, каждый год от побережья Антарктиды откалывается порядка 2500 км<sup>3</sup> льда, порождая айсберги [2].

Трансантарктические горы выполняют роль естественной границы, разделяющей континент на два разнородных региона. К востоку простирается величественное Советское плато – обширное высокогорное пространство, где поверхность ледяного покрова поднимается до отметки в 4004 м [9]. В противовес ему Западная Антарктида представляет собой архипелаг скалистых островов, скреплённых воедино мощным ледяным покровом.

Ледяной панцирь Антарктиды скрывает под собой ряд примечательных геологических объектов. В их числе – гигантский кратер диаметром 482 км, который возник вследствие падения астероида 250 млн лет назад (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Метеоритный кратер

Полное таяние льдов, вызванное изменением климата и сопутствующими факторами, радикально изменит облик Антарктиды. Учёные предполагают, что

вода покрывает около 30 % территории материка. Западная часть превратится в скопление островов, в то время как восточная останется практически неизменной. В настоящее время ледяная толща окутывает подавляющую часть Антарктиды (98 %). Только 0,3 % площади континента (40 000 км<sup>2</sup>) остаются свободными ото льда – это прибрежные полосы, изолированные горные вершины и уникальные «сухие долины» [4]. Остальные земли представляют собой скальные массивы с локальными ледниковыми участками и территории с сезонным снежным покровом.

## 1.2 Природные зоны и животный мир

Уникальность этого региона наглядно демонстрирует разнообразие его рельефа и ландшафтов. Несмотря на относительно небольшие размеры, здесь можно выделить несколько условных зон: антарктическую пустыню, оазисы, а также антарктическую тундру, к которой относятся прибрежные территории и острова (рисунок 1.5).

Климат	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Почти 90% солнечной радиации отражается ледяной поверхностью.</li> <li>• В условиях полярной ночи происходит сильное выхолаживание материка.</li> <li>• Ледяной покров постоянно пополняется за счет выпадения снега и его накопления.</li> </ul>	

### Природные зоны Антарктиды

Климатический пояс	Воздушные массы/ветры	Температура, °С		Осадки, мм
		лето январь	зима июль	
Антарктический	Антарктические. Внутренние районы – безветрие и отсутствие облаков	-30	-60 <i>t<sub>min</sub></i> – (-89,2° С)	до 100 (в виде снега)
Субантарктический (по побережью территории)	Стоковые ветры со скоростью до 90 м/с	до 0	-30	до 500

Внутренние воды	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Почти все находятся в твердом состоянии в виде льда и снега; в оазисах – местах на побережьях, где снег лежит только зимой, – небольшие озера.</li> </ul>	

Природные зоны	Растительность	Животный мир
Антарктическая пустыня	–	Бактерии
Оазисы	Водоросли, лишайники	Насекомые, клещи
Антарктическая тундра (побережье, острова)	Три вида цветковых растений, водоросли, мхи, лишайники	Буревестники, пингвины, поморники, тюлени

Рисунок 1.5 – Основные природные зоны континента

Здесь легко увидеть обширные поселения пингвинов, понаблюдать за тем, как охотятся морские леопарды насладиться зрелищем выпрыгивающих из воды китов – иногда они оказываются всего в нескольких метрах от лодки (рисунок 1.6)



## Рисунок 1.6 – Оптимальные сезоны наблюдений за природой

Среди представителей антарктической фауны особое место занимают пингвины. Прибрежные территории служат домом для различных видов этих поразительных птиц. Рекордсменами по размеру являются императорские пингвины, вырастающие до 120 см. Адаптация к жёсткому климату у них отработана до мелочей – в периоды сильных морозов они формируют большие группы, согревая друг друга и регулярно перемещаясь внутри группы. Пингвины Адели, хоть и уступают в размерах, зато славятся своей любознательностью – они без страха подходят к людям, тщательно исследуя незнакомцев.

Для наблюдения за пингвинами наиболее подходят летние месяцы – с декабря по февраль. Для наблюдения за китами подойдут февраль и март. В январе есть шанс увидеть малышей тюленей, тогда как декабрь – месяц появления на свет птенцов пингвинов.

Пингвинов от холода оберегают сразу несколько природных механизмов: сплочённость стаи, тёплое оперение и значительный слой подкожного жира. Именно эти жировые запасы делают пингвинов привлекательной добычей для их основного хищника – морского леопарда. Этот грозный охотник способен вырастать до 3,5 м в длину и набирать массу вплоть до 600 кг.

Впрочем, в прибрежных водах обитают и другие виды тюленей, помимо морских леопардов. Среди них – тюлени-крабоеды и тюлени Уэдделла. Примечательно, что тюлени Уэдделла издают необычные звуки, которые походят на птичий щебет и стрекотание (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Тюлень Уэдделла

Этот регион открывает редкую возможность наблюдать масштабные колонии пингвинов – одних из наиболее характерных представителей антарктической фауны. Здесь же можно стать свидетелем охоты морских хищников и увидеть грациозные прыжки китов, которые часто происходят в непосредственной близости от судна.

С декабря по март в водах Антарктики у полуострова можно наблюдать китов. Наибольшее впечатление производят горбатые киты, которые эффектно выпрыгивают из воды, создавая мощные брызги.

Самцы горбатых китов известны своими протяжными мелодичными песнями, которые удаётся записать при помощи специального оборудования. В этих водах также обитают касатки – самые крупные представители семейства дельфиновых.

Среди небесных просторов Антарктиды можно наблюдать альбатросов, буревестников и поморников. Как истинные морские птицы, они демонстрируют удивительную приспособляемость к тяжёлым условиям и могут

пролететь много километров над океаном в погоне за едой.

Редкие гости Антарктиды рассказывают: местные животные проявляют к человеку исключительную доверчивость, хотя злоупотреблять этим не стоит.

Исходя из рекомендаций и накопленного опыта, следует соблюдать безопасную дистанцию: не менее 5 м – от животных на суше, 10 м – от колоний пингвинов. При встрече с морскими котиками рекомендуется держаться на расстоянии 15–25 м, поскольку они могут проявлять агрессию. Как упоминалось ранее, в этой местности есть небольшие острова, один из которых – остров Буве (рисунок 1.8).

Остров Буве - вулканический остров в южной части Атлантического океана. До ближайшей населенной точки отсюда 2600 км, а до материковой части Антарктиды — 1700 км.

Площадь — 49 км<sup>2</sup>

Высшая точка — гора Олав (780 м)

Особенность — 93% территории покрыто ледником

Рисунок 1.8 – Характеристика острова Буве

По имеющимся предположениям, этот затерянный норвежский остров – спящий вулкан, последнее извержение которого произошло около 4 000 лет назад. Высадка здесь возможна только на северо-западном побережье Нюрёйса – участке, сформировавшемся после масштабного оползня в середине XX века. На этой территории функционирует автоматическая метеостанция, а в тёплый сезон начинает работу небольшая исследовательская база.

Суровый климат не мешает острову оставаться ключевым местом для гнездования морских птиц и отдыха тюленей. Здесь проживает многочисленная

колония пингвинов (более 4 500 птиц), а в окружающих водах можно увидеть косаток и горбатых китов.

Гости этого необыкновенного места могут:

- ~ понаблюдать за колонией пингвинов Макарони, живущей в естественной среде.
- ~ побывать в таинственном месте, где в 1964 году обнаружили заброшенную шлюпку с невыясненной до сих пор историей происхождения.
- ~ сделать снимки поразительных пейзажей, в которых ледяные просторы эффектно сочетаются с вулканическими породами.

Пролив Дрейка, находящийся между Южной Америкой и Антарктидой, считается самым обширным и глубоководным морским проходом на планете. Ширина этого пролива варьируется от 820 км, а глубина в самых глубоких точках доходит до 5 км (рисунок 1.9). Именно здесь сливаются воды Тихого и Атлантического океанов.

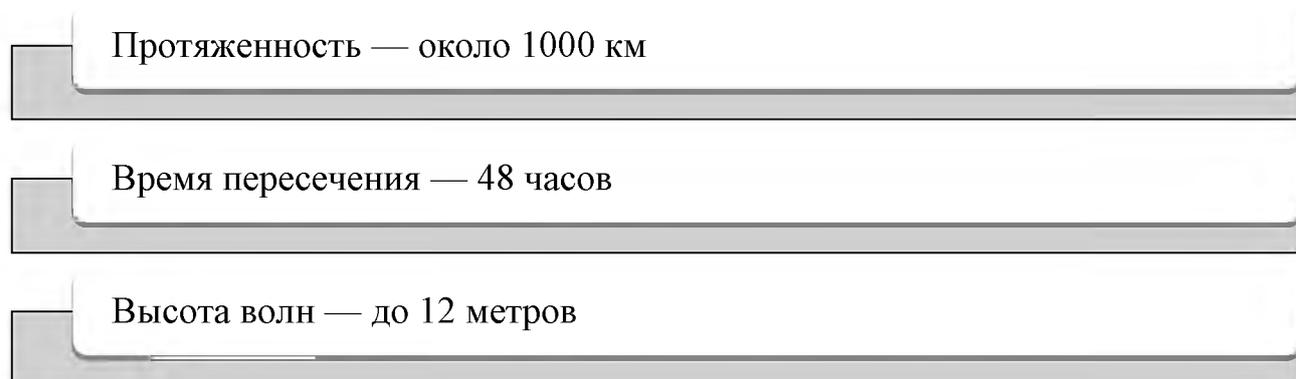


Рисунок 1.9 – Географические параметры

По оценкам метеорологов, это одно из наиболее штормовых мест на нашей планете. Отсутствие суши не позволяет ослабить натиск мощных западных ветров, а взаимодействие холодных и тёплых течений порождает интенсивные водовороты [16]. Благодаря особенностям местоположения эти воды получили от мореплавателей прозвища «ревущие сороковые» и «неистовые пятидесятые» – по широтам, на которых расположен пролив.

Своим поэтичным именем архипелаг Огненная Земля обязан Фернанду Магеллану. Будучи крайней южной точкой перед исследуемым материком, эта

группа островов была названа так после того, как в 1520 году Магеллан заметил на берегу многочисленные костры, разожжённые аборигенами для обогрева.

Архипелаг расположен в промежутке между Атлантическим и Тихим океанами. Его столицей является город Ушуайя – он заслуженно носит звание самого южного города на Земле. Примечательно, что регион выделяется своеобразными климатическими особенностями: летом температура держится на относительно тёплом уровне (примерно  $+10^{\circ}\text{C}$ ), а зимой не опускается слишком низко (в среднем около  $-2^{\circ}\text{C}$ ). Общая площадь архипелага достигает  $73\,746\text{ км}^2$ , причём территория поделена между двумя государствами – Аргентиной и Чили (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Огненная земля

Сегодня Огненная Земля востребована не только в качестве отправной точки для экспедиций в Антарктиду, но и как самодостаточный регион для познавательных путешествий.

Вот несколько идей для незабываемого отдыха:

– Отправьтесь в путешествие на «Поезде в край света» – это железнодорожная линия, которая по праву считается самой южной на планете.

~ Организуйте морскую экскурсию по проливу Бигль: вы сможете увидеть пингвинов и места отдыха морских львов.

~ Совершите подъём на ледник Мартиаль – с его вершины вам откроется потрясающая панорама на город Ушуайя и пролив Бигль.

Даже в ледяных просторах Антарктиды наблюдается вулканическая деятельность. Среди наиболее знаменитых вулканов региона – гора Мельбурн высотой 2733 м и вулкан Эребус, чья высота достигает 3794 м. Оба они сохраняют активность и по-прежнему формируют уникальный рельеф антарктического континента.

~ Среди антарктических вулканов Эребус (3794 м) занимает второе место по высоте.

~ Гора Мельбурн в высоту достигает 2733 м.

~ Если Эребус проявлял активность совсем недавно – в 2020 году, то последнее извержение Мельбурна датируется 1892 годом.

~ Эребус выделяется среди прочих вулканов наличием стабильного лавового озера, которое непрерывно существует в его кратере.

В ледяных просторах Антарктиды, на острове Росса, находится вулкан Эребус – самый южный из действующих на планете. Парадокс природы: в этом царстве холода бурлит лавовое озеро, одно из немногих стабильных на Земле, а рядом, вопреки морозам, существуют ледяные пещеры, согреваемые геотермальным теплом (рисунок 1.11).

Хотя гора Мельбурн отличается меньшей вулканической активностью, она не менее примечательна. На её периферии встречаются необычные ледяные образования причудливой формы, сформированные горячими фумаролами. Кроме того, на прогретой вулканической почве здесь произрастают редкие мхи и лишайники – явление, уникальное для антарктического региона.



Рисунок 1.11 – горы Мельбурн

История открытия Кровавого водопада началась в 1911 году, когда геолог Томас Гриффит Тейлор заметил поразительное зрелище: поток ярко-красной воды, будто срывающийся с языка ледника Тейлора и впадающий в озеро Бонни в «сухих долинах» Мак-Мердо. Это уникальное антарктическое явление десятилетиями будоражило умы исследователей. Выяснилось, что источник водопада – солёный резервуар под ледником на глубине 400 метров, где вода сохраняет температуру  $-7^{\circ}\text{C}$ . Поначалу учёные думали, что необычный цвет воде придают водоросли, однако, правда оказалась гораздо интереснее.

