



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Исследование условий образований инверсий в арктической зоне РФ»

Исполнитель Фисенко Арина Олеговна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Волобуева Ольга Васильевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 23 » мая 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

	стр.
Введение	3
1. Инверсии температуры в атмосфере	5
1.1 Классификация инверсий	5
1.2 Инверсии в антициклоне	10
2. Синоптические ситуации и метеорологические факторы, способствующие образованию инверсий на территории Арктической зоны РФ	13
2.1 Физико-географическое положение и климатические особенности городов Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар	13
2.2 Типовые синоптические ситуации при формировании инверсий	17
3. Анализ характеристик инверсий	25
3.1 Повторяемость инверсий	25
4. Высота верхней и нижней границы и мощность инверсий	33
4.1 Интенсивность инверсий	37
Заключение	41
Список использованной литературы	

ВВЕДЕНИЕ

Важной чертой или особенностью термического строения атмосферы являются инверсии температуры - слой атмосферы, в котором температура возрастает с высотой и градиент температуры отрицателен.

Инверсии — это нередкое явление, скорее их наличие в атмосфере является правилом, нежели исключением. Характер погоды и её изменения оказывают большое влияние на деятельность человека, а также на авиацию. Процессы, приводящие к образованию инверсий, могут быть весьма различными, и в конкретных условиях нередко одновременно действуют разные факторы [8].

Инверсии могут быть обнаружены несколькими способами: используются спутниковые данные, радиозондирования, данные реанализов и контактных наблюдений. В российской арктической зоне метеорологических станций расположено очень немного, а разрешение реанализов слишком велико для обнаружения городских инверсий. Поэтому, инверсии городов на Арктической территории РФ изучены слабо.

В данной работе я исследую температурные инверсии за период: декабрь 2020 - декабрь 2021 гг. на территории Арктической зоны РФ.

Целью данной работы является анализ температурных инверсий на территории Арктической зоны РФ.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. По данным зондирования атмосферы с аэрологических станций Мурманск, Нарьян-Мар и Кандалакша сформировать базу данных, по которым провести статистический анализ температурных инверсий за выбранный период;
2. Изучить повторяемость инверсий за период декабрь 2020 г. - декабрь 2021 г. на исследуемой территории по данным м/с Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар;
3. Изучить синоптические ситуации, способствующие образованию инверсий за каждый сезон на территории Арктической зоны РФ;

4. Изучить высоты нижних и верхних границ температурных инверсий, а также мощности и интенсивность инверсионного слоя

Исходными материалами в данной работе послужили: синоптические карты и данные зондирования атмосферы с аэрологических станций городов: Мурманск, Кандалакша, Нарьн-Мар. Данные были взяты за период декабрь 2020 г. - декабрь 2021 г. Зондирование атмосферы происходило каждый день в 00.00 и 12.00 UTC. Рассматриваемый период составил 366 дней, в которые наблюдалось 993 случая с температурной инверсией. По полученным данным, были рассчитаны повторяемость инверсий, рассчитаны повторяемость синоптических ситуаций, при которых наблюдались температурные инверсии, определялась высота верхней и нижней границы, мощность и интенсивность инверсий.

Выпускная квалификационная бакалаврская работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников и ряда приложений.

В первой главе рассматривается классификация и условия формирования инверсий, особенности формирования инверсий в антициклонах. Вторая глава посвящена синоптическим ситуациям и метеорологическим параметрам, при которых образуются инверсии температуры на территории Арктической зоны РФ. В третьей главе анализируются характеристики и повторяемость инверсий. В четвёртой главе производится исследование мощностей и интенсивности инверсионных слоёв.

1. ИНВЕРСИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В АТМОСФЕРЕ.

Инверсия температуры - повышение температуры воздуха с высотой в некотором слое атмосферы. Инверсии температуры встречаются как в приземном слое воздуха, начиная от поверхности почвы (приземная инверсия), так и в свободной атмосфере, особенно в нижних 2 км, а также при переходе от тропосферы к стратосфере.

Мощность (толщина слоя) приземных инверсий порядка десяти метров, но могут достигать и сотен метров; инверсии в свободной атмосфере имеют вертикальную мощность порядка сотен метров. Прирост температуры (интенсивность инверсии) в инверсионном слое может достигать 10 - 15°, но обычно это значение меньше [4].

Под инверсиями образуются слои туманов, облаков и дымки; в слое инверсии происходит ослабление или полное исчезновение турбулентности и вертикальных движений, возникают особые формы рефракции света (мираж), возникают воды, благоприятные для дальнего распространения радиоволн и звуковых волн и т.д. Слои инверсии наблюдаются в атмосфере почти везде, во все времена года и практически при любой погоде [1].

По высоте различают:

- 1) Приземные инверсии, которые начинаются от земной поверхности
- 2) Инверсии свободной атмосферы, высота весьма различная, иногда наблюдается одновременно два и более инверсионных слоёв.

1.1 Классификация инверсий

Приземные инверсии

1. Наиболее распространёнными инверсиями являются радиационные (Рис.1.1). Образуются вблизи поверхности, когда она охлаждается в результате

теплового излучения. От земной поверхности прилегающие слои воздуха тоже охлаждаются; из-за этого температура с высотой в слое воздуха будет расти, а не падать с высотой. Данные инверсии также развиваются, когда земная поверхность отдаёт тепла излучением больше, чем получает. Это происходит ночью и в течении суток зимой.

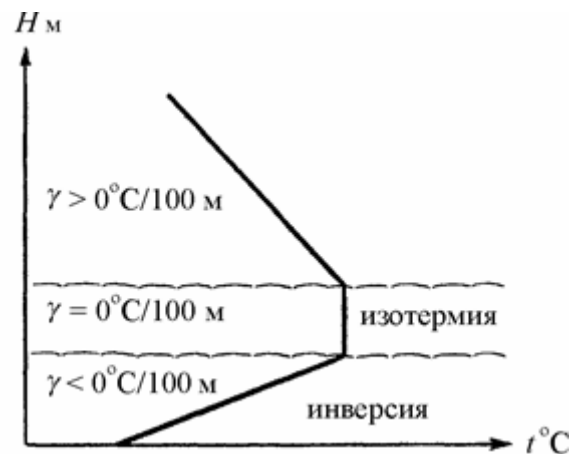


Рисунок 1.1 - Радиационная инверсия

Благоприятные условия для развития радиационных инверсий — это слабое движение воздуха, отсутствие облачности, наличие больших колебаний температур ото дня к ночи. Они характерны для всех районов, но почти постоянно радиационные инверсии встречаются в Арктике и Антарктиде.

2. Разновидностью радиационных инверсии являются орографические (Рис.1.2), в которых радиационный эффект усилен особенностями орографии.

В условиях холмистой местности воздух, который охлаждается стекает с возвышенностей в котловины или низины, где выхолаживание больше из-за ослабленного обмена.

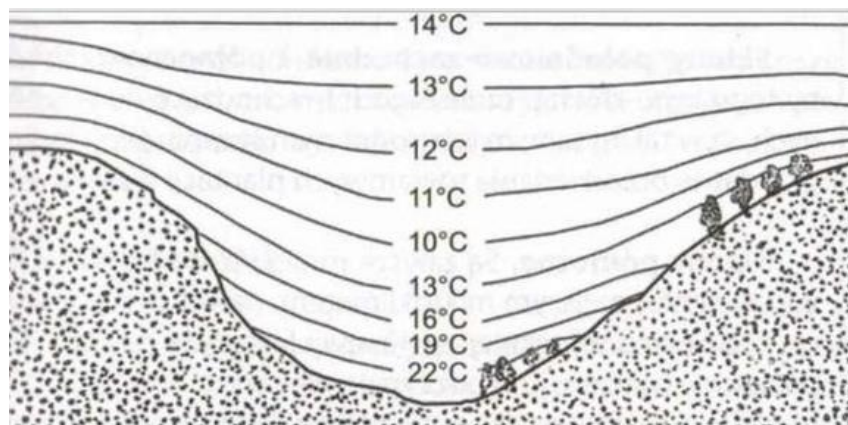


Рисунок 1.2 - Орографическая инверсия

3. Когда тёплые воздушные массы при адвективном переносе распространяются над более холодной подстилающей поверхностью, возникают инверсии тёплого воздуха. Нижние слои тёплого потока при этом отдают часть тепла подстилающей поверхности и в результате охлаждаются более сильнее, чем верхние.

4. Адвективные инверсии (Рис.1.3) будут образовываться при перемещении тёплого воздуха по холодной подстилающей поверхности.

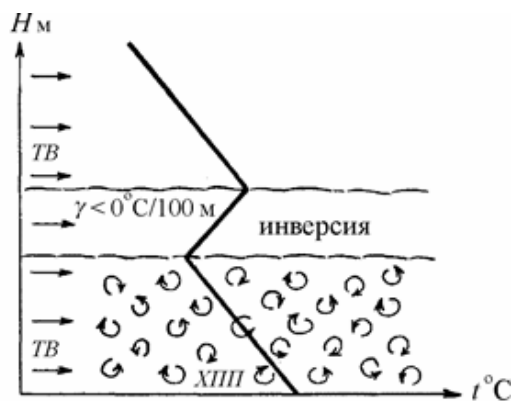


Рисунок 1.3 - Адвективная инверсия

За счёт соприкосновения с холодной подстилающей поверхностью нижние слои воздуха охлаждаются, а за счёт адиабатического понижения температуры в поднимающемся воздухе и турбулентного перемешивания

охлаждение переходит в более высокие слои. И температура с высотой в слое трения понижается. Выше. Турбулентность резко убывает, и наблюдается рост температуры с высотой, т.е. образуется слой инверсии. Чаще всего, образуются в холодное время года [6].

5. С адвекцией тёплого воздуха, поступающего на снежный покров, также связаны снежные и весенние инверсии. Из-за затрат большего количества тепла, отдаваемого воздухом, на таяние снега, происходит развитие, обычно невеликих по мощности инверсий.

Инверсии в свободной атмосфере

1. На верхней границе слоя трения, на высоте нескольких сотен метров над земной поверхностью возникают инверсии трения, которые являются переходным типом от приземных инверсий к инверсиям в свободной атмосфере. (Рис. 1.4).

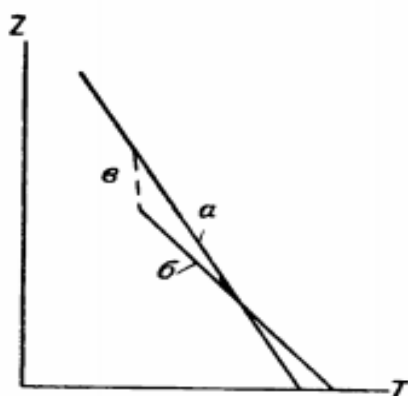


Рисунок 1.4 - Схема образования инверсии трения

2. В свободной атмосфере в слоях с большими скоростями ветра развиваются динамические инверсии (Рис. 1.5). Быстро движущийся поток засасывает воздух из соседних слоёв с меньшими скоростями движения. Но при этом на верхней границе слоя увеличенных скоростей создаются нисходящие движения, а на нижней - восходящие. В зоне восходящих движений температура воздушных частиц адиабатически понижается, а в зоне с нисходящими повышается, и в результате происходит перераспределение температуры.

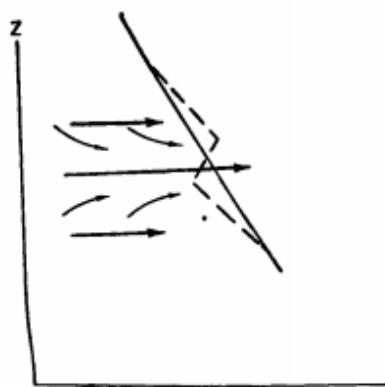


Рисунок 1.5. - Схема образования динамической инверсии

Первоначальная линия стратификации, *a* заменяется другой, более сложной *б*; в средней части слоя больших скоростей возникает температурная инверсия.

