



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: «Климатические особенности северо-восточного района республики Саха (Якутия)»

Исполнитель Еранцев Алексей Евгеньевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Лаврова Ирина Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»
заведующий кафедрой**

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 13 » июня 2022 г.

Санкт–Петербург
2022

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение..... | 3 |
| Глава 1. Физико-географическое описание района исследования..... | 6 |
| Глава 2. Особенности радиационного баланса на территории северо-восточной Якутии..... | 9 |
| Глава 3. Особенности циркуляции атмосферы на территории Якутии..... | 11 |
| 3.1 Сезонные особенности атмосферной циркуляции | 11 |
| 3.2 Анализ характерных синоптических процессов над Якутией | 15 |
| Глава 4. Исследование климатических особенностей северо-восточного района Якутии | 39 |
| 4.1 Пункты наблюдения и информации..... | 39 |
| 4.2 Исследование термического режима | 41 |
| 4.3 Исследование режима выпадения осадков..... | 52 |
| 4.4 Исследование ветрового режима..... | 57 |
| Заключение | 64 |

Введение

Современные климатические изменения, происходящие в последние десятилетия на нашей планете, и их последствия являются одной из самых серьезных проблем, стоящих перед человечеством.

На данный момент общепризнано, что изменение климата в первую очередь проявляется в быстром повышении средних годовых температур воздуха в разных регионах планеты [3, 14]. Вторым по важности индикатором современного изменения климата, после повышения температуры воздуха, является увеличение количества и интенсивности выпадения осадков [9]. Происходящие изменения вызывают разбалансировку устоявшихся климатических систем, что приводит к возникновению большого количества температурных аномалий, изменению режима выпадения осадков, увеличению количества и частоты опасных явлений погоды.

Анализ данных метеорологических наблюдений показывает, что наиболее быстро процесс климатических изменений происходит в высоких широтах [6, 8, 17], в которых расположена и большая часть территории республики Саха (Якутия). В данном регионе климатические изменения, проявляющиеся в быстром росте средних годовых температур, вызывает множество последствий, имеющих не всегда однозначный эффект. Так, например активное таяние морских льдов в акватории Северного Ледовитого океана, с одной стороны сулит в перспективе большой экономической эффект для страны от увеличения сроков навигации по северному морскому пути. С другой стороны, деградация морских льдов негативно отражается на местных природных экосистемах, приводя к сокращению и изменению ареала обитания многих местных животных и птиц. Повышение средних годовых температур, в совокупности с увеличением количества летних осадков на многих территориях Якутии приводит к процессу деградации

многолетней мерзлоты [18], что в перспективе приведет к негативным последствиям в виде разрушения инфраструктуры региона.

В свете происходящих изменений задача оценки современного состояния климата северо-восточного района Якутии и выявление его особенностей представляется достаточно актуальной. Полученные в рамках исследования данные имеют также и практическое применение: описание циркуляционных процессов и связанных с ними синоптических объектов могут быть использованы в качестве методического материала при подготовке специалистов местных метеорологических станций; полученные результаты расчетов метеорологических параметров могут быть положены в основу климатических характеристик аэродромов в данном регионе.

В рамках исследования были поставлены следующие задачи:

- Изучить физико-географические условия района исследования;
- Рассмотреть особенности радиационного баланса на территории северо-востока Якутии;
- Изучить особенности атмосферной циркуляции в районе исследования.

На основе теоретических исследований и анализа синоптического материала выявить характерные для данного региона циркуляционные объекты, провести их описание и оценить их влияние на погодные условия в районе исследования.

- Провести исследование термического режима, режима выпадения осадков и ветрового режима в северо-восточном районе Якутии.

Теоретическая база исследования состоит из трудов российских авторов в области климатологии и метеорологии. Практическая основа исследования состоит из архивных материалов метеорологических наблюдений на станциях северо-восточной Якутии за период с 1991 по 2020 годы, архиве синоптических карт.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных литературных источников.

В первой главе рассматриваются физико-географические условия местности, во второй главе рассмотрены особенности радиационного баланса в районе исследования. В третьей главе рассмотрены особенности атмосферной циркуляции над Якутией, проанализированы наиболее распространенные формы синоптических объектов. В четвертой главе на основе данных метеорологических наблюдений за период с 1991 по 2020 год проведены исследования термического режима, режима выпадения осадков и ветрового режима северо-восточного района Якутии.