Механизм явления объясняется химически: вода древнего подледного озера богата соединениями железа. При просачивании сквозь ледяные трещины и контакте с кислородом в атмосфере происходит окислительная реакция, которая и придаёт потоку характерный кровавый оттенок.

Этот природный феномен имеет древнюю историю: около 5 миллионов лет назад под ледником оказалась законсервирована морская вода. За миллионы лет её солёность возросла втрое, что позволило ей оставаться жидкой даже в экстремальном холоде. Это место даёт возможность наблюдать уникальный природный феномен – «кровотокающий» ледник, любоваться контрастом белоснежного льда и алого потока, а также изучать окрестности «сухих долин»

– одного из наиболее примечательных ландшафтов Антарктиды.

Остров Десепшен – действующий вулкан, имеющий форму подковы. Его отличительная черта – обширная природная гавань, расположенная внутри кратера. Доступ в эту гавань возможен лишь через узкий пролив «Меха Нептуна» шириной 500 метров, который служит единственными «воротами» в затопленную морскими водами кальдеру. Диаметр острова достигает примерно 12 км. Последние извержения зафиксированы в период с 1967 по 1970 год. У побережья в отдельных зонах температура воды поднимается до 70 °С, вулкан находится под непрерывным мониторингом.

В исторической перспективе остров выполнял двоякую функцию: первоначально он служил базой для китобойного промысла, впоследствии – местом дислокации научных станций различных государств. Тем не менее, вулканическая активность в период 1967–1969 годов привела к разрушению преобладающей части инфраструктурных объектов.

В холодные зимние месяцы, несмотря на низкие температуры, ледник Тейлора продолжает радовать глаз своими яркими потоками. Возникающий пейзаж выглядит почти фантастически. Это притягивает фотографов, желающих запечатлеть контраст красной воды на фоне белоснежного льда, а также причудливые очертания горных массивов и долин.

Научные исследования в этом регионе охватывают не только водопад. Учёные изучают, как климатические изменения влияют на ледниковую систему, а также исследуют экосистемы подледных озёр. В них обитают уникальные микроорганизмы, способные существовать в условиях, которые прежде считались непригодными для жизни. Подобные открытия могут помочь понять, возможна ли жизнь на других небесных телах – например, на Европе или Энцеладе, где тоже могут быть подледные океаны.

Вулканическая активность острова Десепшен не мешает ему быть настоящим оазисом жизни. Морские птицы и тюлени облюбовали это место, превратив его в своё безопасное убежище. Исследователи, побывавшие здесь не однажды, сходятся во мнении: сочетание суровой вулканической природы и

пышного биоразнообразия, дополненное неповторимой красотой ландшафта, делает остров исключительным объектом для научных изысканий.

Вулканические потоки создают у побережья необычные ландшафты. В этих местах горячая вода вступает во взаимодействие с холодными океанскими волнами, что формирует благоприятную среду для проведения научных исследований.

Учёные и организаторы путешествий ведут постоянную работу над тем, чтобы снизить нагрузку на экосистемы, одновременно гарантируя безопасность туристов. «Кровавый водопад» и остров Десепшен в этой парадигме превращаются в мощные символы: они не только восхищают своей необычайной красотой, но и заставляют задуматься о ценности нетронутой природы и важности её сохранения для будущих поколений.



Рисунок 1.12 – «Земля Королевы Мод»

Среди антарктических просторов особое место занимает Земля Королевы

Мод – край, способный поразить даже самое искушённое воображение (рисунок 1.12). Регион выделяется величественными горными хребтами, которые возвышаются над обширным ледяным плато. Территория, названная в честь норвежской королевы, по площади сопоставима с Аргентиной и тянется от побережья до Южного полюса.

- ~ Протяженность: 2,7 миллиона квадратных километров.
- ~ Средняя высота: 2000 метров над уровнем моря.
- ~ Идеальное время для визита: с ноября по январь.
- ~ Летние температуры: колеблются от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $-45^{\circ}\text{C}$ .

Земля Королевы Мод выделяется на фоне прочих регионов Антарктиды своим неповторимым горным ландшафтом. Здесь скальные пики, напоминающие по форме ракеты, резко возвышаются над ровными ледяными полями, формируя впечатляющий рельеф. Особой популярностью у альпинистов пользуются вершины Ульветанна («Волчий клык») и Хольтанна – их отвесные склоны привлекают спортсменов со всего мира.

Уникальность ландшафтов Земли Королевы Мод настолько выразительна, что путешественники нередко сравнивают их с внеземными пейзажами. Эти места дарят ощущение подлинного первооткрывательства: во многих районах региона до сих пор сохранились непокорённые горные вершины и неизученные маршруты.

Чем можно заняться в Земле Королевы Мод:

- ~ подъём на смотровую площадку пика Ульветанна (панорамные виды);
- ~ осмотр голубых ледяных пещер у подножия гор;
- ~ лыжные походы по девственным снежным территориям.

Антарктида практически полностью покрыта массивным ледяным панцирем со средней толщиной не менее 1500 метров (около 5000 футов). На этом континенте сосредоточено 90 % всех мировых запасов льда и свыше 70 % пресной воды планеты. Полное таяние антарктических льдов, объём которых составляет порядка 30 миллионов кубических километров, привело бы к подъёму уровня мирового океана более чем на 60 метров.

В условиях экстремального холода Антарктиды даже умеренное повышение температуры зачастую не приводит к таянию льда, так как температура не преодолевает порог точки плавления.

Согласно прогнозам, глобальное потепление может спровоцировать рост количества снегопадов, что будет способствовать наращиванию ледяного щита Антарктиды. Такое развитие событий способно частично нивелировать подъём уровня моря, обусловленный тепловым расширением океанических вод. Последние наблюдения показывают разнонаправленную динамику толщины льда: в Восточной Антарктиде фиксируется прирост примерно на 1,8 см в год, тогда как в Западной Антарктиде отмечается уменьшение на 0,9 см в год.

## 2 Общая характеристика климатических условий континента

### 2.1 Характеристика метеорологических условий Антарктиды и примыкающих к ней океанических районов Антарктики.

Как самый холодный континент Земли, Антарктида демонстрирует поразительно низкие температуры. Во внутренних областях материка столбик термометра может упасть до  $-89,2^{\circ}\text{C}$ . Эта рекордно низкая температура, когда-либо зафиксированная на нашей планете, была отмечена на станции «Восток».

Над центральными районами континента регулярно возникает зона повышенного давления, именуемая антарктическим антициклоном [24, с.33]. Благодаря этому явлению формируются стабильные ветровые потоки: по мере движения от высокогорного ледяного плато к береговой черте их скорость существенно возрастает, достигая штормовой силы (рисунок 2.1).

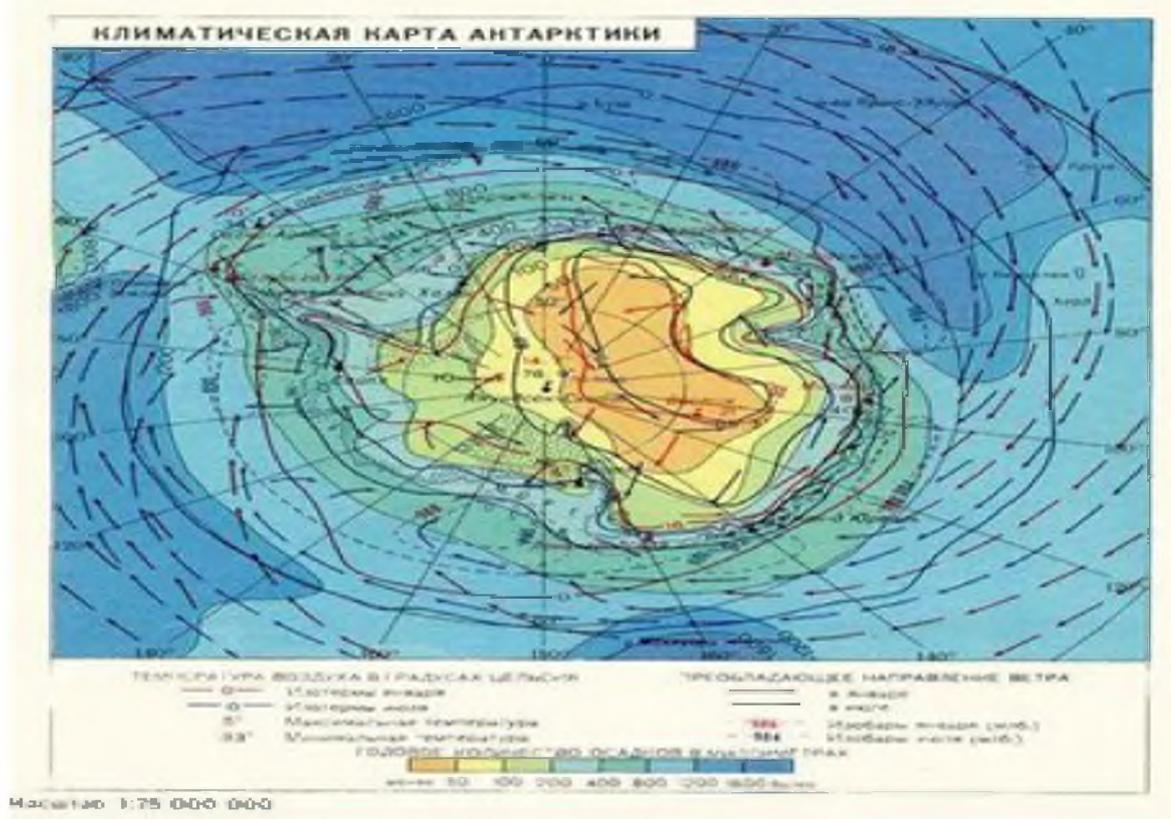


Рисунок 2.1 – Карта климата Антарктиды

В Антарктиде наблюдается ярко выраженная климатическая зональность. В прибрежных районах, доступных для туристических кораблей, зимние

температуры составляют от  $-35^{\circ}\text{C}$  до  $-8^{\circ}\text{C}$ , а летом воздух может прогреться до  $+5^{\circ}\text{C}$ . В центральных частях континента погодные условия намного жёстче: летние температуры не поднимаются выше  $-30^{\circ}\text{C}$ , а зимой столбик термометра может опуститься до  $-75^{\circ}\text{C}$  [1].

Антарктический климат – особая климатическая категория, охватывающая как сам континент, так и прилегающие воды Южного океана (рисунок 2.2). Во внутренних областях, где доминирует антарктический антициклон, фиксируются экстремально низкие температуры при слабом ветре. На прибрежных склонах заметно возрастает количество осадков и усиливается ветер, порождая стоковые потоки [21].

Побережье отличается интенсивными ветрами и сравнительно тёплым воздухом. В океанических антарктических секторах наблюдаются резкие перепады давления, мощные циклонические ветры и более сглаженные температурные колебания.

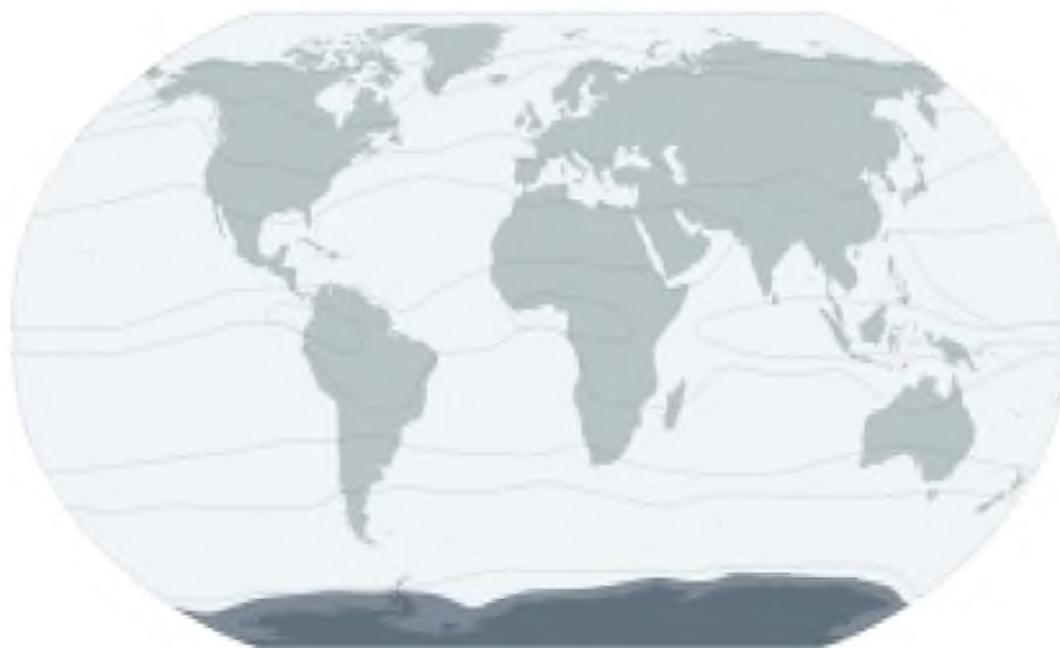


Рисунок 2.2 – Границы антарктического климата по Алисову

Хотя Центральная Антарктида зимой погружается в многомесячную полярную ночь, её годовая суммарная радиация приближается к значениям, характерным для экваториальных широт [26]. При этом основной тип климата

континента – полярно-континентальный (за исключением прибрежных зон) (рисунок 2.3).