3. Инверсия сжатия (Рис.1.6), или оседания, представляют наибольший интерес. В таких барических областях, наблюдается общее нисходящее движение в среднем слое тропосферы и растекании воздуха от центра к периферии в нижнем слое.

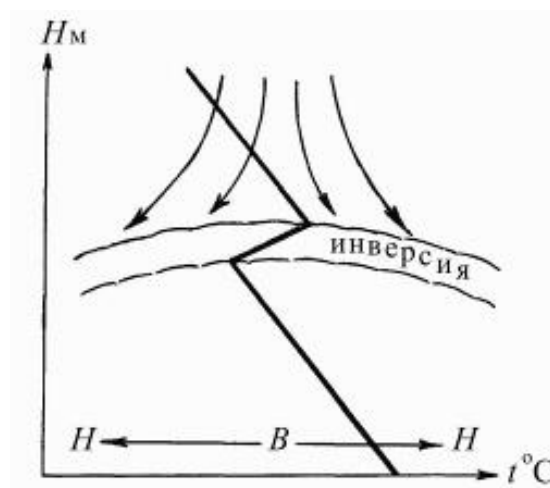


Рисунок 1.6 - Схема образования инверсии сжатия.

Инверсия сжатия отличаются большей вертикальной и горизонтальной протяжённостью. Развиваются они чаще всего на высотах 1 - 2 км, а зимой

иногда и ниже. Под инверсия часто появляется слой дымки, а в холодный период года нередко образуется туман и облака.

4. Фронтальные инверсии (Рис. 1.7) возникают во фронтальных зонах, когда тёплый воздух натекает на клин холодного. Из-за того, что при этом изолинии одинаковой температуры располагаются в теплом воздухе выше, чем в холодном смякании их переходной зоне приводит к излому [2].

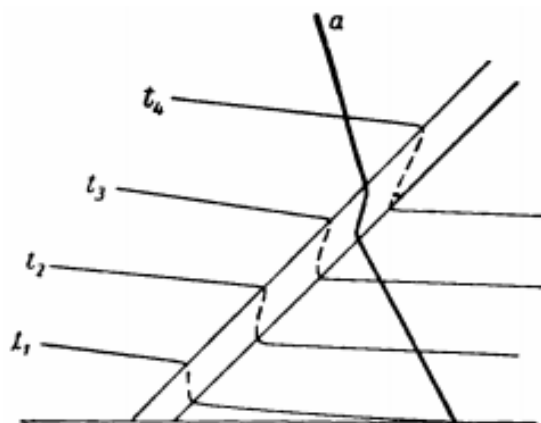


Рисунок 1.7 - Фронтальная инверсия.

1.2 Инверсии в антициклонах

Характерной особенностью в вертикальном распределении температуры воздуха в антициклонах является наличие инверсий. Выделяют радиационные инверсии, которые являются результатом выхолаживания нижних слоёв воздуха от подстилающей поверхности, а инверсии оседания - как результат нисходящих движений воздуха и динамического его нагревания в антициклоне.

Преимущественно в ясные тихие ночи, особенно зимой образуются радиационные инверсии. Весенние и осенние заморозки чаще всего связаны с приземными инверсиями.

Рельеф местности имеет большее значение в образовании приземных инверсий. Холодный воздух стекает по неровностям рельефа и скапливается в котловинах, у подножия гор и на дне долин. Поэтому в горных районах инверсии

более сильные и мощные, обуславливая неоднородное распределение туманов и заморозков.

При стабилизации внетропического антициклона оседание воздуха, которое связано с нижней дивергенцией может достигать величины 1 км за сутки. Между оседающим воздухом верхних слоёв и холодным воздухом нижних инверсии оседания имеют значительную мощность. Холодный подвижный антициклон становится тёплым стационарным.

В устойчивых континентальных антициклонах к радиационным инверсиям присоединяются инверсии вышележащих слоёв - приземная инверсия может без разрыва перейти и в целом составить несколько км по вертикали.

Под инверсиями оседания (Рис.1.2.1), которые покрывают больше районы, скапливаются частицы дыма, пыль и другие атмосферные частицы, переносимые снизу. Такие слои инверсий, называют задерживающими слоями атмосферы. Под инверсией будет образовываться высокий туман, который наблюдается как слоистые облака (St). Снижаясь. Туман может достичь поверхности земли.

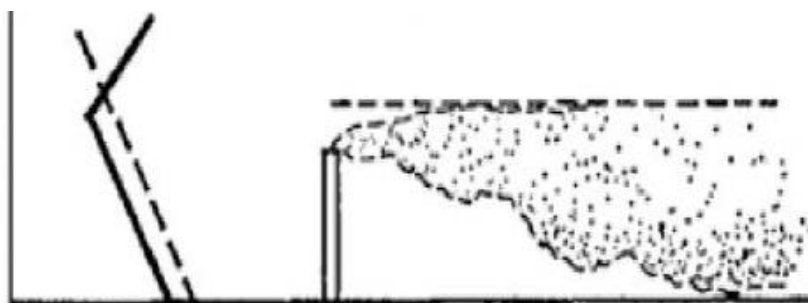


Рисунок 1.2.1 - Приподнятая инверсия или инверсия оседания

При антициклональной погоде в горах с инверсиями у земли холодно и пасмурно, на высотах, над инверсиями - солнечно и ясно. В слое инверсии поднимающийся воздух быстро выравнивает свою температуру со средою, и его подъёмная сила пропадает. Появление кучевых облаков часто исключается существованием инверсий. Поэтому конвекция над сушей в хорошо развитых антициклонах, содержащих инверсии оседания, развивается редко. Облака, уже начавшие возникать, мало развиваются по вертикали, если инверсия лежит выше

уровня конденсации. Но при большой скорости восходящих движений воздуха и мощности они могут пробиться сквозь инверсионный слой. Ночные приземные инверсии, которые придают устойчивость нижнему слою атмосферы, вообще исключает возможность даже возникновения конвекции до тех пор, пока с восходом Солнца прогрев воздуха не приведёт к разрушению инверсии [3].

Инверсионный слой препятствует вертикальному перемешиванию воздуха и задерживает рассеивание примеси в атмосфере, (Рис.1.2.2) а при штилевых условиях возникает застой воздуха. Кроме того, повышение температуры воздуха также влечёт повышение уровня загрязнения атмосферного воздуха.

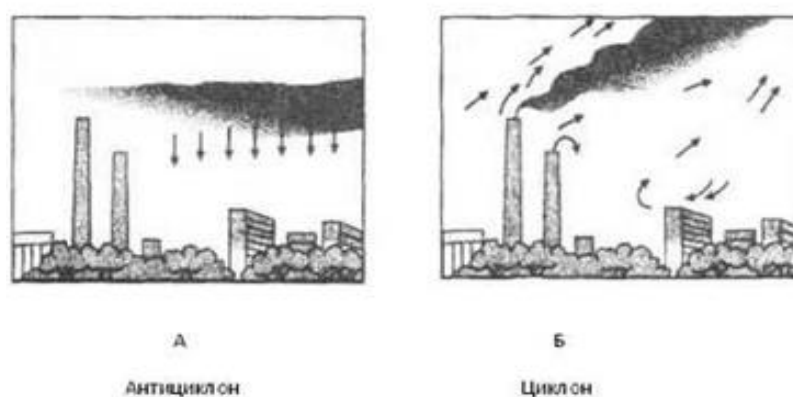


Рисунок 1.2.2 - Распространение выбросов при приземной температурной инверсии

При антициклональной погоде наблюдается увеличение числа инверсий; при возникновении сильных ветров и циклоническом характере погоды - они разрушаются [5].

2. СИНОПТИЧЕСКИЕ СИТУАЦИИ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, СПОСОБСТВУЮЩИЕ ОБРАЗОВАНИЮ ИНВЕРСИЙ НА ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ.

2.1 Физико-географическое положение и климатологические особенности городов Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар

Приземные инверсии температуры являются характерной чертой климата Арктики, а также российской её части. В зимний период именно в этом регионе, наблюдаются самые благоприятные условия для формирования частых инверсий: малоградиентное поле давления, антициклональный тип погоды, радиационное выхолаживание поверхности и орография местности.



Рисунок 2.1 - Территория исследования: Арктическая зона РФ
(города: Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар)

Мурманск — крупнейший в мире город, расположенный за Северным полярным кругом, на восточном берегу Кольского залива, на 4 террасах в

атлантико-арктической зоне умеренного климата. Климат Мурманска формируется близостью Баренцева моря. Влияние усиливается тёплым Северо-Атлантическим течением.

Инверсионный слой препятствует вертикальному перемешиванию воздуха, тем самым задерживает рассеивание примесей в атмосфере. При штилевых условиях это будет приводить к возникновению явления застоя воздуха. Также накапливается примеси под инверсионным слоем, что обуславливает высокий уровень загрязнения воздушного бассейна. Самая высокая точка города — безымянная сопка на окраине высотой 305,9 метров. Самая низкая точка в городе — берег Кольского залива, совпадающая с уровнем моря [11].

В Арктике содержится огромное количество неразработанных энергоресурсов — нефти и газа. Но добыча природных ресурсов крайне ложна в Арктике и очень опасна с экологической точки зрения. Вероятность аварийных ситуаций в условиях сурового климата возрастает. Возможность ликвидации последствий разлива нефти, а также её эффективность осложняются экстремальными климатическими условиями. В этих районах в результате сильного выхолаживания поверхности постоянны инверсии температуры воздуха.

Для элементов технических систем, эксплуатируемых в условиях Севера, определяющим внешним фактором являются низкие температуры атмосферного воздуха, которые ухудшают основные физико-механические свойства конструкционных материалов, повышают их склонность к хрупкому разрушению как потенциальному источнику возможных аварий [11].

Неконтролируемое развитие аварийных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса может привести к значительным разрушениям и к гибели людей [10].

Кандалакша находится существенно южнее Мурманска, но за счёт нахождения вдали от Баренцева моря климат континентальный, и является переходным от умеренного к субарктическому. Зима холоднее, чем в Мурманске,

но менее снежная, однако всё же затяжная. Весна наступает к концу апреля, а зима с конца октября. Лето прохладное и короткое.

В Мурманской области также со стороны промышленных предприятий в жилую зону дуют продолжительные ветра, которые создают повышенные концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. По многолетним климатическим данным максимальное количество дней с неблагоприятными метеорологическими условиями, способствующими накоплению вредных примесей в атмосфере, приходится, как правило, на холодное время года [5].

Нарьян-Мар находится севернее Полярного круга. Город находится в зоне вечной мерзлоты в субарктическом климате с длительной зимой и коротким летом. Для полярных широт зима сравнительно мягкая вследствие влияния Баренцева моря, однако весна и осень длительные и холодные, а лето относительно тёплое и короткое [1].

Проведя анализ случаев инверсий в Мурманске, Кандалакше и Нарьян-Маре (Рис.2.1) по данным радиозондирования за период с декабря 2020 г. по декабрь 2021 г. (всего случаев инверсий за исследуемый период было 993), было принято решение отдельно рассмотреть более мощные инверсии. Таким образом в работе представлены случаи инверсий с мощностью 5°C и 500 метров соответственно.

Инверсии оказывают влияние на многие явления в атмосфере, с ними связано формирование и эволюция слоистой облачности, дыма, тумана, мглы. Низкая облачность в большинстве случаев связана с наличием инверсии, располагаясь под ней или частично. Образуется задерживающий слой в атмосфере и чем глубже и мощнее инверсия, тем дольше она рассеивается [3].