Бакалаврская работа изложена на 61 странице печатного текста, содержит 17 таблиц, 24 рисунка и 20 приложений.

Глава 1. Физико-географическое описание района исследования

Район исследования расположен на северо-востоке республики Саха (Якутия). Республика Якутия – это крупнейший регион Российской Федерации, расположенный в северо-восточной части азиатской территории России [5]. В силу своих размеров (протяженность республики в широтном направлении более 2,5 тысяч километров и в меридиональном – 2 тысячи километров) и географического расположения в средних и высоких широтах Якутия представляет собой уникальное место по разнообразию своих природных и климатических условий.



Рисунок 1 - Карта республики Саха (Якутия) с выделенной областью района исследования

Республика Саха (Якутия) является одной из самых сложных по структуре рельефа частей России [13]. Северо-восточный район Якутии расположен на территории обширной Восточно-Сибирской низменности.

Восточно-Сибирская низменность в целом представляет собой заболоченную равнину, имеющую конусовидную форму, которая постепенно повышается при движении вглубь материка. Остаточными кряжами и долинами крупных рек данный район разделяется на несколько более мелких форм рельефа, самыми значимыми из которых являются Яно-Индибирская низменность к западу от реки Индибирка и Колымская низменность к востоку от нее.

С севера данный район ограничен мелководными Восточно-Сибирским морем и морем Лаптевых. Вдоль побережья этих морей местность преимущественно представлена низменными заболоченными участками. На юге район исследования ограничен хребтом Черского, мощной горной системой, состоящей из нескольких параллельных горных цепей, вытянутых с северо-запада на юго-восток. Данные горные цепи имеют абсолютные высоты до 2600 метров. С востока и запада район исследования ограничен Юкагирским и Алазейским плоскогорьями, которые представляет собой однообразный холмистый рельеф, с преобладающими высотами 200-600 метров над уровнем моря, хотя имеются и отдельные массивы высота которых несколько превышает 1000 метров над уровнем моря.

По всей территории северо-восточной Якутии распространены мощные слои многолетней мерзлоты, мерзлые сцементированные льдом горные породы и рыхлые грунты, имеющие минусовую температуру, образующие криолитозону. Средняя мощность слоя мерзлоты в рассматриваемом районе составляет 300-400 метров. Основной характеристикой многолетнемерзлых грунтов является их термический режим. Он зависит от характера поверхности и влажности почвы, высоты снежного покрова и некоторых других факторов. Над многолетнемерзлыми грунтами располагается деятельный слой грунта, который оттаивает в теплый сезон и промерзает в холодный. Мощность его колеблется от 30 сантиметров в тундровой зоне и до 2 метров в центральных районах [4].

По северо-восточному району Якутии протекает большое количество малых и больших рек, самыми крупными из которых являются реки Колыма

и Алазея впадающие в Восточно-Сибирское море и Индигирка, относящаяся к бассейну моря Лаптевых.

Все реки, протекающие в данном районе, имеют смешанное питание с преобладанием снегового. Гидрологический режим их характеризуется высокими уровнями весеннего половодья, связанного с интенсивным таянием снегов в условиях многолетней мерзлоты, ежегодно повторяющимися небольшими летними и осенними паводками продолжительностью до месяца, и длительной меженью с крайне низкими уровнями воды. Весеннее половодье на реках северо-востока Якутии начинается в середине мая и заканчивается к концу июня. Продолжительность его на большинстве рек составляет 30-50 дней. Характер половодья обычно бурный, при вскрытии рек часто происходят мощные заторы льда, вызывающие значительные подъемы уровня воды. Летние паводки характерны для всех рек, но наиболее часто формируются на горных реках. На таких реках паводки обычно начинаются после спада половодья, следуя один за другим с короткими промежутками, когда происходит бурное таяние снегов, наледей, ледников в горах. Зимой такие реки частично или полностью промерзают до дна, летом же пересыхают или сильно мелеют [12].

Ледостав на реках северо-восточной Якутии длится от 6 до 8 месяцев устанавливается обычно ко второй половине октября. Продолжительная морозная зима способствует образованию мощного ледяного покрова толщиной до 3 метров [12].

Якутия также является регионом с бесчисленным количеством озер и наибольшее сосредоточение больших и малых озер наблюдается именно на северо-востоке республики – в пределах Яно-Индигирской, Среднеиндигирской и Колымской низменностей. Самыми крупными по площади (более 150 квадратных километров) озерами в данном регионе Якутии являются Моготоево, Нерпичье, Большое Морское, Чукочье.