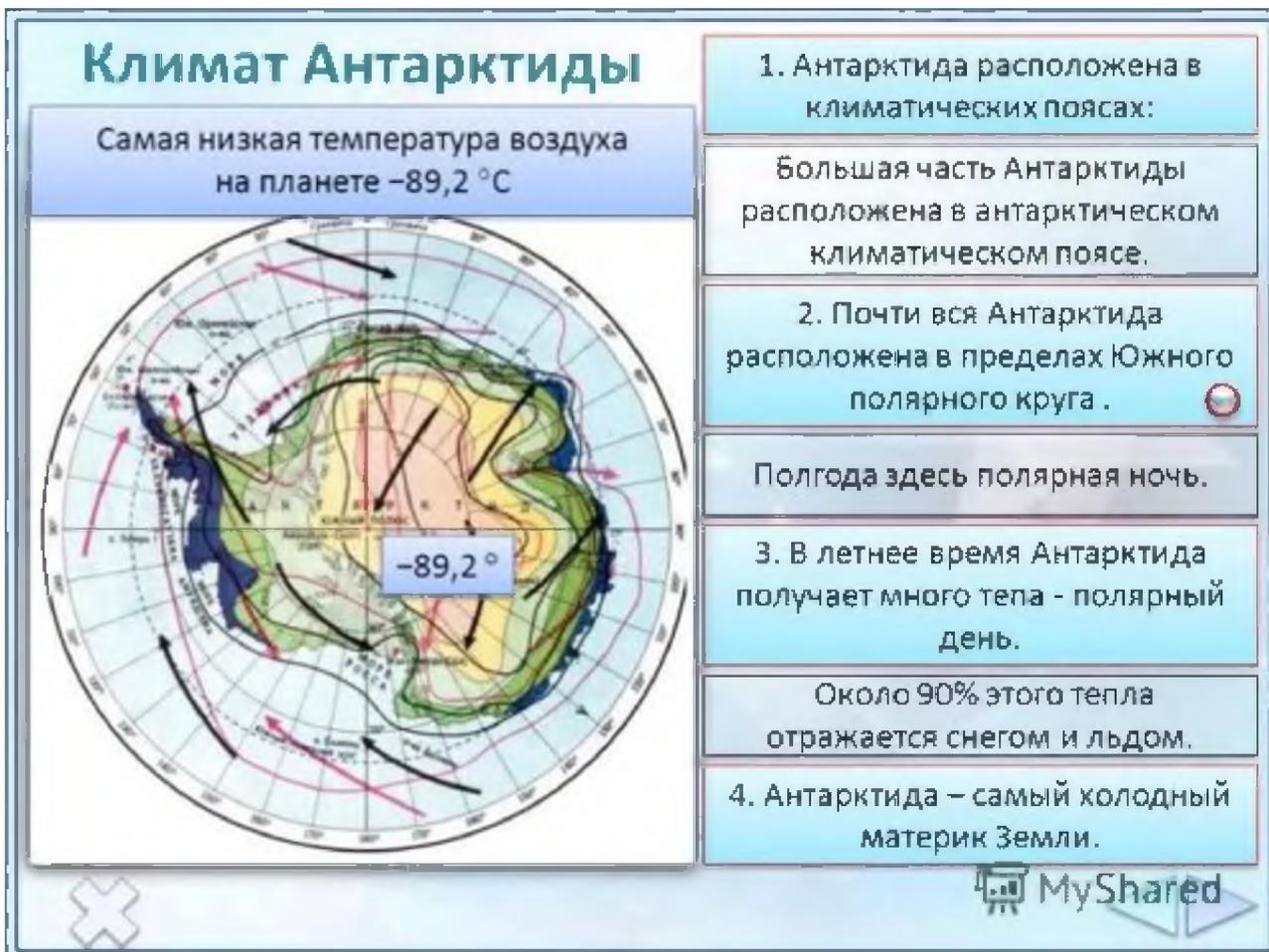


Рисунок 2.3 – Характерные особенности климатических проявлений на материке

Климат внутриматериковых районов.

В центральных районах Антарктиды наблюдаются крайне суровые климатические условия. Метеорологический мониторинг в этой зоне осуществляется на станциях Амундсен-Скотт и Восток. Согласно спутниковым измерениям, абсолютный минимум температуры ( $-91,2^{\circ}\text{C}$ ) был зафиксирован на станции «Купол Фудзи». Сезонные температурные показатели демонстрируют следующие диапазоны: зимний период – от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $-70^{\circ}\text{C}$ , летний – от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $-45^{\circ}\text{C}$ .

За весь период работы станции «Восток», начиная с 16 декабря 1957 года, температура ни разу не поднималась выше  $-13,6^{\circ}\text{C}$ .

Как показывают исследования метеорологов, столь заметные повышения температуры случаются из-за нечастых прорывов циклонов с океанских просторов вглубь материка [27, с.256]. При этом на станции Амундсен-Скотт климатические условия оказываются чуть менее жёсткими – сказывается близость к побережью.

Среднегодовые температуры в отдельных районах юго-восточной Антарктиды достигают  $-60,1$  °С. Зимой перепады температуры меньше, чем летом. Особенно холодно на станции «Восток»: с апреля по сентябрь столбик термометра здесь нередко падает ниже  $-80$  °С, а средний показатель не превышает  $-70$  °С (таблица 2.1). Впрочем, в периоды до середины апреля и после 20-х чисел сентября средняя температура обычно держится выше  $-70$  °С. Абсолютные температурные минимумы отмечены на станциях: «Восток», «Полюс недоступности», «Восток-1», «Куньлунь», и «Купол Фудзи».

6 августа 2024 года на станции «Восток» была зарегистрирована необычно высокая для зимнего сезона температура –  $-34,2$  °С, что стало рекордным показателем [3].

Таблица 2.1 – Температурный и режим осадков на станции Восток, °С и мм.

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Абс. Макс.	-12	-21	-35	-33	-41	-40	-34,	-36	-38	-24	-23	-13	-12
Средний максимум,	-28	-39	-55	-62	-62	-61	-62	-64	-61	-52	-37	-27	-51
Средняя температура	-31	-44	-58	-65	-65	-65	-66	-67	-66	-57	-42	-31	-55
Средний минимум,	-36	-49	-61	-67	-68	-68	-69	-70	-69	-63	-48	-36	-59
Норма осадков, мм	0	0	1	2	3	2	2	2	2	2	1	1	18

Согласно климатическим наблюдениям, центральная область Антарктиды отличается крайне низким годовым количеством осадков. Основными формами их выпадения являются ледяные кристаллы («алмазная пыль») и иней. Ветровая активность характеризуется низкими скоростями в центральной части с тенденцией к увеличению при приближении к континентальному склону [5].

Прибрежные области Антарктиды демонстрируют заметные сезонные колебания температуры. В летние месяцы, особенно в районе Антарктического полуострова, столбик термометра может подняться до  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  [13]. При этом январь, считающийся самым тёплым месяцем, в среднем показывает температуру от  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Зимой картина кардинально меняется: в июле средняя температура на побережье варьируется – от относительно «мягких»  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  на полуострове до суровых  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  вблизи ледника Росса.

Стоковые ветры образуются вследствие стекания холодного воздуха из внутренних районов Антарктиды. У побережья их средняя скорость достигает  $12\text{ м/с}$ . При взаимодействии с циклоническими воздушными потоками скорость ветра возрастает до ураганных значений –  $50\text{--}60\text{ м/с}$ , а в отдельных случаях – до  $90\text{ м/с}$ . Преобладание нисходящих воздушных потоков обуславливает пониженную относительную влажность воздуха ( $60\text{--}80\%$ ). В прибрежной зоне и антарктических оазисах этот показатель снижается до  $20\%$ , а местами – до  $5\%$ .

Наблюдается низкая облачность. Преобладающая форма осадков – снег. Годовое количество осадков демонстрирует выраженную пространственную изменчивость: в центральных районах континента оно составляет  $30\text{--}50\text{ мм}$ ; на континентальном склоне возрастает до  $600\text{--}700\text{ мм}$ ; у его основания снижается до  $400\text{--}500\text{ мм}$ . На отдельных шельфовых ледниках и на северо-западном побережье Антарктического полуострова отмечается повторное увеличение до  $700\text{--}800\text{ мм}$ , а в отдельных зонах – до  $1000\text{ мм}$ . В условиях интенсивных ветров и обильных снегопадов регулярно возникают метели [25].

Климат побережья.

Прибрежный климатический режим Антарктиды определяется комплексом факторов. При движении воздушных масс от материка к побережью происходит их нагрев вследствие адиабатического сжатия. Существенное влияние на формирование климата оказывают циклоны, формирующиеся в Южном океане и мигрирующие в сторону высоких широт.

Важную роль играет тепловое воздействие океана: несмотря на постоянное наличие ледяного покрова и температуру воды, близкую к  $0^{\circ}\text{C}$ , морская вода сохраняет более высокую температуру по сравнению с атмосферным воздухом, обеспечивая активный теплообмен. В результате этих процессов температура воздуха на побережье устойчиво удерживается выше отметки  $-40\dots-45^{\circ}\text{C}$ .

На преобладающей части антарктического побережья среднегодовые температуры воздуха варьируются в диапазоне от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $-12^{\circ}\text{C}$ . Исключение представляет северная часть Антарктического полуострова, где среднегодовые показатели достигают  $-5^{\circ}\text{C}$ . В январе (наиболее тёплом месяце, соответствующем июлю в Северном полушарии) средние температуры вдоль большей части береговой линии составляют около  $-4^{\circ}\text{C}$ . Лишь в отдельных прибрежных оазисах и на северо-западном участке полуострова среднемесячная температура января превышает нулевую отметку, достигая  $+2^{\circ}\text{C}$  [17].

В отдельные летние дни при штилевой погоде и безоблачном небе температура воздуха на побережье Антарктиды может превышать  $0^{\circ}\text{C}$  – как в течение нескольких часов, так и на протяжении суток. В частности, на станции «Мирный» регистрировались значения до  $+8^{\circ}\text{C}$ . Тем не менее, подобные оттепели носят кратковременный характер.

Анализ многолетних данных показывает значительную межгодовую изменчивость:

~ в 1956–1957 гг. положительные температуры фиксировались суммарно более 1000 часов;

~ в 1961–1962 гг. – лишь около 70 часов.

Примечательно, что с момента начала метеорологических наблюдений на станции «Мирный» (1956 г.) каждый летний сезон включал периоды с температурой выше  $0^{\circ}\text{C}$ .

Климатические условия Антарктического полуострова, в особенности его северо-западного побережья, существенно отличаются от прочих районов

континента. В данном регионе оттепели фиксируются круглогодично. Характерно, что даже в разгар зимнего периода интенсивные морозы могут прерываться эпизодами потепления, сопровождающимися выпадением осадков в виде дождя. Рекордное повышение температуры в этом районе было зарегистрировано в зимний сезон: в июле 1958 года на восточном побережье полуострова Тринити вследствие фенового эффекта температура достигла  $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$  [14].

Морской антарктический климат.

Морской климат Антарктики создаёт исключительно тяжёлые условия, из-за чего этот регион признан одним из самых суровых на Земле. Характерными особенностями местной погоды являются экстремальные морозы, мощные штормовые ветры, снежные бураны и непроницаемые туманы.

Из-за своего расположения в высоких широтах, Антарктида получает ограниченное количество солнечной радиации в течение года. Радиационный баланс варьируется от умеренных значений на севере [примерно  $1,25-1,7$  Гдж/( $\text{м}^2$  год)] до отрицательных величин над материком и областями морского льда [до  $-0,2$  Гдж/( $\text{м}^2$  год)]. Это связано с высоким альбедо снежной поверхности, отражающей большую часть солнечной энергии [28].

Охлаждённый антарктический материк служит причиной формирования области высокого давления – антарктического антициклона. Над океаном, обладающим более высокой температурой, возникает полоса циклонов, которые перемещаются с запада на восток. В циклонах господствуют восходящие воздушные потоки, вызывающие разрежение воздуха в нижних слоях и его накопление на больших высотах – это ведёт к формированию высотного антициклона. Благодаря такому механизму тёплый и влажный воздух с океана поступает на континент в верхних слоях атмосферы, а излишек воздуха удаляется стоковыми ветрами, стекающими с материка.