В зимние месяцы инверсии образуются ежедневно, также бывают дни с несколькими инверсиями, например, за декабрь 2020 года, в Кандалакше количество инверсий составило 51 случай (5%). Среднее значение мощности 325 метров, а средняя мощность по температуре составила 3,2 °C. Но из 51 случая инверсий в 26 случаях (3%) значения мощности (по температуре) и 20 случаях (2%) значения мощности (по высоте) превышают средние значения.

В 4-х случаях значения превышают по обоим параметрам, а именно:

26.12.2020 в 00 часов ($\Delta T=5^{\circ}\text{C}$, $\Delta H=1411\text{м}$);

28.12.2020 в 12 часов ($\Delta T=5,6^{\circ}\text{C}$, $\Delta H=675\text{м}$);

29.12.2020 в 12 часов ($\Delta T=7^{\circ}\text{C}$, $\Delta H=821\text{м}$);

30.12.2020 в 00 часов ($\Delta T=7,3^{\circ}\text{C}$, $\Delta H=585\text{м}$).

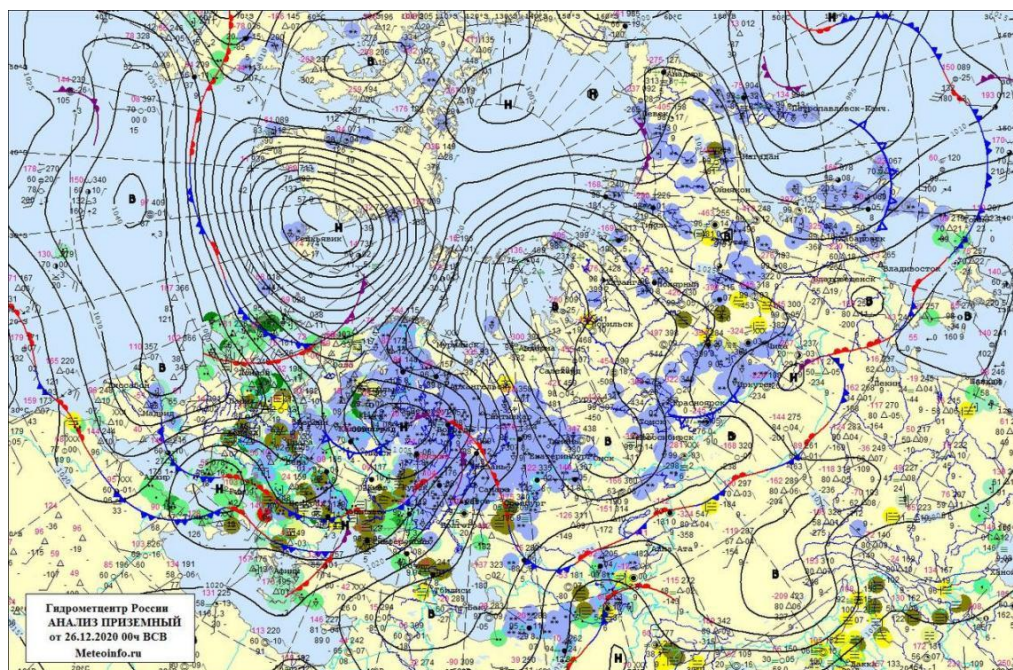


Рисунок 2.2 - Синоптическая ситуация за 26.12.2020 00:00 UTC

26 декабря 2020 года синоптическая ситуация в исследуемом регионе определялась тыловой частью гребня. Более детально метеопараметры в этот день представлены в Таблице 1.

Таблица 1 - Фактические данные с характеристиками инверсий и синоптическими ситуациями (фрагмент)

Декабрь (Кандалакша)							
Дата/Время по UTC	Тв	Нв	Тн	Нн	Тв-Тн	Нв-Нн	Син ситуация
02.12.2020/12	-4,5	934	-7,3	772	2,8	162	гребень
03.12.2020/00	-2,9	1136	-6,9	753	4	383	гребень
03.12.2020/12	-2,7	986	-5,3	685	2,6	301	гребень
	-6,9	1661	-13,1	1512	6,2	149	
05.12.2020/00	-5,7	1604	-9,5	1483	3,8	121	гребень
07.12.2020/12	-0,9	965	-1,3	704	0,4	261	гребень
09.12.2020/00	-0,9	1468	-11,3	1160	10,4	308	гребень
	-1,1	2120	-3,3	1552	2,2	568	
09.12.2020/12	-0,1	867	-8,5	596	8,4	271	гребень
10.12.2020/12	-2,1	812	-4,5	617	2,4	195	тыловая часть циклона
	-8,1	2128	-9,1	1749	1	379	
11.12.2020/00	-5,7	1534	-6,7	1206	1	328	тыловая часть циклона
11.12.2020/12	-3,1	856	-4,1	635	1	221	тыловая часть циклона
	-6,7	1886	-7,5	1572	0,8	314	
25.12.2020/12	-13,5	782	-15,9	492	2,4	290	гребень
	-12,7	1725	-14,1	1424	1,4	301	
26.12.2020/00	-13,7	1848	-18,7	437	5	1411	гребень
26.12.2020/12	-16,9	1258	-20,5	740	3,6	518	гребень
30.12.2020/00	0	1284	-7,3	699	7,3	585	тыловая часть гребня
30.12.2020/12	-3,3	1020	-8,5	803	5,2	217	тыловая часть гребня

2.2 Типовые синоптические ситуации при формировании инверсий

Синоптическая ситуация является комплексной характеристикой различных метеорологических величин и отражает все многообразие, происходящее в атмосфере. Данные о повторяемости, интенсивности и мощности инверсий свидетельствуют о том, что их образование в значительной степени связано с крупномасштабными атмосферными процессами.

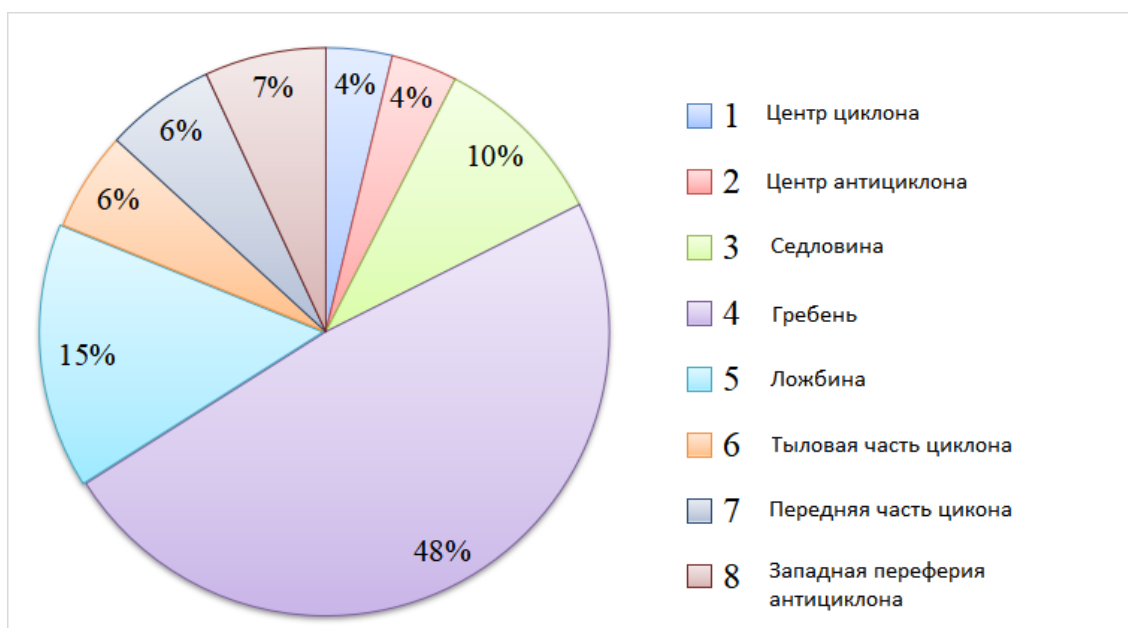


Рисунок 2.2.1 - Типовые синоптические ситуации
(за весь период на территории Арктической зоны РФ)

На рисунке представлена повторяемость синоптических ситуаций, в которых наблюдались температурные инверсии, за рассматриваемый период (декабрь 2020- декабрь 2021 год). В течении года преобладающей синоптической ситуацией является гребень антициклона и составляет 48 %. Минимальное количество раз инверсии наблюдались в центре циклона и на западной периферии антициклона 4%.

На рисунках 2.2.2, 2.2.4, 2.2.6, 2.2.8 представлены отдельно повторяемость синоптических ситуаций, в которых наблюдались температурные инверсии, за рассматриваемый период в разные сезоны.

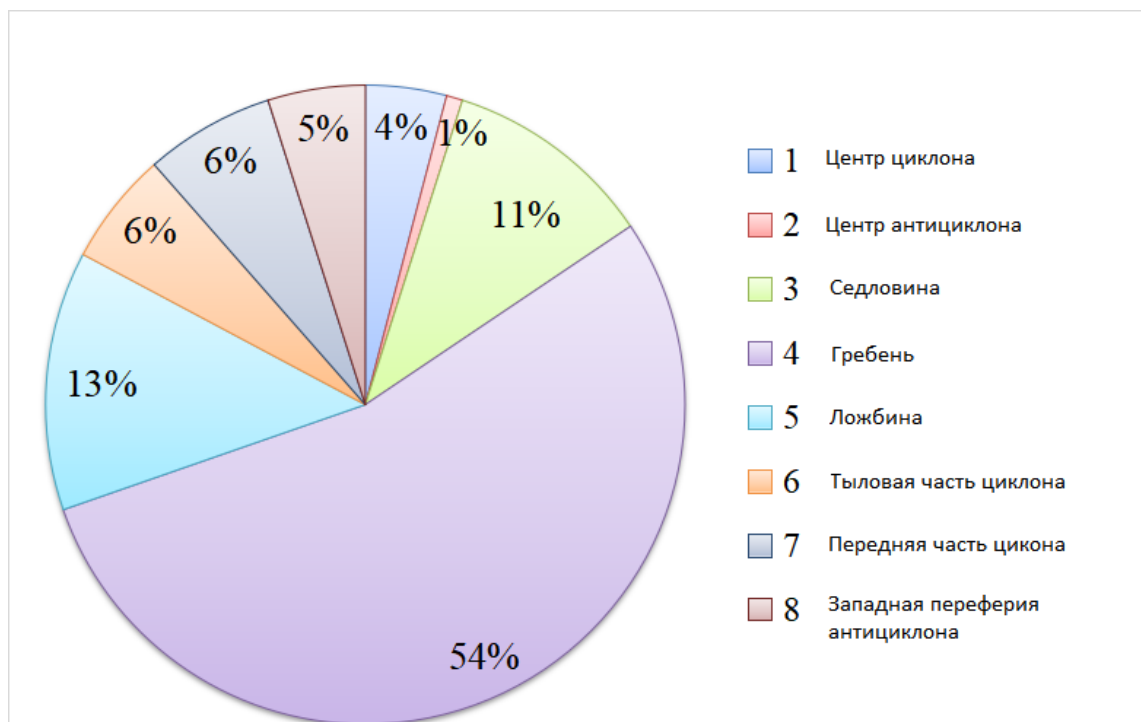


Рисунок 2.2.2 - Типовые синоптические ситуации в зимние месяцы

Так в зимние месяцы, преобладающей синоптической ситуацией является гребень (54%), а минимум приходится на центр антициклона (1%).