Непрерывный обмен воздушными массами между различными широтами способствует частичному уменьшению температурных перепадов. Тем не менее подавляющая часть Антарктиды, где господствует континентальный

климат, по-прежнему представляет собой область перманентного холода. В субантарктических регионах сглаживание годового температурного режима обеспечивается высокой теплоёмкостью океанических вод: в тёплые месяцы столбик термометра не поднимается выше  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в холодные – держится в пределах от  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  на севере до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  на юге [29].

Перемещение холодных воздушных масс с континента на север и влажных океанических потоков вглубь материка провоцирует внезапные изменения погодных условий даже на незначительных расстояниях. В северных районах Антарктики господствуют западные ветры, скорость которых порой достигает ураганных значений – до  $75\text{ м/с}$ .

В прибрежной зоне Антарктиды доминируют восточные ветры. При соединении с юго-восточными стоковыми ветрами они создают поток воздуха, направленный вдоль побережья с востока на запад. Вблизи береговой линии осадки преимущественно представлены снегом, тогда как на северных островах нередко выпадают и дожди.

Наблюдаются существенные различия в годовом количестве осадков: если на восточноантарктическом побережье выпадает  $300\text{--}500\text{ мм}$ , то на северо-западе Антарктического полуострова и субантарктических островах – свыше  $1000\text{ мм}$ .

Положение снеговой линии варьируется в зависимости от широты: у антарктического побережья она почти совпадает с уровнем моря, но к северу постепенно повышается, достигая на островах Южная Георгия и Кергелен отметки  $650\text{--}1000\text{ м}$ . Это обуславливает формирование покровного оледенения на материке и прилегающих островах, тогда как в более северных областях преобладает горное оледенение с изолированными ледниковыми куполами. Острова Маккуори и Крозе, будучи небольшими, полностью свободны от ледников [8].

Климат антарктических оазисов.

Среди ледяных просторов Антарктиды в прибрежной зоне можно обнаружить незамёрзшие территории – антарктические оазисы. Их площадь

варьируется в диапазоне от нескольких десятков до нескольких сотен квадратных километров. В зависимости от физико-географических параметров выделяют три разновидности оазисов: низкогорно-холмистые, межгорные и горные. Рельеф этих мест сохранил следы прежнего покровного обледенения.

Под воздействием интенсивных процессов выветривания (как физического, так и химического) обнажённые коренные породы получают типичную красно-коричневую окраску. Кроме того, территория выделяется большим количеством озёр.

Максимальная глубина обширных пресноводных озёр здесь достигает 50 м, температура воды при этом составляет около +4 °С. В данных водоёмах находят себе пристанище красные рачки и циклопы, а также развиваются нитчатые водоросли.

Солоноватые водоёмы закрытого типа служат средой обитания для нематод и микроскопических сине-зелёных водорослей. В мелких водоёмах такие водоросли способствуют образованию сапропелевых отложений на дне. Также в ряде водоёмов наблюдается повышенная концентрация сероводорода в донных отложениях.

Таблица 2.2 – Статистические характеристики распределения температуры воздуха за год

Климатический район	Пункт	Статистические характеристики распределения температуры воздуха			
		Среднее значение, °С	Стандартное отклонение, °С	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
Очень холодный со слабым и умеренным ветром	Восток	-55,4	14,8	0,43	-0,98
	Амундсен-Скотт	-49,3	13,8	0,36	-0,93
Очень холодный с сильным ветром	Бэрд	-27,6	11,6	-0,25	-0,79
Холодный с сильным ветром	Пионерская	-38,0	10,8	0,02	-0,72
Холодный с умеренным ветром	Халли	-18,5	11,1	-0,28	-0,88
Умеренный с очень сильным ветром	Мирный	-11,4	7,7	-0,28	-0,60
	Молодежная	-11,0	8,0	-0,25	-0,56

Климатический район	Пункт	Статистические характеристики распределения температуры воздуха			
		Среднее значение, °С	Стандартное отклонение, °С	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
Умеренный с умеренным ветром и высокой влажностью	Аделейд-Айленд	-4,8	6,6	-1,06	1,16
	Беллинсгаузен	-2,7	5,2	-1,08	0,99

Местные климатические условия оазиса, выявленные посредством метеорологических наблюдений, отличаются положительным тепловым балансом поверхности. Причина кроется в эффективном поглощении солнечного тепла тёмными скалами. Масштабность оазиса обеспечивает формирование устойчивого микроклимата, влияющего на температурный режим соседних территорий. Согласно актинометрическим измерениям, летом поверхность оазиса получает 680 ккал тепла на квадратный сантиметр в сутки; при этом отражение составляет всего 15 %, остальное поглощается скальными образованиями.

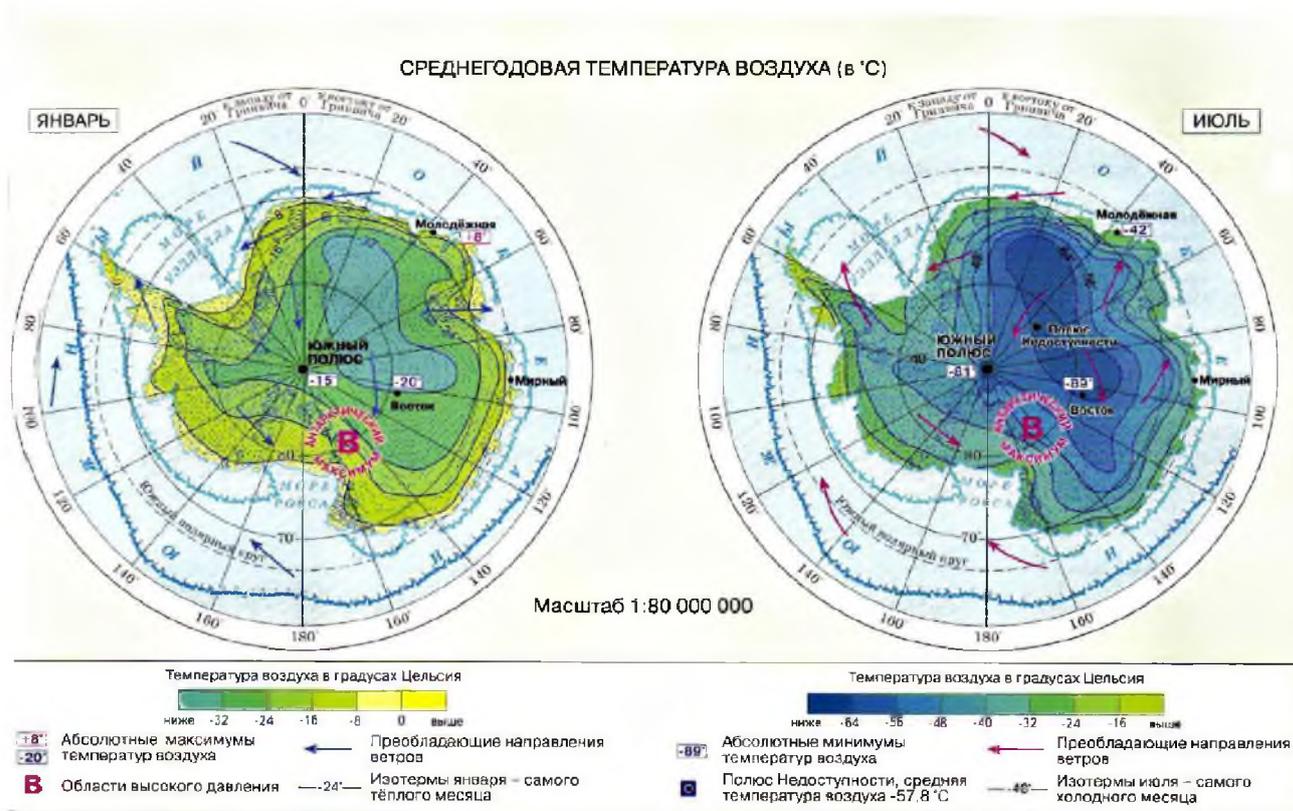


Рисунок 2.4 – Среднегодовая температура самого теплого и холодного месяца в годовом ходе

Станция Восток фиксирует тепловой поток в 5 Гдж/(м<sup>2</sup> год) или 120 ккал/(см<sup>2</sup> год), а в летнее время показатели значительно возрастают – до 1,25 Гдж/(м<sup>2</sup> мес.) или 30 ккал/(см<sup>2</sup> мес.).

Снежный покров отражает порядка 90 % падающей на него солнечной радиации – в космос возвращается подавляющая часть энергии. На прогрев поверхности расходуется только 10 % от общего объёма поступающего тепла.

Отрицательный радиационный баланс региона приводит к тому, что температура воздуха в Антарктиде остаётся чрезвычайно низкой. Примечательно, что ледяные поля вблизи оазисов способны отражать порядка 76 % солнечной энергии, достигающей их поверхности [24].

Температура воды в маленьких водоёмах достигала +9°C.

Среднегодовая температура воздуха на 1–2 °С превышает значения на территории оазиса, а летом может быть выше на 5–6 °С (рисунок 2.4).

Каменистая поверхность порой прогревается до 40 °С.

Количество осадков составляет 200–300 мм в год, преимущественно в виде снега.

В ясные дни температура в антарктических оазисах может подниматься до +30 градусов за счёт прогрева поверхности при частичном наличии снега.

## 2.2 Особенности метеорологических условий станции Новолазаревская

Согласно сведениям Дубровина и Петрова (1967), станция Новолазаревская (в дальнейшем – станция) располагается на юго-восточном пределе оазиса Ширмахера, на расстоянии около 80 км от морского побережья Лазарева (рисунок 2.5).

В северной части от базы находится шельфовый ледник, поверхность которого сохраняет равнинный характер и продолжается до ледникового купола в районе залива Ленинградский.

С южной стороны базу ограничивает склон материкового ледяного щита. Оазис выглядит как вытянутый участок коренной породы: его длина – порядка 17 км, ширина – примерно 3 км, направление – с запада-северо-запада на восток-юго-восток.

Для рельефа характерны мелкосопочки, возвышающиеся до 228 м абсолютной высоты.



Рисунок 2.2 – Внешний вид станции Новозазаревская

Оазис насчитывает 180 озёр, причём большая часть водоёмов сохраняет ледяной покров в течение всего лета, но есть и те, где лёд тает. Южнее станции (в 15 км) на поверхности ледника размещена взлётно-посадочная полоса аэродрома «Новозазаревская» – она находится на высоте 500 м над уровнем моря (рисунок 2.6).



Рисунок 2.3 – Взлётно-посадочная полоса Новолазаревская

В районе взлётно-посадочной полосы, в 180 метрах от жилого комплекса, в ноябре 2005 года на снежно-ледяной поверхности смонтировали АМС «MILOS-500» производства «Vaisala Oy». Станция установлена на высоте 550 м над уровнем моря и полностью повторяет по характеристикам ту, что работает на станции «Новолазаревская»

Результатом длительных наблюдений стал обширный массив данных о метеорологических условиях вблизи аэродрома. Такие сведения предоставляют возможность сопоставлять метеопоказатели между станцией и аэродромом с разной степенью усреднения. Длительный период мониторинга (свыше 50 лет) на станции «Новолазаревская» помогает определить основные тенденции климатических изменений на данной территории.

Исходными материалами для анализа послужили ежеминутные наблюдения за температурой воздуха, влажностью и скоростью ветра. Измерения проводились как на аэродроме, так и на самой станции «Новолазаревская» в период её эксплуатации – с ноября 2006 года по февраль 2012 года (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Характеристики исходных данных на аэродроме станции Новолазаревская

Годы	Количество измерений за месяц и их дискретность				
	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март

2006/07	3674/10–13 мин	3692/11мин	3687/10–12 мин	–	–
2007/08	–	–	–	–	–
2008/09	–	42015/1 мин	40684/1 мин	36592/1 мин	42620/1 мин
2009/10	41084/1 мин	42689/1 мин	41960/1 мин	38408/1 мин	42385/1 мин
2010/11	37783/1 мин	42676/1 мин	42685/1 мин	38559/1 мин	
2011/12	41235/1 мин	42410/1 мин	39097/1 мин	39113/1мин	

С целью анализа схожести климатических условий рядом с аэродромом и на территории станции «Новолазаревская» выполнили сопоставление среднемесячной динамики таких параметров, как температура воздуха, влажность и скорость ветра.

Температура воздуха. Сопоставление среднемесячных температурных показателей воздуха в окрестностях станции и аэродрома выявило их высокую согласованность в динамике изменений температуры (таблица 2.3, рисунок 2.7).  
Таблица 2.3 – Среднемесячные значения температуры воздуха (°С) и коэффициенты корреляции (К) между среднесуточными, максимальными и минимальными температурными показателями в районе аэродрома и на станции.