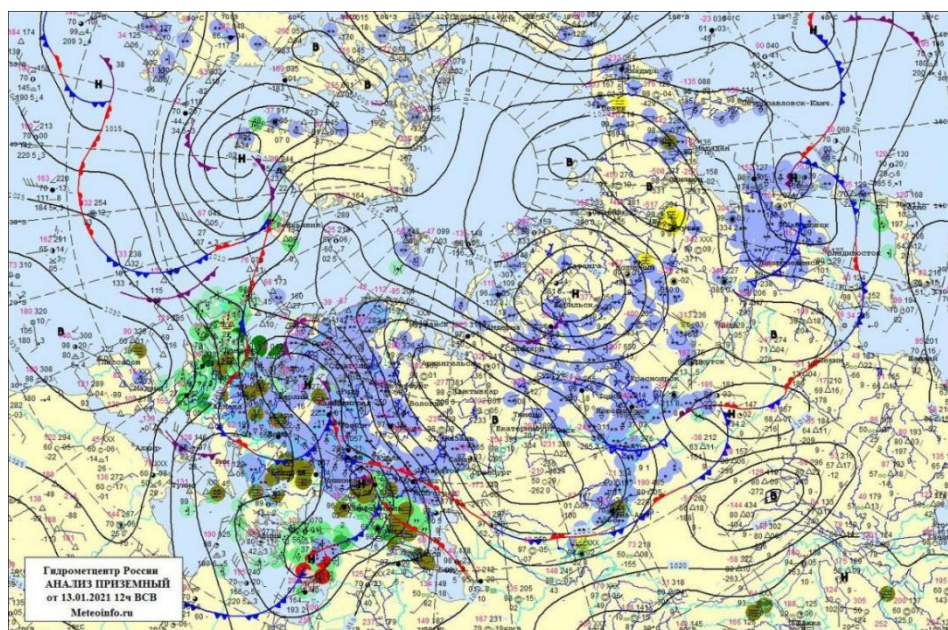


Рисунок 2.2.3 - Синоптическая ситуация за 13.01.2021 12:00 UTC

На рисунке 2.2.3 представлен приземный анализ от 13.01.2021 12:00 UTC, как пример преобладающей синоптической ситуацией в зимние месяцы, а именно синоптическая ситуация в исследуемом регионе определялась тыловой частью гребня.

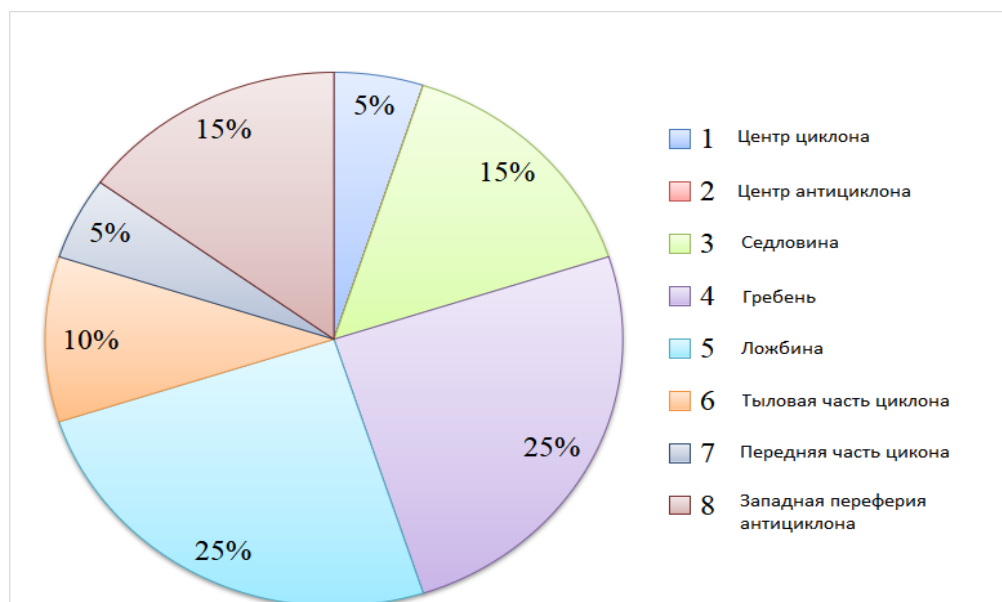


Рисунок 2.2.4 - Типовые синоптические ситуации в весенние месяцы

Распределение синоптических ситуаций в течении весенних месяцев достаточно разнообразно, половина всего периода температурные инверсии наблюдаются при гребне антициклона (25%) и ложбине циклона (25%), а вот в центре циклона (5%) и в его передней части минимальное количество раз (5%).

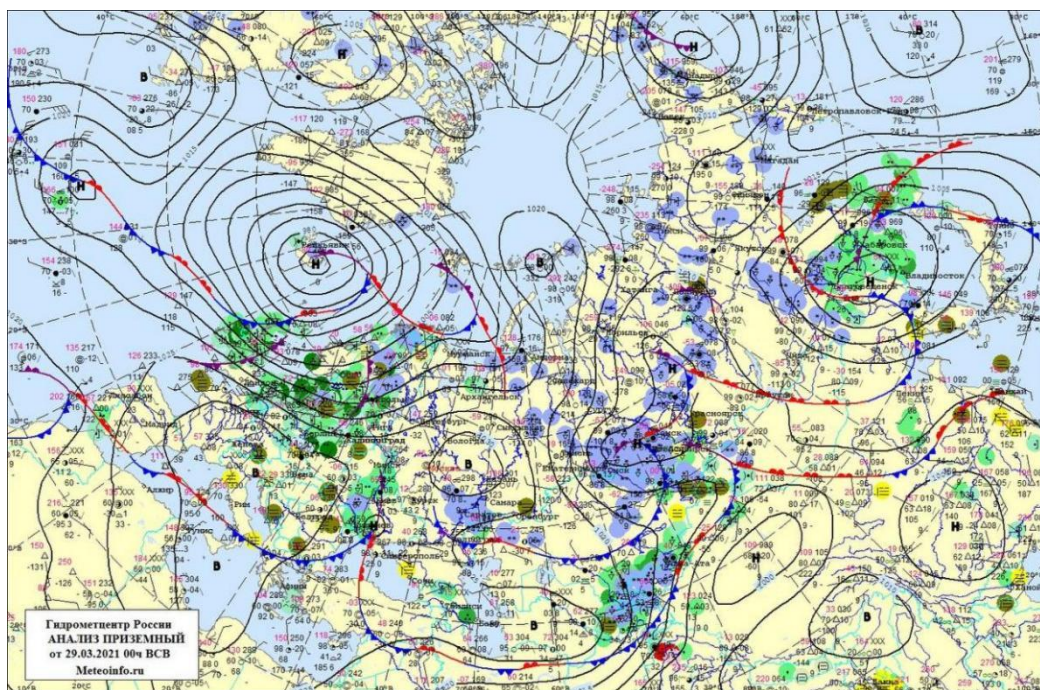


Рисунок 2.2.5 - Синоптическая ситуация за 29.05.2021 12:00 UTC

На рисунке 2.2.5 представлен приземный анализ от 29.05.2021 00:00 UTC, как пример преобладающей синоптической ситуацией в весенние месяцы, а именно синоптическая ситуация в исследуемом регионе определялась ложбиной.

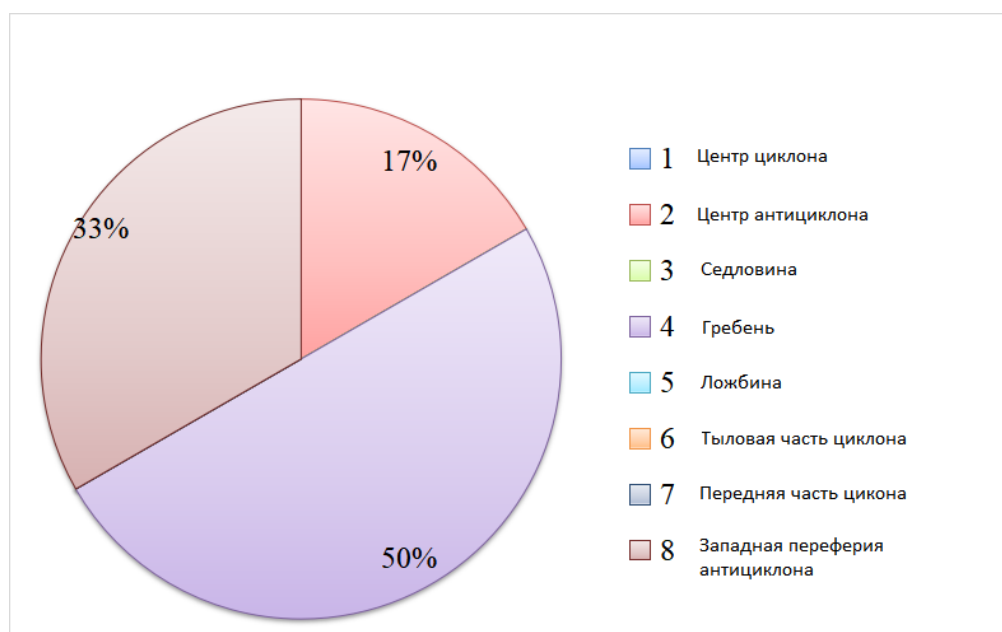


Рисунок 2.2.6 - Типовые синоптические ситуации в летние месяцы

В летние месяцы мы видим всего 3 синоптические ситуации, при которых образовывались температурные инверсии. Это Гребень (50%), западная периферия антициклона (33%) и центр антициклона (17%).

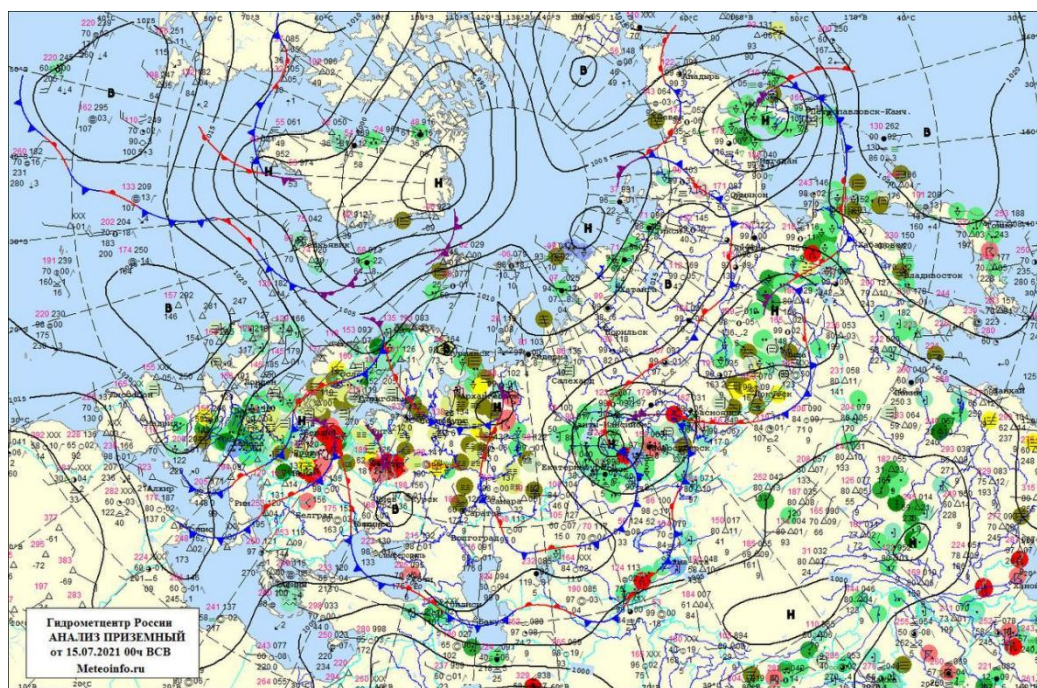


Рисунок 2.2.7 - Синоптическая ситуация за 15.07.2021 00:00 UTC

На рисунке 2.2.7 представлен приземный анализ от 15.07.2021 00:00 UTC, как пример синоптической ситуацией в летние месяцы, а именно синоптическая ситуация в исследуемом регионе определялась центром антициклона.