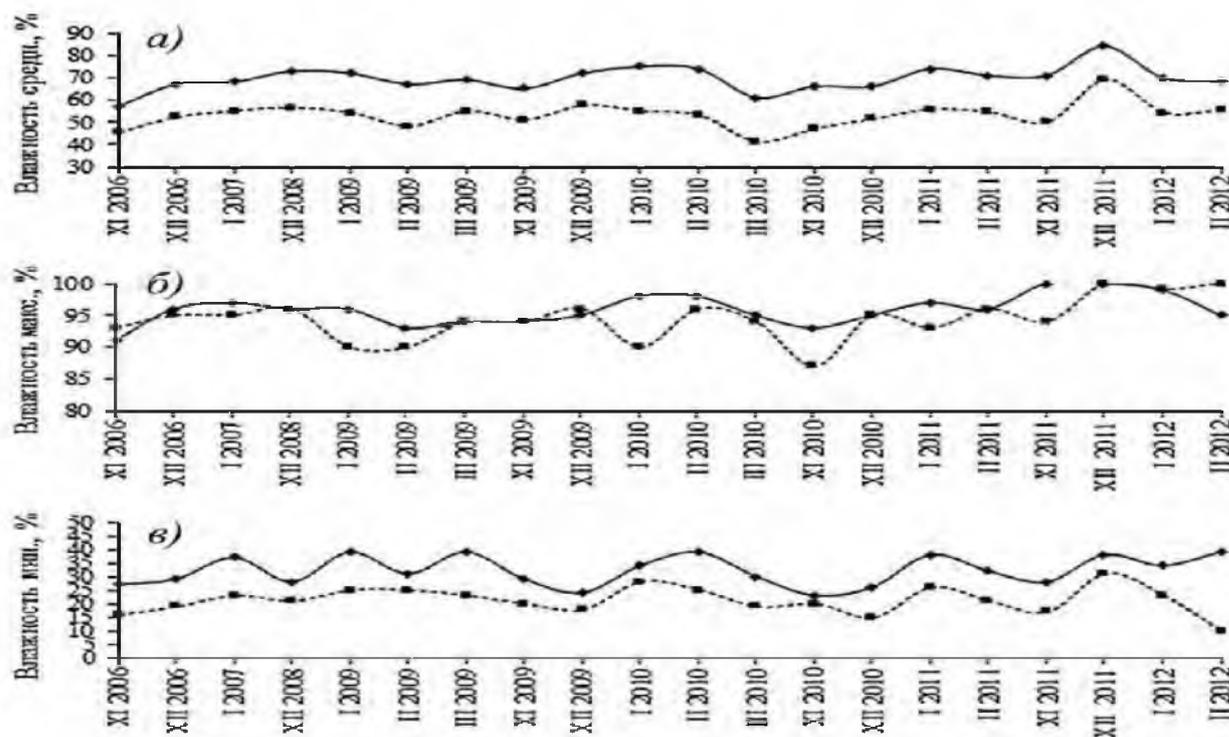
Месяц, год	Температура воздуха <i>K</i>					
	Аэродром	Станция	Разность	Средн.	Макс.	Мин.
Ноябрь 2006	–8,3	–5,3	–3,0	0,98	0,93	0,96
Декабрь 2006	–5,9	–2,0	–3,9	0,79	0,83	0,52
Январь 2007	–3,6	0,1	–3,7	0,88	0,62	0,69
Декабрь 2008	–5,4	–1,0	–4,4	0,61	0,75	0,43
Январь 2009	–5,8	–1,2	–4,6	0,88	0,65	0,77
Февраль 2009	–9,2	–4,2	–5,0	0,83	0,93	0,91
Март 2009	–12,6	–7,8	–4,8	0,90	0,88	0,81
Ноябрь 2009	–10,0	–5,7	–4,3	0,89	0,77	0,69
Декабрь 2009	–6,6	–1,8	–4,8	0,80	0,50	0,74
Январь 2010	–3,9	0,7	–4,6	0,81	0,70	0,84
Февраль 2010	–6,4	–2,2	–4,2	0,99	0,97	0,96
Март 2010	–11,6	–7,3	–4,3	0,98	0,93	0,95

Данные за рассматриваемые месяцы показывают: на территории аэродрома среднемесячные температурные значения оказываются примерно на  $4,3^{\circ}\text{C}$  ниже, чем вблизи станции.

В обоих наборах данных наблюдаются практически одинаковые динамические изменения с малыми отклонениями; коэффициенты корреляции для каждого месяца исследования фиксируются на высоких отметках.

Анализ среднемесячных показателей влажности (рисунок 2.7) выявил значительное сходство между данными, полученными на станции и аэродроме. Степень линейной связи отражает коэффициент корреляции – 0,87.

Анализ экстремальных значений влажности воздуха (рисунок 2.7) для



аэродрома и станции выявил невысокую временную согласованность между рядами данных. При оценке взаимосвязи между двумя наборами значений наблюдается снижение степени их сопряженности.

Рисунок 2.7 – Среднемесячная (а), максимальная (б) и минимальная (в) относительная влажность воздуха в районе аэродрома (сплошная линия) и станции (штриховая линия).

Степень взаимосвязи между изменениями показателей достигает 0,94. Кроме того, в анализируемый период средняя скорость ветра на станции была на 1 м/с ниже, чем на аэродроме (рисунок 2.8).

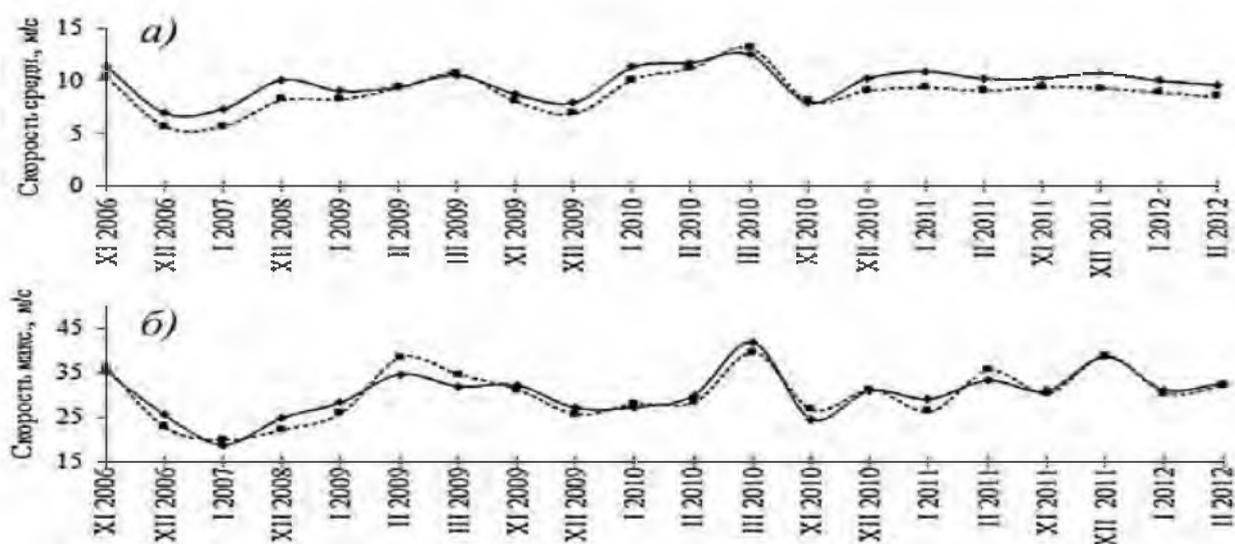


Рисунок 2.8 – График скоростей ветра на станции и на аэродроме

Анализ температурных трендов выявил усиление темпов понижения температуры по сравнению с предшествующим тридцатилетним периодом. Линейный тренд среднегодовой температуры демонстрирует снижение на 0,3 °С за каждое десятилетие.

Следовательно, информация о прямолинейных изменениях за разные временные периоды свидетельствует о направлении к уменьшению среднегодовой температуры воздуха в районе метеостанции Новолазаревская в последние годы, несмотря на ее общий рост за весь период наблюдений.

Анализ линейных трендов месячного количества облачности выявил её рост в период с января по октябрь. Статистически значимые увеличения линейных трендов зафиксированы в январе, июне и сентябре. В указанные месяцы линейное возрастание облачности составило порядка 1 балла за 55 лет (таблица 2.4, рисунок 2.9).

Таблица 2.4 – Оценки линейного тренда количества общей облачности за периоды 1961–2015, 1986–2015 и 2006–2015 гг., °С/10 лет.

Значения	Месяцы												Год	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		

1961–2015 гг.													
Балл/ 10лет	0,15	0,09	0,05	0, 06	0,05	0,2	0,13	0,19	0,04	0,07	-0,13	-0,02	0,07
<i>D</i> , %	23,6	13,3	9,7	8,6	7,7	25,	16,9	22,4	6,1	9,9	19,3	4,5	29,0
<i>P</i> , %	90	–	–	–	–	95	–	90	–	–	–	–	95

1986–2015 гг.													
Балл/ 10лет	-0,2 2	-0,3 6	0,05	-0, 1	0,06	0,4	0,10	0,36	-0,01	-0,01	-0,13	-0,15	-0,0 3
<i>D</i> , %	21,4	30,2	6,3	8,8	5,5	26	7,4	23,8	0,9	0,9	9,8	12,7	7,3
<i>P</i> , %	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

2006–2015 гг.													
Балл/ 10лет	0,15	-0,3 9	-0,32	-0, 6	-1,39	-0, 6	-0,41	-0,32	-0,84	-0,84	-0,12	0,66	-0,4 5
<i>D</i> , %	6,3	10,7	12,2	18, 3	37,4	11	13,7	7,2	38,6	25,9	3,7	18,4	37,7
<i>P</i> , %	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание: первая строка – коэффициент линейного тренда; *D*–значение дисперсии, учтенной линейным трендом; *P* – доверительная вероятность.

В отличие от остальной части года, в ноябре и декабре за исследуемый 55-летний период зафиксировано снижение общего количества облачности. При этом анализ годовых показателей выявил статистически значимый (на уровне 95 %) рост среднегодового количества облачности – на 0,4 балла за 55 лет (рисунок 2.9).

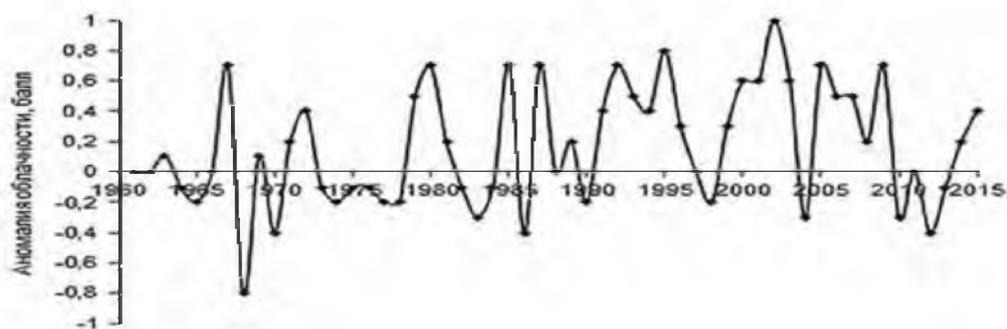


Рисунок 2.9 – Динамика отклонений в общем количестве облачности (в баллах)

Анализ многолетних данных выявил тенденцию к уменьшению годовой общей облачности за последние три десятилетия. В период 1986–2015 гг. данная динамика прослеживалась преимущественно в весенне-летний сезон. В последнее десятилетие (за исключением января и декабря) сокращение

облачности наблюдается в остальные месяцы года. Максимальные отрицательные значения линейного тренда зафиксированы в весенний период: в сентябре и октябре показатель составил около  $-0,8$  балла за десятилетие.

Атмосферное давление. Атмосферное давление в районе станции Новолазаревская обусловлено процессами общей циркуляции атмосферы в Южном полушарии. Ниже представлена временная динамика отклонений (относительно нормальных значений за 1961-1990 гг.) среднегодового атмосферного давления воздуха. Как видно, для среднегодового давления на станции в целом за весь период наблюдений характерен четко выраженный отрицательный тренд. Однако на фоне общего снижения можно выделить две фазы: явное снижение давления с начала наблюдений до конца 1990-х годов, а затем – его стабилизация.

Согласно публикации «Состояние природной среды Антарктики» (2015), в 1960-1970-е годы наблюдалась усиленная зональная циркуляция атмосферы, которая к 1990-м годам ослабла, уступив место усилению меридиональных форм циркуляции. Начиная с 2010 года, отмечается возобновление активизации зональной циркуляции. Это проявилось в увеличении атмосферного давления на станции до 2013 года. В 2014–2015 годах формируется тенденция к дальнейшему снижению среднегодового давления.

Многолетние изменения среднегодового давления в районе станции демонстрируют тенденцию к снижению. За 55 лет это уменьшение составило  $-3,2$  гПа. В течение года атмосферное давление снижалось в летний, осенний и зимний сезоны. Весной за весь период наблюдений давление практически не изменилось, а в последние три десятилетия даже незначительно увеличилось (примерно  $0,4$  гПа за сезон за 30 лет).

Анализ временных рядов среднемесячной скорости ветра выявил непоследовательный характер изменений в течение рассматриваемого периода. Периоды снижения скорости ветра (1961–1978 и 1997–2010 гг.) сменяются периодами повышения (1979–1996 и 2011–2015 гг.). В целом, за весь период наблюдается незначительное увеличение среднегодовой скорости ветра (около

0,2 м/с за 55 лет), обусловленное главным образом ростом скорости ветра в летние месяцы (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Оценки линейного тренда скорости ветра за периоды 1961–2015, 1986–2015 и 2006–2015 гг., м/с за 10 лет

Значения	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1961–2015 гг.													
м·с <sup>-1</sup> /10лет	0,19	0,22	-0,13	0,22	-0,14	-0,11	-0,01	0,13	-0,14	-0,12	-0,01	0,09	0,03
D, %	21,5	24,1	12,4	20,4	9,9	8,4	0,6	8,5	12,5	13,2	1,3	10,0	7,7
P, %	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986–2015 гг.													
м·с <sup>-1</sup> /10лет	-0,01	-0,32	-0,86	0,07	-0,39	-0,07	-0,32	0,42	-0,30	-0,45	0,10	-0,04	-0,18
D, %	0,7	19,9	40,8	3,7	16,1	3,3	12,0	13,6	15,7	27,1	5,4	2,5	24,9
P, %	-	-	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90
2006–2015 гг.													
м·с <sup>-1</sup> /10лет	-0,22	0,98	0,72	1,24	-1,54	-1,13	0,52	-1,36	1,77	2,38	3,87	1,50	0,74
D, %	3,8	27,4	9,9	21,9	24,9	19,8	6,7	9,7	38,3	52,6	63,1	38,9	30,4
P, %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95	-	-

Примечание: первая строка – коэффициент линейного тренда; *D* – значение дисперсии, учтенной линейным трендом; *P* – доверительная вероятность.

В феврале увеличение скорости ветра статистически значимо на 90%-ном уровне и составило 1,2 м/с за 55 лет. В остальные месяцы тренд скорости ветра преимущественно отрицательный.

В последние 30 лет среднегодовая скорость ветра демонстрирует статистически значимый на 90%-ном уровне тренд на снижение (около -0,5 м/с за 30 лет).

Многолетний ход среднегодовой скорости ветра характеризуется выраженной цикличностью (рисунок 2.10).

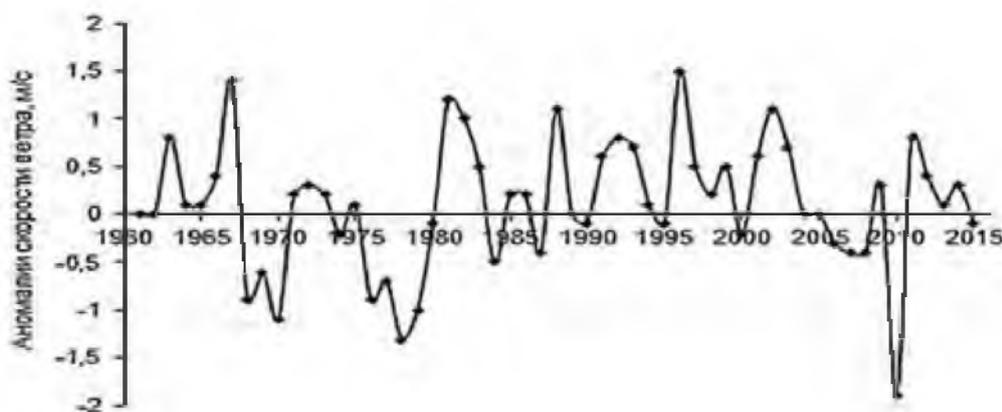


Рисунок 2.10 – Динамика отклонений в общем количестве облачности (в баллах)

Если рассматривать изменение скорости ветра в этом 30-летии по сезонам, то наибольшее снижение скорости ветра произошло осенью (около  $-1,1$  м/с за сезон за 30 лет). Последнее десятилетие характеризуется периодом роста скорости ветра. Значительный вклад в это вносит увеличение скорости ветра в весенний сезон, в котором увеличение скорости ветра в ноябре статистически значимо на 95%-ном уровне.

### 3 Изменение климата и характеристика типичных опасных явлений

Изменение климата, вызванное выбросами парниковых газов в результате деятельности человека, происходит повсюду на Земле, и хотя Антарктида менее уязвима к нему, чем любой другой континент, изменение климата в Антарктиде наблюдается [4].

С 1959 года по всему континенту наблюдалось повышение средней температуры на  $>0,05$  °C/десятилетие с 1957 года, хотя оно было неравномерным. Западная Антарктида нагревалась более чем на  $0,1$  °C за десятилетие с 1950-х по 2000-е годы, а обнажённый Антарктический полуостров нагревался на  $3$  °C с середины 20-го века [5].

Более холодная и стабильная Восточная Антарктида испытывала похолодание до 2000-х годов. Вокруг Антарктиды Южный океан поглощал больше океанического тепла, чем любой другой океан, и наблюдалось сильное потепление на глубинах ниже двух тысяч метров. Вокруг Западной Антарктики океан нагрелся на  $1$  °C с 1955 года.

Потепление Южного океана вокруг Антарктиды привело к ослаблению или разрушению шельфовых ледников, которые плавают недалеко от ледников и стабилизируют их.

Многие прибрежные ледники теряют массу и отступают, что приводит к чистой ежегодной потере льда в Антарктиде, хотя Восточно-Антарктический ледяной щит продолжает набирать лёд вглубь суши. Ожидается, что к 2100 году чистая потеря льда в Антарктиде добавит около  $11$  см к глобальному повышению уровня моря.

Нестабильность морского ледяного покрова может привести к тому, что Западная Антарктида внесёт свой вклад на десятки сантиметров больше, если она начнётся до 2100 года. С более высоким потеплением нестабильность будет гораздо более вероятной и может удвоить глобальное повышение уровня моря в XXI веке.

Основной причиной столь жесткого и безжалостного ко всему живому

климата Антарктиды считается ее высота.

Антарктида самый сухой и высокий материк нашей планеты.

С высотой температура воздушных масс у поверхности Земли понижается в среднем на  $0,6^{\circ}\text{C}$  на каждые 100 м подъема. Если произвести простые расчеты, то получится, что материк должен быть холоднее любого другого на  $6 - 7^{\circ}\text{C}$ . Но оледенение Антарктиды связано с ее географическим положением. Причина в том, что материк отдален от экватора в сторону полюса и поверхность материковой территории обделена солнечным теплом из-за большего наклона солнечных лучей.

Еще одна причина столь мощного снижения температур кроется в том, что вокруг полюса находится суша, а не океан. Материковый «грунт» способен «принять» 70% солнечного излучения, в то время как океанские воды приближают этот показатель к абсолюту в 90%.

Из-за большого скопления на материке снега и льда его поверхность способна поглотить лишь 10–20 % излучаемого солнцем тепла (рисунок 3.1).



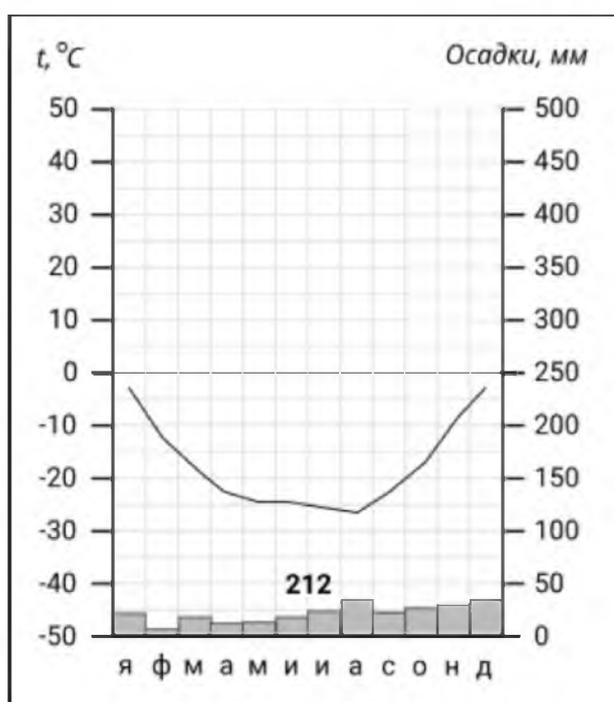
Рисунок 3.1 – Схема отражения солнечных лучей от поверхности материка.

Летом приходящая солнечная радиация составляет на станции Пионерская (январь-март) 55, на мысе Шмидта (июнь- август) 34,5, в Карадаге (Крым) 52,1 ккал/см<sup>2</sup>. Летом центральная Антарктида получает столько же лучистой энергии, сколько Ташкент; и даже за год столько же, сколько получают ее экваториальные широты.

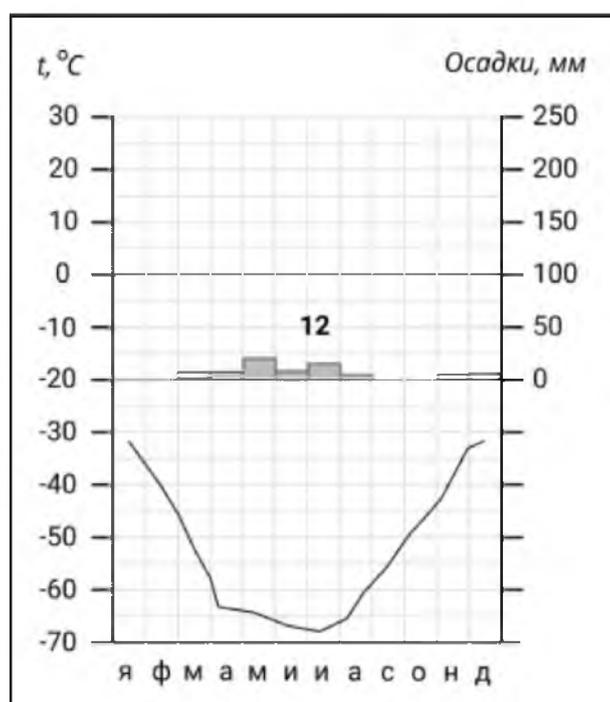
Однако снежно-ледяная поверхность обладает очень высокой отражательной способностью. Альbedo составляет 70-90 %. Следует также иметь в виду, что почти вся Антарктида лежит за полярным кругом. Зимой над ней царят сумерки, а в центральной части многомесячная полярная ночь. Радиационный баланс за год для Антарктиды отрицательный

Ученым удалось доказать, что, отраженный из Антарктиды, солнечный свет способен достигать космоса. На материке отмечается самый высокий уровень концентрации солнечной радиации. Из-за отраженного света кожа человека способна приобретать цвет, свойственный привычному всем тропическому загару.

Средняя температура в Антарктиде в большинстве случаев остается неизменной достаточно долгое время (рисунок 3.2).



Станция Мак-Мердо (США)



Станция Восток (Россия)

Рисунок 3.2–Зависимость количества осадков от высоты н.у.м.

Отрицательные температурные значения сопровождаются непрерывными потоками ветра, которые приходят с высокогорных массивов, и почти бесконечными метелями.

Сильнейшие ветры здесь являются нормой. Осадков (снега) здесь бывает от 100 до 250 мм. в год. Узкая прибрежная полоса получает до 700 мм осадков. В зимний сезон среднемесячные показатели варьируются от 8 до  $-35^{\circ}\text{C}$ , летом – от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+2^{\circ}\text{C}$ . Обыкновенная скорость ветряного потока 50-60 м/с.

Перепад температур в Антарктиде зимой и летом составляет следующий диапазон: зимой от минус 60 до минус  $70^{\circ}\text{C}$ , в летний период – от минус 30 до минус  $50^{\circ}\text{C}$ .

Однако рекорд самой высокой температуры на материке был установлен 24 марта 2015 года близ исследовательской базы, принадлежащей Аргентине.

Льды Антарктиды имеют определенные особенности: функционируют они, как огромное зеркало, которое попросту отражает 90% солнечных лучей в мировое пространство.

По специфическим чертам климата в Антарктиде выделяются:

- ~ внутриматериковая высокогорная область;
- ~ ледниковый склон;
- ~ прибрежная зона.

Для первой свойственны экстремальные холода, антициклон полярного происхождения, доминирование ясной погоды, скудное количество осадков, которые выпадают круглый год в виде снега (30- 50 мм/год).

Температура в Антарктиде

На материковой территории температура воздуха никогда не бывает выше нуля. Однако, это отмечалось не всегда. В период Мезозоя планетарный климат был гораздо теплее и имел большую влажность, чем теперь.

В те времена нынешний самый суровый материк Земли находился ближе к экваториальной зоне и на его территории имелись тропические насаждения. Но с течением времени материк оказался в приполярной зоне, что и явилось причиной оледенения. После этого имели место процессы, которые привели к

тому, что климат здесь сделался резким и засушливым.

Максимально низкая температура в Антарктиде была зарегистрирована 21 июля 1983 года.