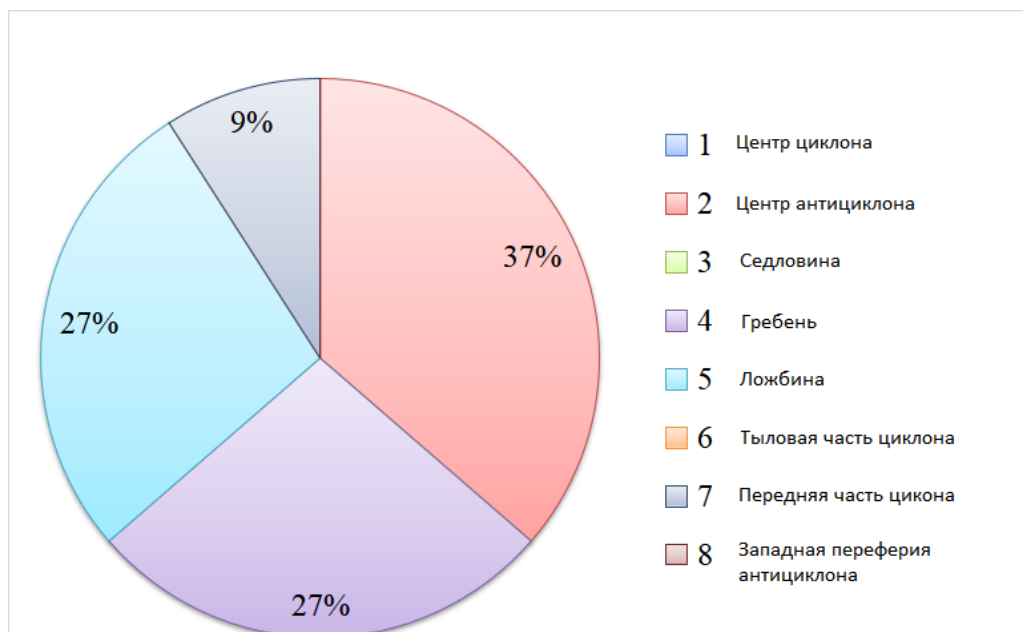


Рисунок 2.2.8 - Типовые синоптические ситуации в осенние месяцы

В осенние месяцы мы видим уже 4 синоптические ситуации, при которых образовывались температурные инверсии. Это центр антициклона (37%), Ложбина (27%), гребень (27%) и передняя часть циклона (9%).

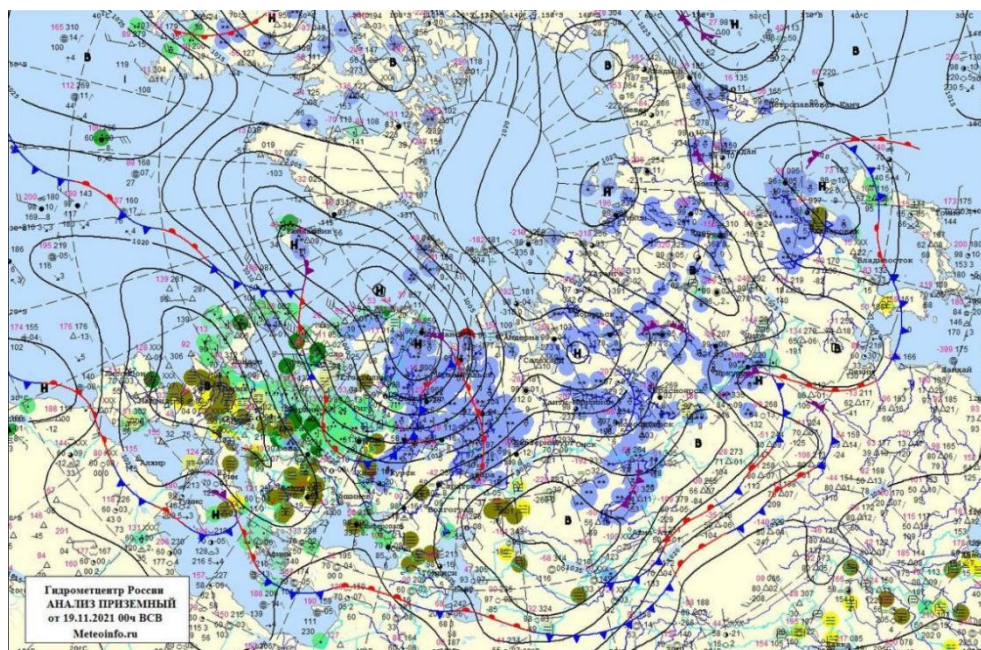


Рисунок 2.2.9 - Синоптическая ситуация за 19.11.2021 00:00 UTC

На рисунке 2.2.9 представлен приземный анализ от 19.11.2021 00:00 UTC, как пример синоптической ситуацией в летние месяцы, а именно синоптическая ситуация в исследуемом регионе определялась центральной и передней частью циклона.

Синоптические ситуации для формирования мощных инверсионных слоёв преимущественно связаны с антициклональным типом погоды, как в холодное полугодие, так и в течении всего года. Это малоподвижные, высокие антициклоны и гребни, которым соответствуют области тепла наверху. Также инверсии температуры наблюдаются в малоградиентном поле, в барических ложбинах, седловинах, тёплых секторах малоподвижных циклонов, далёких перифериях обширных глубоких циклонов при небольших градиентах давления, а также при слабых циклонах в сопровождении слабых ветров, отсутствием осадков и ростом давления. Малоградиентное барическое поле располагает к застою воздуха и образованию температурных инверсий [9].

Проанализировав данные, можно сделать выводы:

1. В течении года преобладающей синоптической ситуацией на территории Арктической зоны РФ является гребень антициклона и составляет 48 %;
2. В зимние месяцы, преобладающей синоптической ситуацией также является гребень антициклона 54%;
3. В течении весенних месяцев половина всего периода температурные инверсии наблюдаются при гребне антициклона 25% и ложбине циклона 25%;
4. В летние месяцы наблюдается всего 3 синоптические ситуации, при которых образовывались температурные инверсии. Преобладающей является, также гребень антициклона и составляет 50%;
5. В осенние месяцы наблюдалось уже 4 синоптические ситуации, при которых образовывались температурные инверсии. Преобладающей является центр антициклона и составляет 37%.

3. АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ИНВЕРСИЙ.

3.1 Повторяемость инверсий

В таблицах представлено количество рассматриваемых инверсий и их повторяемость, выраженная в процентах от общего количества наблюдений за год.

Таблица 2 - Количество инверсий и повторяемость в зимние месяцы г. Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар.

Месяц	Декабрь			Январь			Февраль			Общее за рассматриваемый период
Город	Мурманск	Кандалакша	Нарьян - Мар	Мурманск	Кандалакша	Нарьян - Мар	Мурманск	Кандалакша	Нарьян - Мар	
Всего инверсий	24	51	53	51	59	61	41	49	41	993
Повторяемость	2,4	5,1	5,3	5,1	5,9	6,1	4,1	4,9	4,1	43,0
Всего инверсий 5/500	5	3	16	9	15	44	9	13	9	161
Повторяемость	3,1	1,9	9,9	5,6	9,3	27,3	5,6	8,1	5,6	76,0

Общее число наблюдавшихся инверсий за год декабрь 2020- декабрь 2021 года в г. Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар составило 993 день, из них с инверсиями в зимние месяцы 43 % за весь рассматриваемый период.

Таблица 3 - Количество инверсий и повторяемость в весенние месяцы г. Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар.

Месяц	Март			Апрель			Май			Общее за рассматриваемый период
Город	Мурманск	Кандалакша	Нарьян - Мар	Мурманск	Кандалакша	Нарьян - Мар	Мурманск	Кандалакша	Нарьян - Мар	
Всего инверсий	28	21	34	13	14	21	31	19	22	993
Повторяемость	2,8	2,1	3,4	1,3	1,4	2,1	3,1	1,9	2,2	20,4
Всего инверсий 5/500		3	6		1			7	3	161
Повторяе - мость	0,0	1,9	3,7	0,0	0,6	0,0	0,0	4,3	1,9	12,4

Общее число наблюдавшихся инверсий за год декабрь 2020- декабрь 2021 года в г. Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар составило 993 день, из них с инверсиями в весенние месяцы 20,4 % за весь рассматриваемый период.

Таблица 4 - Количество инверсий и повторяемость в летние месяцы г. Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар.

Месяц	Июнь			Июль			Август			Общее за рассматриваемый период
Город	Мурманск	Кандалакша	Нарьян - Мар	Мурманск	Кандалакша	Нарьян - Мар	Мурманск	Кандалакша	Нарьян - Мар	
Всего инверсий	16	18	16	19	19	18	12	18	13	993
Повторяе - мость	1,6	1,8	1,6	1,9	1,9	1,8	1,2	1,8	1,3	13,4
Всего инверсий 5/500		2	1	1	1	1		1		161
Повторяе - мость	0,0	1,2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,0	0,6	0,0	4,3

Общее число наблюдавшихся инверсий за год декабрь 2020- декабрь 2021 года в г. Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар составило 993 день, из них с инверсиями в летние месяцы 13,3 % за весь рассматриваемый период.

Таблица 5 - Количество инверсий и повторяемость в осенние месяцы г. Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар.

Месяц	Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Общее за рассматриваемый период
Город	Мурманск	Кандалакша	Нарьян - Мар	Мурманск	Кандалакша	Нарьян - Мар	Мурманск	Кандалакша	Нарьян - Мар	
Всего инверсий	26	20	18	19	14	17	33	28	36	993
Повторяемость	2,6	2,0	1,8	1,9	1,4	1,7	3,3	2,8	3,6	21,2
Всего инверсий 5/500	1						1	7	2	161
Повторяемость	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	4,3	1,2	6,8

Общее число наблюдавшихся инверсий за год декабрь 2020- декабрь 2021 года в г. Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар составило 993 день, из них с инверсиями в осенние месяцы 21,2 % за весь рассматриваемый период.