Средняя температура в Антарктиде в большинстве случаев остается неизменной достаточно долгое время. Отрицательные температурные значения сопровождаются непрерывными потоками ветра, которые приходят с высокогорных массивов, и почти бесконечными метелями. Сильнейшие ветры здесь являются нормой.

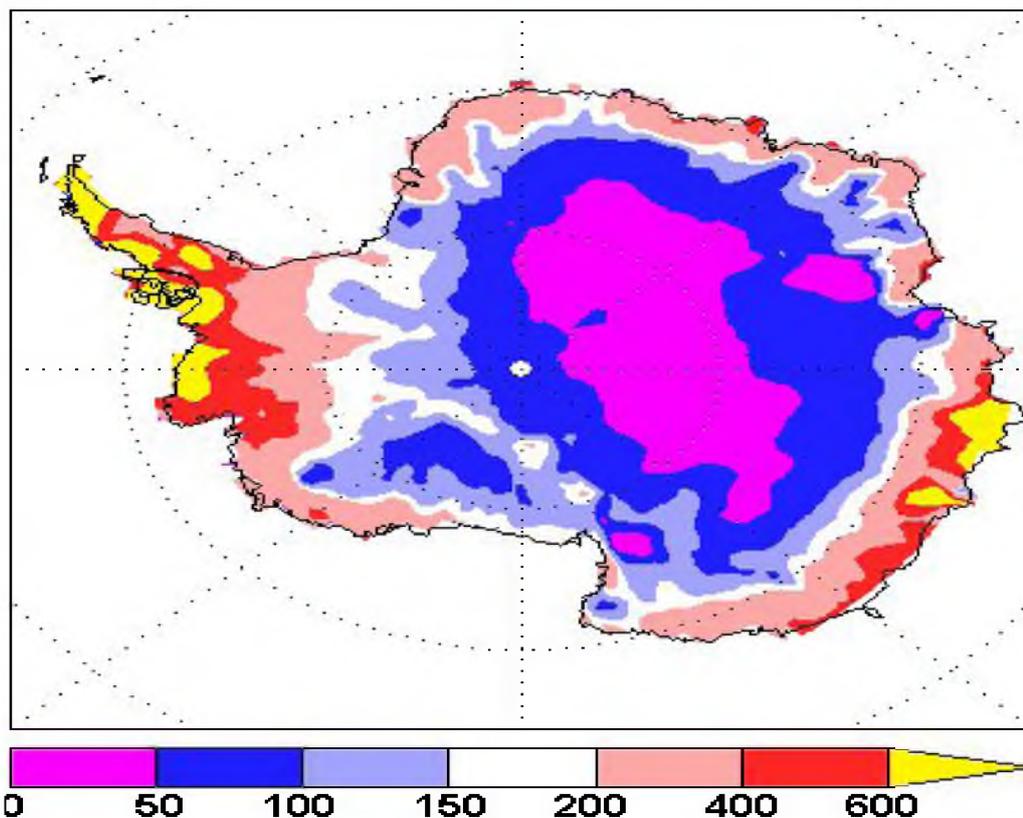


Рисунок 3.3 – Данные среднегодового количества осадков в Антарктиде (в миллиметрах водяного эквивалента)

Общее количество осадков в Антарктиде, усреднённое по всему континенту, составляет около 166 миллиметров (6,5 дюймов) в год (рисунок 3.3). Осадков (снега) здесь бывает от 100 до 250 мм. в год. Узкая прибрежная полоса получает до 700 мм осадков. В зимний сезон среднемесячные показатели варьируются от 8 до  $-35^{\circ}\text{C}$ , летом – от 0 до  $+2^{\circ}\text{C}$ . Обыкновенная скорость ветряного потока 50-60 м/с.

Фактические показатели сильно варьируются: от высоких значений на полуострове (от 380 до 640 миллиметров (от 15 до 25 дюймов) в год) до очень низких значений (всего 50 миллиметров (2 дюйма) в высокогорных районах (Бромвич, «Обзоры геофизики», 1988).

Районы, где выпадает менее 250 миллиметров (9,8 дюйма) осадков в год, классифицируются как пустыни (рисунок 3.4). Почти все осадки в Антарктике выпадают в виде снега. Осадки выпадают редко и в основном летом в прибрежных районах и на близлежащих островах.

Обратите внимание, что указанное количество осадков – это показатель их эквивалента в воде, а не фактическая толщина снежного покрова. Воздух в Антарктиде также очень сухой.

Из-за низких температур абсолютная влажность очень низкая, а это значит, что сухая кожа и потрескавшиеся губы – постоянная проблема для учёных и экспедиторов, работающих на континенте.

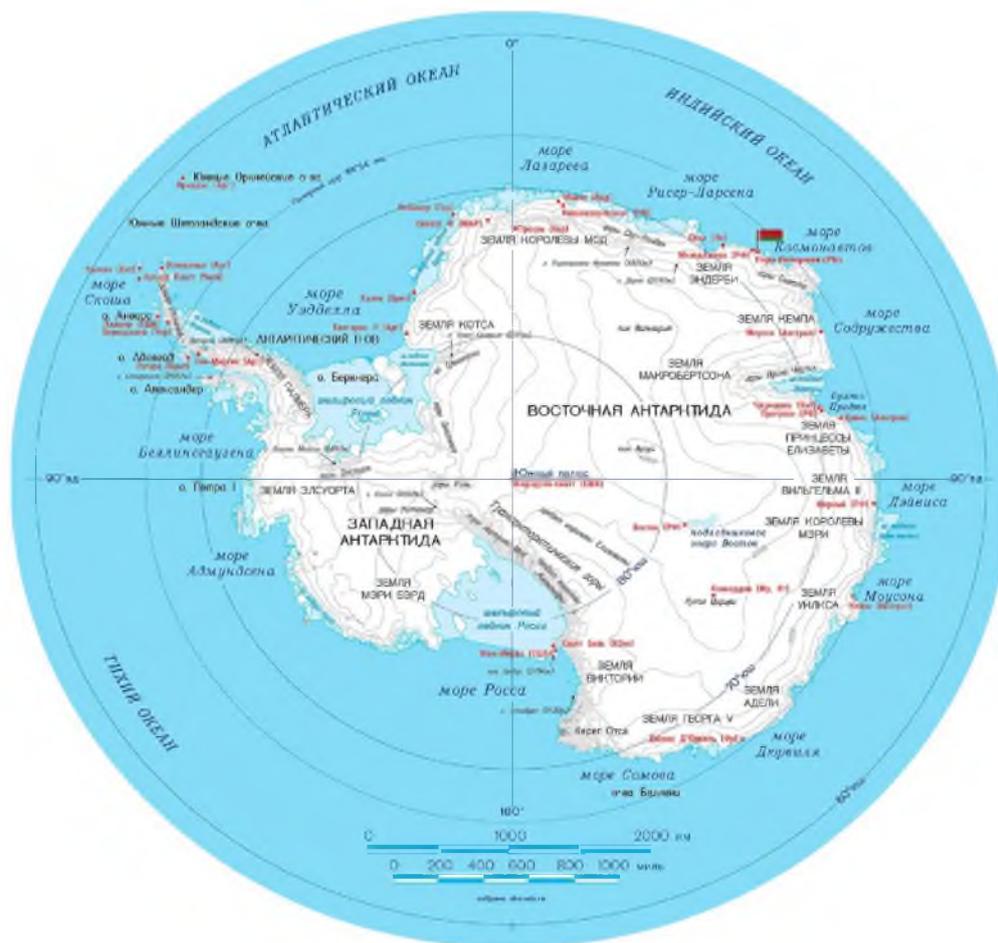


Рисунок 3.4 – Карта Антарктиды и прилегающих районов.

Погода в Антарктиде может быть очень изменчивой, а погодные условия часто резко меняются за короткий промежуток времени. Существуют различные классификации для описания погодных условий в Антарктиде; ограничения, действующие для работников в различных условиях, зависят от станции и страны (таблица 3.1)

Таблица 3.1 – Средняя относительная влажность воздуха, %

Климатический район	Пункт	Поверхность	Средняя относительная влажность воздуха по отношению к поверхности воды и льда, по месяцам, %												
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Очень холодный со слабым и умеренным ветром	Восток	Вода	73	72	70	69	69	69	69	69	69	69	70	73	73
		Лед	103	107	111	114	114	114	114	114	114	114	111	106	103
Холодный с сильным ветром	Пионерская	Вода	77	72	70	74	76	81	78	79	80	79	78	80	
		Лед	100	103	105	106	106	107	108	108	107	105	103	100	
Холодный с умеренным ветром	Халли	Вода	84	83	81	79	78	77	76	76	77	81	82	83	
		Лед	93	95	97	99	100	101	102	102	101	98	96	93	
Умеренный с очень сильным ветром	Мирный	Вода	71	68	68	70	73	74	74	73	72	68	68	71	
		Лед	91	93	95	96	97	97	98	98	98	96	94	91	
	Молодежная	Вода	62	61	67	69	66	65	66	70	69	66	63	61	
		Лед	91	92	94	96	97	98	98	98	97	97	94	91	
Умеренный с умеренным ветром и высокой влажностью	Аделейд-Айленд	Вода	79	78	80	80	80	80	80	81	81	81	77	78	
		Лед		90	91	92	93	95	95	96	94	93	91	90	
	Беллинсгаузен	Вода	84	87	87	87	86	86	88	88	89	88	87	87	
		Лед				91	92	93	94	94	92	91	91		

Как показывают данные таблицы 3.1 в годовом ходе, в летние месяцы относительная влажность на 3-5 % выше зимних месяцев, что явно свидетельствует о факторах потепления и таянии льдов летом и характерных процессов испарения.

Точно такая же картина наблюдается при характеристике льдов.

Таблица 3.2 – Суточный ход относительной влажности воздуха по месяцам, %

Климатический район	Пункт	Время суток	Суточный ход относительной влажности воздуха по месяцам, %												
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Очень холодный со слабым и умеренным ветром	Восток	Утро	73	72	70	70	69	69	69	69	69	69	71	73	74
		День	73	72	70	69	69	68	69	69	69	69	72	73	74
		Вечер	72	72	70	69	69	69	69	69	69	69	71	73	72
		Ночь	73	72	70	69	69	69	69	69	69	69	71	73	73
Холодный с сильным ветром	Пионерская	Утро	76	72	70	74	76	81	78	79	80	78	77	80	
		День	76	72	71	74	76	82	78	79	81	80	78	78	
		Вечер	77	72	71	74	76	80	78	79	80	80	79	80	
		Ночь	78	73	70	73	76	81	78	79	80	79	78	81	
Умеренный с очень сильным ветром	Мирный	Утро	69	69	70	71	73	75	74	74	73	69	68	69	
		День	69	65	66	69	73	74	73	72	70	65	64	68	
		Вечер	74	70	68	70	73	74	74	72	73	70	70	74	
		Ночь	73	70	69	70	72	74	74	73	73	70	70	72	
Умеренный с умеренным ветром и высокой влажностью	Беллинсгаузен	Утро	84	87	87	87	86	86	88	88	89	88	87	86	
		День	80	85	85	86	85	86	88	87	88	87	84	84	
		Вечер	84	88	87	87	85	86	88	87	88	88	87	87	
		Ночь	86	89	88	87	86	86	88	88	90	89	88	89	

Судя по данным таблицы 3.2, в районах с холодным и сильным ветром, суточный ход довольно ровный, т.е. независимо от времени суток относительная влажность воздуха абсолютно не изменяется и держится на уровне 85-90%.

Таблица 3.3 – Средняя повторяемость тумана по месяцу, %

Климатический район	Пункт	Средняя повторяемость тумана по месяцу, %												Число дней с туманом за год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Очень холодный со слабым и умеренным ветром	Восток	0,5	2,8	7,9	8,8	3,5	1,2	0,1	3,0	4,4	5,9	1,8	•	16
	Амундсен-Скотт	12,5	18,9	20,6	8,4	8,6	3,7	3,3	2,8	15,2	17,6	9,8	9,7	131,1
Очень холодный с сильным ветром	Бэрд	8,1	14,7	19,0	24,1	16,4	17,4	14,6	21,2	28,6	29,1	14,1	7,5	200,7
Умеренный с очень сильным ветром	Мирный	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	•	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	2
	Молодежная	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	•	0,0	•	0,3	3
Умеренный с умеренным ветром и высокой влажностью	Аделейд-Айленд	2,0	1,5	0,8	1,2	1,1	0,4	0,9	1,8	0,5	0,7	0,8	1,7	39
	Беллинсгаузен	8,1	8,1	7,0	6,1	4,3	3,3	4,2	3,4	3,8	6,4	7,3	9,1	87

На территориях Скотт и Бэрд повторяемость туманов завышена за счет включения поземных туманов (таблица 3.3).

Непрерывному охлаждению материка препятствует поступление теплого воздуха с океана, которое усиливается зимой. Надо отметить одно немаловажное исключение: скалы, нунатаки, оазисы Антарктиды. Поверхность скал отражает не 70-90% лучистой энергии, а всего около 20%. Поэтому скалы нагреваются летом до 30°C и согревают воздух над ними. Абсолютно черная поверхность в Антарктиде может нагреваться до 53°C. Оазисы имеют положительный годовой радиационный баланс.