Общее распределение повторяемости всех инверсий за рассматриваемый период (декабрь 2020- декабрь 2021 гг.) представлено на рисунке 3.1

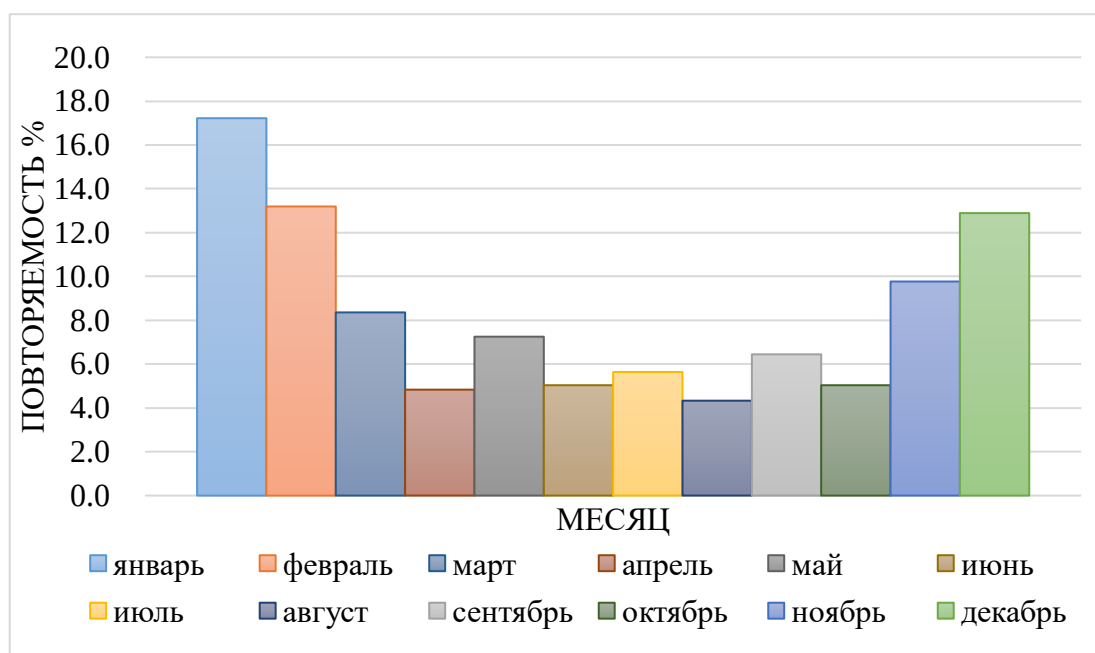


Рисунок 3.1 - Повторяемость общего количества инверсий по месяцам за весь период

Из рисунка 3.1 видно, что повторяемость инверсий в рассматриваемый период (декабрь 2020- декабрь 2021 год) максимальна в январе (17,2 %), феврале (13,2%), декабре (12,9%) то есть в зимние месяцы. Обуславливает высокую повторяемость инверсий антициклональный тип погоды. Данный тип погоды преобладал в зимние месяцы, рассматриваемого периода.

Отдельная повторяемость инверсий в городах за рассматриваемый период представлена на рисунках 3.2, 3.3, 3.4.

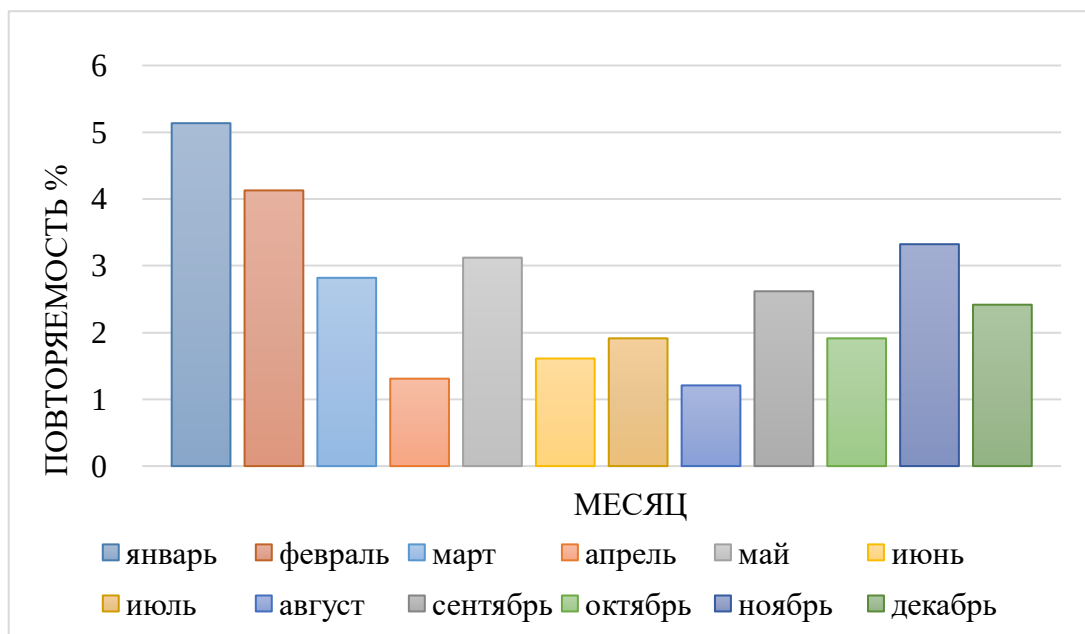


Рисунок 3.2 - График повторяемости инверсий в Мурманске

На графике (Рисунок 3.2) мы видим достаточно стабильный ход в течении года в Мурманске, что может объясняться влиянием орографии. Наибольшее количество инверсий наблюдается в январе 5% и феврале 4%.

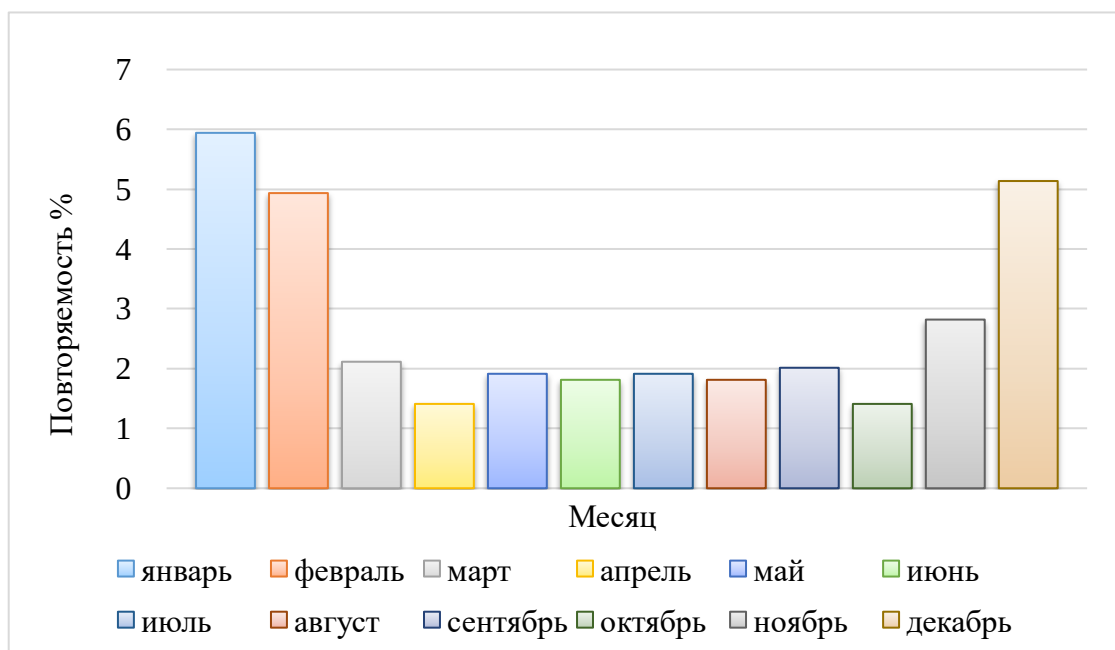


Рисунок 3.3 - График повторяемости инверсий в Кандалакше

Кандалакша находится существенно южнее Мурманска, однако за счёт расположения вдали от Баренцева моря, климат её более континентальный и является переходным от умеренного к субарктическому.

На графике (Рисунок 3.3) в Кандалакше в зимние месяцы наблюдается максимальное количество инверсий: декабрь 5%, январь 6%, февраль 5%. Факторов, влияющих на образования большого количества инверсий именно в зимние месяцы не выявлено.

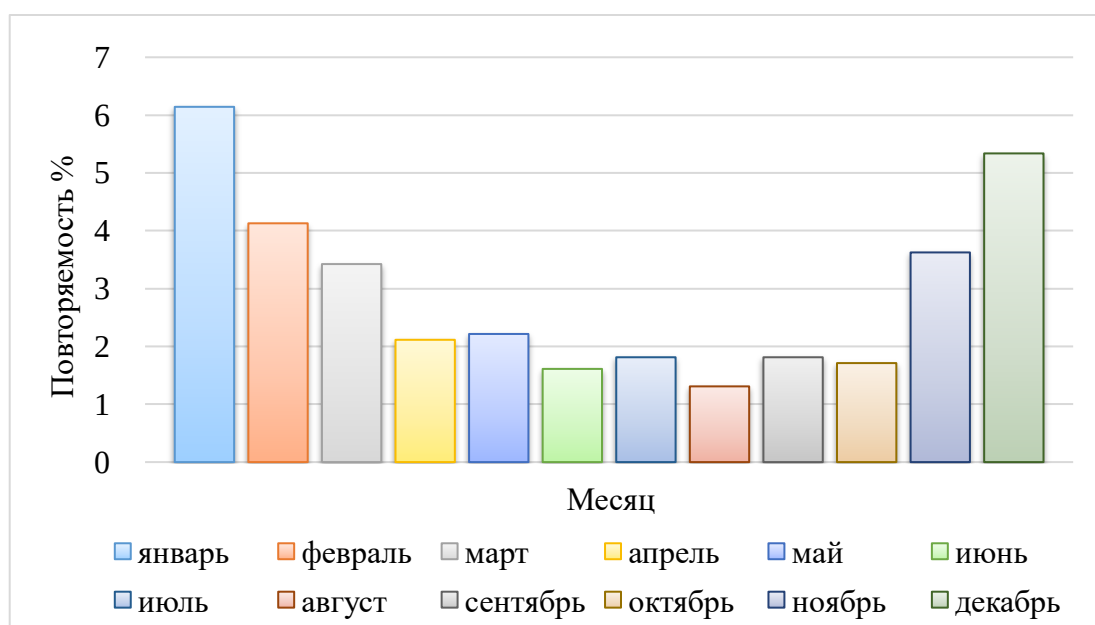


Рисунок 3.4 - График повторяемости инверсий в Нарьян-Маре

Нарьян-Мар, город находящийся немногим севернее Полярного круга, в зоне вечной мерзлоты, с субарктическим климатом, длительной зимой и коротким нежарким летом. Это способствует тому, что не только в зимние месяцы наблюдается большое количество инверсий, но и в весенне-осенний период. Самыми показательными месяцами (Рисунок 3.4) стали: январь 6%, декабрь 5%, февраль 4%, март 3% и ноябрь 4 %.

Проанализировав данные, можно сделать выводы:

1. Инверсий в зимний период наблюдалось 43% от общего числа инверсий за год, тогда как в весенний 20,4 %, летний 13,3% и осенний 21.4% .
2. В Мурманске годовой ход стабильный из-за влияния орографии и антропогенных факторов.
3. В Кандалакше максимальное количество температурных инверсий наблюдалось преимущественно в зимний период.
4. В Нарьян-Маре наибольшее количество температурных инверсий наблюдается не только в зимний период, но и весенне-осенний.

4. ВЫСОТА НИЖНИХ И ВЕРХНИХ ГРАНИЦ И МОЩНОСТИ ИНВЕРСИЙ

Динамика высот нижних и верхних границ приземных, приподнятых инверсий и инверсий в свободной атмосфере в январе и в июле на примере города Кандалакша показаны на рисунках



Рисунок 4.1 - Высота границ приземных инверсий в январе месяце (Кандалакша)

Число случаев с приземными инверсиями, наблюдавшимися в Кандалакше в январе месяце выбранного периода (декабрь 2020 - декабрь 2021 гг.) равно 43 шт.

Нижняя граница приземных инверсий устанавливается высотой аэрологической станции Кандалакши и составляет 12 метров.

Максимальная высота верхней границы приземной инверсии составила 1544 метров. Данная высота обуславливается тем, что в холодное время года происходит соединение приподнятых инверсий с радиационными температурными инверсиями.

Мощность инверсии определяет разница высот между верхней и нижней границей инверсий. Средняя мощность приземных инверсий за январь месяц выбранного периода (декабрь 2020 - декабрь 2021 гг..) равна 586 метров.