## Заключение

Исследование метеорологических условий в окрестностях станции Новолазаревская выявило значительное согласование в изменениях основных метеорологических параметров как на самой станции, так и в районе аэродрома. Зафиксирована тесная взаимосвязь, отражённая высокими коэффициентами корреляции ( $K$ ) между метеорологическими параметрами в этих двух точках: для среднесуточной температуры  $K = 0,87$ ; для влажности  $-K = 0,87$ ; для скорости ветра  $-K = 0,94$ .

Анализ климатических трендов в зоне станции Новолазаревская продемонстрировал, что в общем за период наблюдений с 1961 по 2015 годы отмечалось увеличение среднегодовых показателей температуры ( $P = 0,95$ ), облачности ( $P = 0,95$ ) и, в меньшей степени, скорости ветра.

В то же время, среднегодовое давление снижалось со статистической значимостью  $P = 0,99$ . В последние три десятилетия прослеживается тенденция к снижению температуры воздуха, общего количества облаков и скорости ветра. Возможной причиной данных изменений являются процессы, связанные с ослаблением меридиональных и усилением зональных типов общей циркуляции атмосферы.

В отношении площади антарктического льда непродолжительность рядов данных наблюдений и различия смоделированной и наблюдаемой изменчивости мешают сделать оценки того, соответствует или нет повышение, наблюдаемое с 1979 г., внутренней изменчивости. Запутанные процессы, используемые для построения трендов, изменчивость Антарктики и окружающих вод остаются сложными и несколько исследований являются противоречивыми.

Подводя итоги можно сказать, что существует низкая степень достоверности научного понимания наблюдаемого с 1979г. увеличения площади морского льда в Антарктике вследствие значительных различий между модельными расчетами морского льда с использованием моделей CMIP5

и неполных и конкурирующих научных объяснений причин изменений, а также низкой степени достоверности оценок естественной внутренней изменчивости.

Оценки масс льда в Антарктике с 2000 г. показывают самые большие потери по краям. Анализ наблюдений, проводимых под плавающим ледовым шельфом Западной Антарктики, позволяет сделать вывод о том, что потепление океана в этом регионе и повышенный перенос тепла циркуляцией океана в значительной степени являются причинами повышения темпов таяния. Ряды данных наблюдений за потерей антарктических масс коротки и внутренняя изменчивость ледового щита плохо изучена.

Из-за низкого уровня научного понимания существует низкая степень достоверности объяснения причин наблюдаемой потери массы Антарктического ледового покрова с 1993 г.

В Антарктиде после 2100 г. согласно сценариям с более высокими концентрациями парниковых газов усиление таяния поверхности может превысить рост аккумуляции.

Имеющаяся в настоящее время информация указывает, что динамический вклад ледяных щитов будет продолжаться и после 2100 г., однако степень достоверности проекций низкая. Рельеф коренных пород в Антарктиде способствует возможному повышению темпов потери массы по мере отступления льда.

На глубине примерно 3,3 м эквивалентного глобального уровня моря Западно-антарктический ледяной щит залегает на грунте в районах, где коренная порода имеет уклон, что может вызвать потенциальную потерю льда за счет нестабильности морского ледяного покрова.

В качестве отклика на воздействие изменения климата возможны резкие и необратимые потери льда вследствие потенциальной нестабильности морских участков Антарктического ледяного щита, однако имеющихся в настоящее время свидетельств и понимания недостаточно для выполнения количественной оценки.

Можно ожидать, что в результате относительно слабых снегопадов в Антарктиде и медленного движения льдов в ее внутриконтинентальной части Западно-антарктическому ледяному щиту потребуется по меньшей мере несколько тысяч лет для возобновления роста, если он исчезнет по причине динамического стока льда. В результате любая значительная потеря массы льда в Западной Антарктиде, которая произойдет в течение следующего века, будет необратимой во временном масштабе от нескольких веков до тысячелетия.

Усиление потепления на Антарктическом полуострове и в Западной Антарктике, связанное с положительным трендом Южной кольцевой моды; увеличение осадков в прибрежных районах в результате смещения траектории штормов в сторону полюса.

К концу XXI века изменение уровня моря будет иметь значительную региональную тенденцию, которая будет доминировать над изменчивостью, при этом многие регионы будут, вероятно, испытывать значительные отклонения от глобального среднего изменения.

Локальные изменения уровня моря отклоняются более чем на 10% и 25% от глобальной средней проекции примерно на 30% и 9% площади океана, соответственно, что указывает на то, что пространственные колебания могут быть значительными. Региональные изменения уровня моря достигают значений до 30 % выше глобальной средней величины в Южном океане и вокруг Северной Америки, между 10 % и 20 % в экваториальных районах и до 50 % ниже глобальной средней величины в арктическом регионе и ряде районов вблизи Антарктиды.

Весьма вероятно, что примерно на более чем 95 % океана произойдет региональное относительное повышение уровня моря, тогда как большинство регионов, где наблюдается падение уровня моря, находятся вблизи современных и бывших ледников и ледяных щитов.

## Список литературы

1. «Антарктическая погода». [Электронный ресурс]. URL: [www.antarctica.gov.au](http://www.antarctica.gov.au) (дата обращения: 17.12.2025)
2. «Климатические данные и графики Антарктиды, Южный полюс, Мак-Мердо и Восток». [Электронный ресурс]. URL: [coolantarctica.com](http://coolantarctica.com). (дата обращения 19.12.2025)
3. М. А. Лаззара «Предварительный отчёт: рекордные температуры на Южном полюсе (и близлежащих участках AWS...)». [Электронный ресурс]. URL: <https://cronos.asia/ekologiya> (дата обращения 15.12.2025)
4. Национальное управление по делам Антарктики. [Электронный ресурс]. URL: <https://antarctica.aari.ru/activity/antarktida-i-antarktika/> (дата обращения 15.12.2025)
5. «Полевой справочник». Антарктида, Новая Зеландия. Правительство Новой Зеландии. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.govt.nz/browse/recreation-and-the-environment/natural-resources/> (дата обращения 17.11.2025)
6. Дэвис Ч. Х., Ли Ю., Макконнелл Дж. Р., Фрей М. М., Ханна Э. "Рост Восточного антарктического ледникового щита за счёт снегопадов смягчает последствия недавнего повышения уровня моря". *Science*. 308 (5730): 1898–1901. Bibcode:2005Sci...308.1898D. doi:10.1126/science.1110662. PMID 15905362. S2CID 31797055.
7. Э. Риньо; С. Якобс; Ж. Мужино; Б. Шейхль (2013). "Таяние шельфовых льдов вокруг Антарктиды". *Наука*. 341 (6143): 266–270. Bibcode:2013Sci...341..266R. doi:10.1126/science.1235798. PMID 23765278. S2CID 206548095.
8. НАСА «Исследование НАСА показало, что шельфовый ледник Ларсена В в Антарктиде приближается к своему финалу». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.meteo-vesti.ru/news/63616787858-v-antarktike-mozhet-royavitsya-gigantskiy-aysberg> (дата обращения: 25.11.2025)

9. Бентли, Майк; Ходжсон, Доминик. "Изменчивость шельфового ледника Георга VI на Антарктическом полуострове в масштабе тысячелетий". Совет по исследованиям природной среды. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 582 с.

10. Бентли, М. Дж.; Хьорт, К.; Ингольфссон, О.; Сагден, Д. Э. «Нестабильность ледникового шельфа Георга VI, Антарктический полуостров в эпоху голоцена». – М.: Изд-во МГУ, 2008. – 462 с.

11. Сингх, Ханси А.; Полвани, Лоренцо М. "Низкая чувствительность континентального климата Антарктики к изменениям из-за высокогорного рельефа ледникового покрова". *npjClimateandAtmospheric Science*. 3 (1): 39. Bibcode:2020npjCAS...3...39S. doi:10.1038/s41612-020-00143-w. S2CID 222179485.

12. Касадо, Матье; Эбер, Рафаэль; Фаранда, Давиде; Ланде, Амаэль (2023). "Проблема выявления признаков изменения климата в Антарктиде". *Nature Climate Change*. 13 (10): 1082–1088. Bibcode:2023NatCC..13.1082C. doi:10.1038/s41558-023-01791-5. ISSN 1758-6798.

13. Клем, Кайл Р.; Фогт, Райан Л.; Тернер, Джон; Линтнер, Бенджамин Р.; Маршалл, Гарет Дж.; Миллер, Джеймс Р.; Ренвик, Джеймс А. "Рекордное потепление на Южном полюсе за последние три десятилетия". *Nature Climate Change*. 10 (8): 762–770. Bibcode:2020NatCC..10..762C. doi:10.1038/s41558-020-0815-z. ISSN 1758-6798. S2CID 220261150.

14. Синь, Мэйцзяо; Клем, Кайл Р.; Тёрнер, Джон; Стэммерджен, Шэрон Э.; Чжу, Цзян; Цай, Вэньцзюй; Ли, Сичэнь (2 июня 2023 г.). «Тенденция к потеплению на западе и похолоданию на востоке Антарктиды изменилась с начала XXI века из-за крупномасштабных изменений в циркуляции». Письма об экологических исследованиях. 18 (6): 064034. doi:10.1088/1748-9326/acd8d4.

15. Буржуа, Тимоти; Горис, Надин; Швингер, Йорг; Чипутра, Джерри Ф. «Стратификация ограничивает поглощение тепла и углерода в Южном океане между 30° и 55° южной широты в будущем». *Nature Communications*. 13 (1): 340. Bibcode:2022NatCo..13..340B. doi:10.1038/s41467-022-27979-5. PMC 8764023. PMID 35039511.

16. Фокс-Кемпер, Б.; Хьюитт, Х. Т.; Сяо, Ц.; Адальгейрсдоттир, Г.; Дриджхаут, С. С.; Эдвардс, Т. Л.; Голледж, Н. Р.; Хемер, М.; Копп, Р. Э.; Криннер, Г.; Микс, А. (2021). Массон-Дельмотт, В.; Чжай, П.; Пирани, А.; Коннорс, С. Л.; Пеан, К.; Бергер, С.; Код, Н.; Чен, Ю.; Голдфарб, Л. (ред.). «Глава 9: Океан, криосфера и изменение уровня моря» (PDF). Изменение климата в 2021 году: основы физических наук. Вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Издательство Кембриджского университета, Кембридж, Великобритания, и Нью-Йорк, штат Нью-Йорк, США: 1270–1272.

17. Науэлс, Александр; Рогель, Йори; Шлэсснер, Карл-Фридрих; Майнхаузен, Мальте; Менгель, Маттиас «Связь между повышением уровня моря и социально-экономическими показателями в рамках общих социально-экономических траекторий». Письма об экологических исследованиях. 12 (11): 114002. Bibcode:2017ERL....12k4002N. doi:10.1088/1748-9326/aa92b6. hdl:20.500.11850/230713.

18. Л. Бамбер, Джонатан; Оппенгеймер, Майкл; Э. Копп, Роберт; П. Аспиналл, Уилли; М. Кук, Роджер. "Вклад ледникового покрова в повышение уровня моря в будущем по результатам структурированного экспертного опроса". Труды Национальной академии наук. 116 (23):

19. Климат Антарктики –Мир Знаний. [Электронный ресурс]. URL: [mir-znaniy.com](http://mir-znaniy.com). (дата обращения: 28.10.2025).

20. Алисов, Б.П., Полтараус, Б.В. Климатология.[Электронный ресурс]. URL: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_007224758/](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007224758/) (дата обращения 03.11.2025)

21. Богаткин, О.Г., Капустин, А.В. Прикладная метеорология [Электронный ресурс]. URL: <http://files.fip.rshu.ru/Новый%20каталог/2/doc/Богаткин%20%.pdf>. (дата обращения 03.11.2025)

22. Географическая зональность. [Электронный ресурс]. URL: [https://stav-geo.ru/\\_ld/122/12214\\_GEO\\_7-2\\_Geograf.pdf](https://stav-geo.ru/_ld/122/12214_GEO_7-2_Geograf.pdf) (дата обращения 03.11.2025)

23. Матвеев, Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 2006. – 380 с.9. – 415 с.
24. Полякова, Л.С., Кашарин, Д.В. Метеорология и климатология. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 107 с.
25. Семенченко, Б.А. Физическая метеорология / Б.А. Семенченко. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 416 с.
26. Факторы зональности. [Электронный ресурс]. URL: <https://old.bigenc.ru/geography/text/1995548> (дата обращения 05.11.2025)
27. Хромов, С.П. Метеорология и климатология / С.П. Хромов М. А. Петросянц. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 582 с.
28. Хромов, С.П. Метеорологический словарь. – Л: Гидрометеиздат, 1974. 569 с.
29. Погода и климат. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения 02.10.2025).
30. Семенова И.С. География: Широтная зональность [Электронный ресурс]. URL: [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/rid\\_c0e69770e29f16450.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_c0e69770e29f16450.pdf) (дата обращения 03.10.2025)