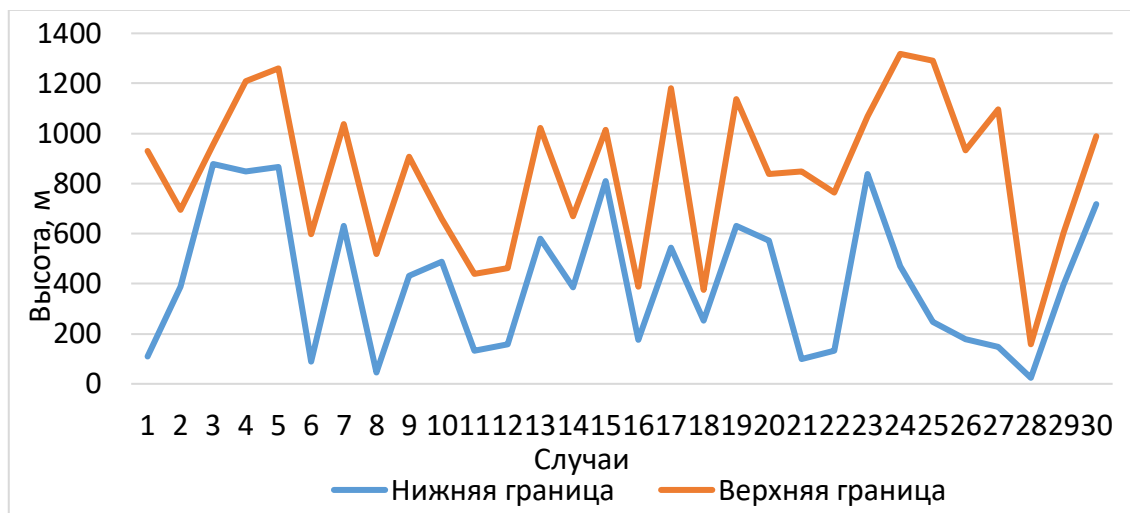


Рисунок 4.2 - Высота границ приподнятых инверсий в январе месяце (Кандалакша)

Число случаев с приподнятыми инверсиями, наблюдавшимися в Кандалакше в январе месяце выбранного периода (декабрь 2020 - декабрь 2021 гг.) равно 30 шт.

Минимальная высота нижней границы приподнятых инверсий равна 24 метрам, а максимальная высота равна 907 метров. В среднем нижняя граница приподнятых инверсий в январе начиналась с 416 метров.

Средняя мощность приподнятых инверсий за месяц январь выбранного периода (декабрь 2020 - декабрь 2021 гг.) меньше приземных инверсий и составила 567 метров.

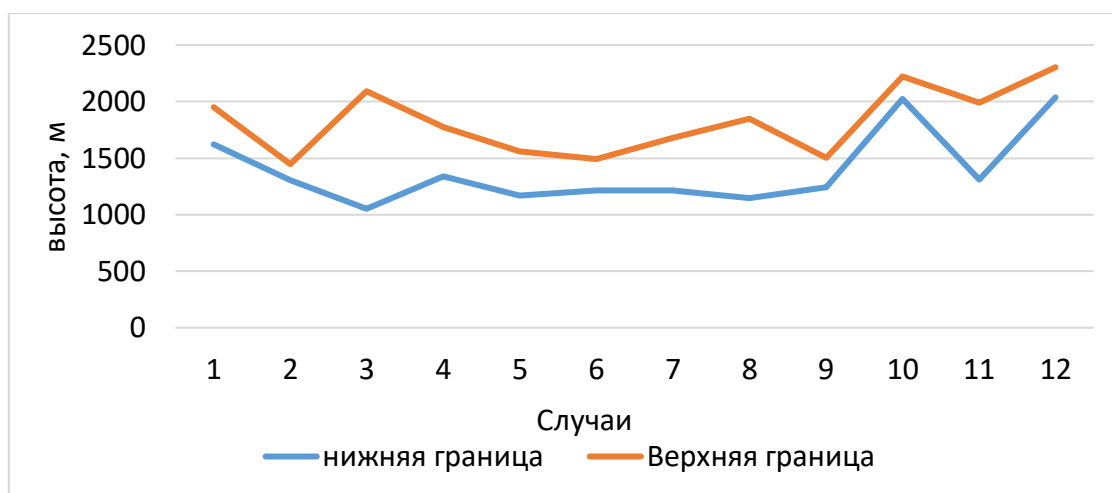


Рисунок 4.3 - Высота границ инверсий свободной атмосферы в январе месяце (Кандалакша)

Число случаев с инверсиями свободной атмосферы, наблюдавшимися в Кандалакше в январе месяце выбранного периода (декабрь 2020 - декабрь 2021 гг.) равно 13 шт.

Максимальная высота нижней границы инверсий свободной атмосферы равно 1052 метра, а минимальная высота 2621 метр. В среднем нижняя граница инверсии свободной атмосферы начиналась с 434 метров.

Средняя мощность инверсий свободной атмосферы за январь месяц выбранного периода (декабрь 2020 - декабрь 2021 гг.) немного больше приподнятых инверсий, но меньше приземных и составляет 574 метра.

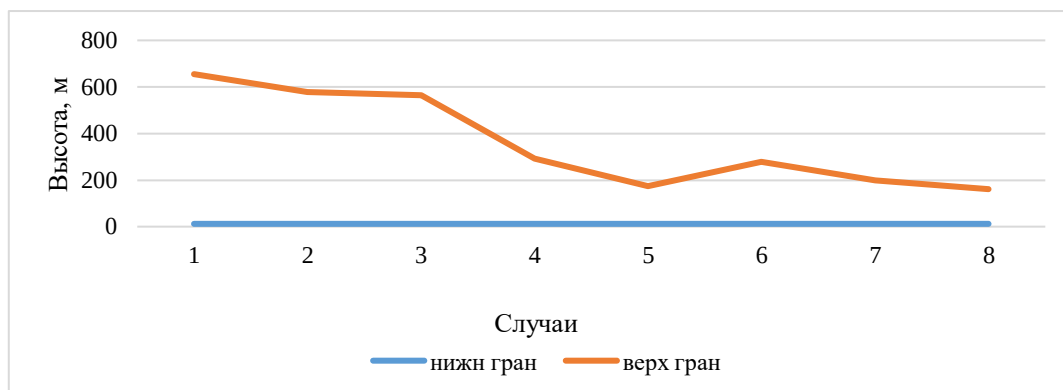


Рисунок 4.4 - Высота границ приземных инверсий в июле месяце (Кандалакша)

Число случаев с приземными инверсиями, наблюдавшимися в Кандалакше в июле месяце выбранного периода (декабрь 2020 - декабрь 2021 гг.) равно 8 шт.

Нижняя граница приземных инверсий устанавливается высотой аэрологической станции Кандалакши и составляет 12 метров.

Максимальная высота верхней границы приземной инверсии составила 643 метра.

Мощность инверсии определяет разница высот между верхней и нижней границей инверсий. Средняя мощность приземных инверсий за июль месяц выбранного периода (декабрь 2020 - декабрь 2021 гг..) равна 324 метра.

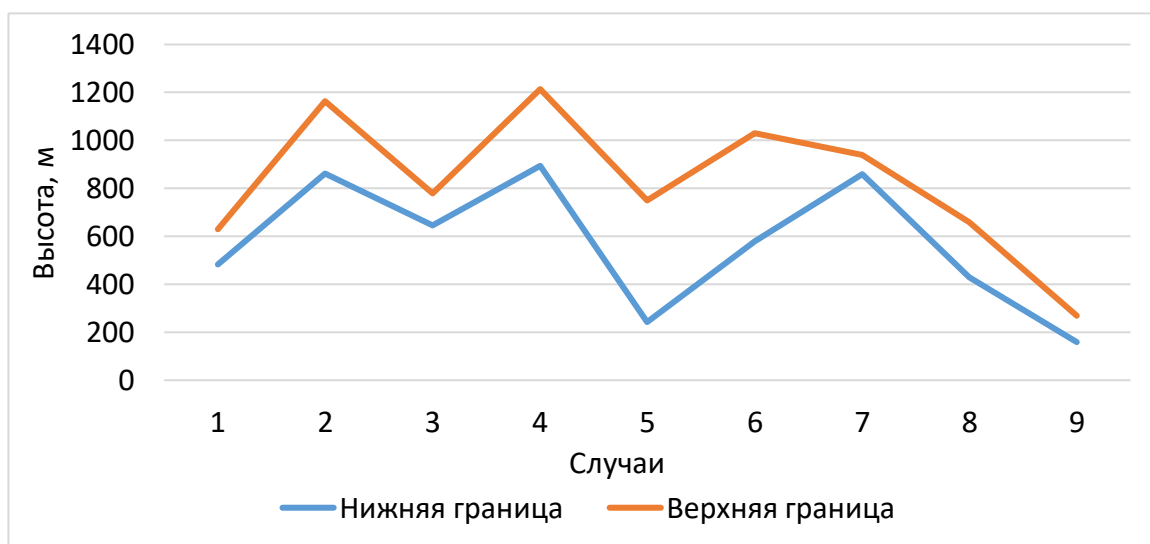


Рисунок 4.5 - Высота границ приподнятых инверсий в июле месяце (Кандалакша)

Число случаев с приподнятыми инверсиями, наблюдавшимися в Кандалакше в июле месяце выбранного периода (декабрь 2020 - декабрь 2021 гг.) равно 9 шт.

Минимальная высота нижней границы приподнятых инверсий равна 529 метрам, а максимальная высота равна 894 метра. В среднем нижняя граница приподнятых инверсий в июле начиналась с 456 метров.

Средняя мощность приподнятых инверсий за июль месяц выбранного периода (декабрь 2020 - декабрь 2021 гг.) немного больше приземных инверсий и составила 325 метров.

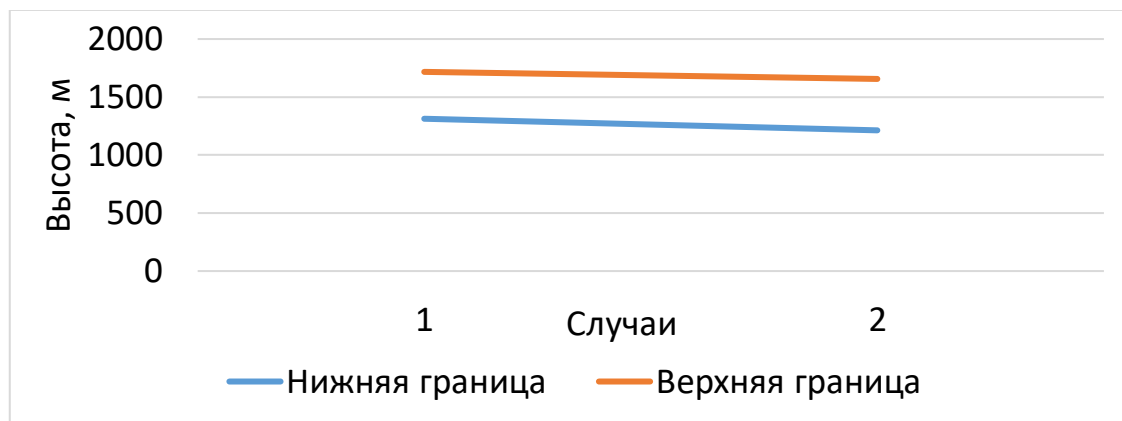


Рисунок 4.6 - Высота границ инверсий свободной атмосферы в июле месяце (Кандалакша)

Число случаев с инверсиями свободной атмосферы, наблюдавшимися в Кандалакше в июле месяце выбранного периода (декабрь 2020 - декабрь 2021 гг.) равно 2 шт.

Максимальная высота нижней границы инверсий свободной атмосферы равно 1213 метров, а минимальная высота 1313 метров. В среднем нижняя граница инверсии свободной атмосферы начиналась с 1263 метров.

Средняя мощность инверсий свободной атмосферы за июль месяц выбранного периода (декабрь 2020 - декабрь 2021 гг.) больше приподнятых и приземных инверсий и составляет 442 метра.

4.1 Интенсивность инверсий

Интенсивность инверсионного слоя определялась как разница температур между высотами верхней и нижней границ инверсии.

На рисунке 3.3.1 и 3.3.2 представлены интенсивность инверсий приземных, приподнятых и инверсий в свободной атмосфере в городе Кандалакша в разные месяцы (январь и июль).

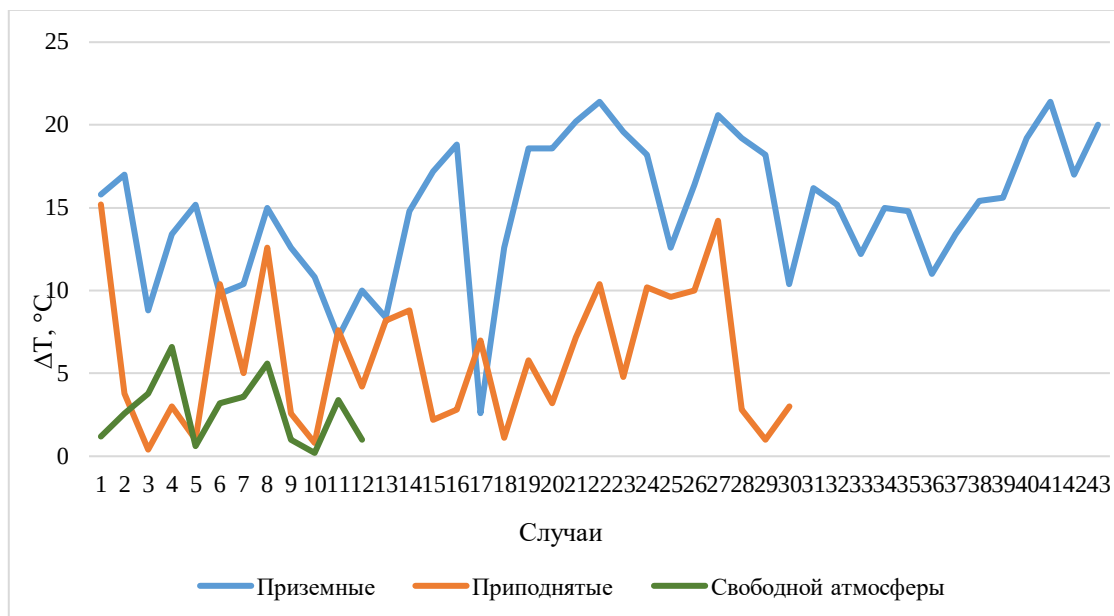


Рисунок 4.1.1 - Интенсивность инверсионного слоя (Январь Кандалакша)

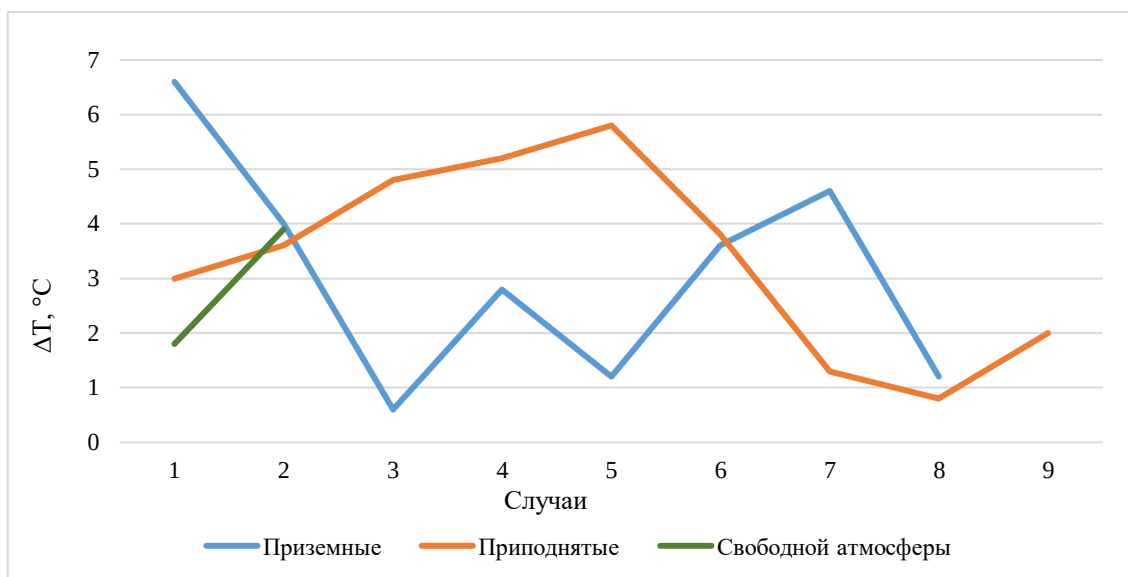


Рисунок 4.1.2 - Интенсивность инверсионного слоя (Июль Кандалакша)

Среднее значение интенсивности приземных инверсий в январе месяце составляет 10 °C, тогда как в июле в среднем интенсивность инверсий составила

3°C. Максимальная интенсивность приземной инверсии в январе наблюдалась 30.01.2021 г. в 00:00 по UTC в передней части циклона и составила 21,4 °C. В июле месяце максимум был 06.07.2021 г. в 00:00 по UTC, в центре антициклона составлял 6,6°C

Среднее значение интенсивности приподнятых инверсий в январе месяце составляет 9,3 °C, тогда как в июле в среднем интенсивность инверсий составила 3,2°C. Максимальная интенсивность приподнятой инверсии в январе наблюдалась 02.01.2021 г. в 00:00 по UTC в гребне антициклона и составила 15,2 °C. В июле месяце максимум был 07.07.2021 г. в 00:00 по UTC, в гребне антициклона составлял 5,8°C

Среднее значение интенсивности инверсий свободной атмосферы в январе месяце составляет 9,5 °C, тогда как в июле в среднем интенсивность инверсий составила 2,9°C. Максимальная интенсивность инверсий свободной атмосферы в январе наблюдалась 06.01.2021 г. в 00:00 по UTC в гребне антициклона и составила 6,6 °C. В июле месяце максимум был 11.07.2021 г. в 12:00 по UTC, на западной периферии антициклона составлял 3,9°C.

Проанализировав данные, можно сделать выводы:

1. Мощность температурных инверсий в январе месяца составила: приземные инверсии 586 метров, приподнятые инверсии 587 метров и инверсии свободной атмосферы 574 метра.

2. Мощность температурных инверсий в июле месяца составила: приземные инверсии 324 метра, приподнятые инверсии 325 метров и инверсии свободной атмосферы 442 метра.

3. Среднее значение интенсивности приземных инверсий в январе месяце составляет 10 °C.

4. Среднее значение интенсивности приподнятых инверсий в январе месяце составляет 9,3 °C.

5. Среднее значение интенсивности инверсий свободной атмосферы в январе месяце составляет 9,5 °C.

6. Среднее значение интенсивности приземных инверсий в июле месяце составляет 3°C

7. Среднее значение интенсивности приподнятых инверсий в июле месяце составляет $3,2^{\circ}\text{C}$.

8. Среднее значение интенсивности инверсий свободной атмосферы в январе месяце составляет $2,9^{\circ}\text{C}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной работы были решены все поставленные задачи, в том числе:

1. Были изучены синоптические ситуации, способствующие образованию инверсий за каждый сезон на территории Арктической зоны РФ;

2. По данным зондирования атмосферы с аэрологических станций Мурманск, Нарьян-Мар и Кандалакша была сформирована база данных, по которым был проведён статистический анализ температурных инверсий за выбранный период;

3. Была изучена повторяемость инверсий за период декабрь 2020 г. - декабрь 2021 г. на исследуемой территории по данным м/с Мурманск, Кандалакша, Нарьян-Мар;

4. Были изучены синоптические ситуации, способствующие образованию инверсий на территории Арктической зоны РФ;

5. Были изучены высоты нижних и верхних границ температурных инверсий, а также мощности и интенсивность инверсионного слоя.

В результате статистического анализа температурных и инверсий в течении рассматриваемого периода декабрь 2020 - декабрь 2021 гг. Можно сделать следующие выводы:

1. Преобладающей синоптической ситуацией на протяжении всего рассматриваемого периода, является гребень антициклона 48%;

2. В зимний и летний период преобладающей синоптической ситуацией, является гребень антициклона 54% и 50% соответственно;

3. В весенний период преобладающей синоптической ситуацией, является гребень антициклона и ложбина циклона 25% и 25% соответственно;

4. В осенний период преобладающей синоптической ситуацией, является центр антициклона 37%;

5. Высокая повторяемость температурной инверсии наблюдалась в зимний период и составила 43% от общего числа наблюдавшихся инверсий за рассматриваемый период (993 случая);
6. Повторяемость температурной инверсии в Мурманске в течении года была примерно одинаковой;
7. Повторяемость температурной инверсии в Кандалакше преобладала в зимний период;
8. Повторяемость температурной инверсии в Нарьян-Маре максимальна зимой, а также поздней осенью и ранней весной;
9. Мощность инверсионных слоёв в январе больше, чем в июле;
10. В январе максимальная мощность инверсионного слоя у приподнятых инверсий;
11. В июле максимальная мощность инверсионного слоя у инверсий в свободной атмосфере;
12. Средние значения интенсивности инверсий в январе примерно в 3 раза превышают июльские показатели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хргиан А.Х. Физика атмосферы - Гидрометеорологическое издательство, 1969 г., 646 стр.
2. Тверской, П. Н. Курс метеорологии. Физика атмосферы / П. Н. Тверской – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 700 с.
3. Дашко Н. А. Курс лекций по синоптической метеорологии, Владивосток: ДВГУ, 2005 — 523 с.
4. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1974 г., 568 стр.
5. Учебные записки № 41 «Влияние температурных инверсий на концентрацию примесей в приземном слое воздуха над Санкт-Петербургом в 2006-2014 гг.»- Электронный ресурс: [<http://www.rshu.ru/university/notes/archive/issue41/uz41-149-155.pdf>]
6. Понятие о влажности воздуха и методах ее измерения. - Электронный ресурс: [<https://poznayka.org/s51096t1.html>].
7. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии. Учебник. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2009.-339 с.
8. Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды. - 2-е изд., стереотипное, - СПб.: БХВ-Петербург, 2010, - 288 с.: ил. - (Учебное пособие).
9. Ахметшина А.С. Инверсии температуры воздуха как фактор, влияющий на уровень загрязнения пограничного слоя атмосферы (на примере г. Томска): Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, 2015. — 210 с. /Дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук. — Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2015. — 210 с. <https://www.twirpx.com/file/2640239/>
10. Прогнозирование возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса и ликвидация последствий аварийных разливов нефтепродуктов в арктических климатических условиях. – Электронный ресурс:

[[http://www.ibrae.ac.ru/docs/4\(24\)_2016_Arctic/090_099_ARCTICA%204\(24\)_2016.pdf](http://www.ibrae.ac.ru/docs/4(24)_2016_Arctic/090_099_ARCTICA%204(24)_2016.pdf)]

11. Министерство природных ресурсов, экологии и рыбного хозяйства Мурманской области- Электронный ресурс: [<https://mpr.gov-murman.ru/documents/official/>]