Глава 2. Особенности радиационного баланса на территории северо-восточной Якутии

Радиационный баланс местности является основным фактором, обуславливающим климатические различия между разными регионами планеты и формирующим тепловой режим атмосферы. В первую очередь радиационный баланс местности связан с количеством поступающей к земной поверхности солнечной энергии. Это количество зависит прежде всего от широты места и меняется в течение суток и по временам года в связи с изменением угла падения солнечных лучей [1].

Основной составляющей радиационного баланса является суммарная радиация, которая представляет собой суммарный поток прямой солнечной радиации, поступающей непосредственно от солнца и рассеянной атмосферой радиации. Приход прямой солнечной радиации зависит от широты места и уменьшается при движении с юга на север. В северо-восточном районе Якутии месячный приход прямой солнечной радиации при средних условиях облачности на широте Среднеколымска максимален в июне, когда в этом районе наблюдается полярный день, и достигает 386 мДж/м^2 ; в декабре и январе в данном регионе полярная ночь и прихода прямой солнечной радиации нет. В течение года в данной местности приход прямой солнечной радиации в среднем достигает 1777 мДж/м^2 [10].

Приход рассеянной радиации находится в зависимости не только от высоты Солнца, прозрачности атмосферы и облачности, но и от альбедо подстилающей поверхности. Если альбедо поверхности достаточно велико, то отраженная от подстилающей поверхности радиация будет рассеиваться атмосферой в обратном направлении, что приведет к значительному увеличению притока рассеянной радиации. На северо-востоке Якутии на широте Среднеколымска при средних условиях облачности годовое поступление рассеянной радиации составляет 1612 мДж/м^2 , и имеет хорошо

выраженный годовой ход с максимумом в мае (299 мДж/м^2) и минимумом на пике полярной ночи в декабре (2 мДж/м^2) [10].

В целом годовой приток суммарной радиации в районе исследования составляет 3389 мДж/м^2 на широте Среднеколымска, и увеличивается в южном направлении - в сторону Зырянки, и соответственно уменьшается к северу в районе Черского и Чокурдаха.

Реальный приток приходящей суммарной радиации на северо-востоке Якутии может существенно отличаться от возможного, и во многом зависит от циркуляционных условий (через количество и форму облачности) и от прозрачности атмосферы (через замутненность атмосферы в результате лесных пожаров).

Для северо-восточного района Якутии, как и для всей территории Якутии характерен отрицательный радиационный баланс в периоде с октября по март, что связано с малым приходом в это время суммарной солнечной радиации и высокими значениями эффективного излучения холодной подстилающей поверхности. Так на широте Среднеколымска минимум радиационного баланса приходится на ноябрь, когда он составляет -38 мДж/м^2 , а максимум отмечается в июне и составляет 343 мДж/м^2 [10].

Глава 3. Особенности циркуляции атмосферы на территории Якутии

При формировании климата радиационные факторы являются основными, их действие проявляется напрямую - в нагреве и охлаждении атмосферы и подстилающей поверхности, и косвенно - через атмосферную циркуляцию. Солнечная радиация порождает циркуляцию атмосферы и вызывает формирование различных воздушных течений, с которыми происходит перемещение воздушных масс, имеющих различные параметры тепла и влаги.

Циркуляционные процессы над территорией Якутии определяются общей циркуляцией атмосферы и носят ярко выраженный сезонный характер. Особенности циркуляции, которые имеют место над территорией Якутии оказывают существенное влияние на термический режим местности, распределение по территории осадков, на ветровой режим.

3.1 Сезонные особенности атмосферной циркуляции

В зимний период характерной особенностью циркуляционных процессов над Восточной Сибирью и Дальним Востоком, в том числе и над Якутией, является формирование под воздействием выхоленной поверхности материка на воздушные массы тропосферы высотной термической ложбины. Данная ложбина распространяется от околополярной области холода до 130 меридиана и ориентирована через Якутию на дальневосточные моря. В результате над районами Дальнего Востока располагается передняя и центральная часть термической ложбины, над Забайкальем – ее тыловая часть. Такое положение ложбины благоприятствует антициклогенезу в данном регионе – формированию азиатского (сибирского) антициклона над континентом и развитию алеутского минимума северо-восточнее Японского моря [18].

Барическое поле у земли и в нижней тропосфере в дальневосточном регионе в зимний период представлено мощным азиатским антициклоном с центром над Монголией, отрог которого направлен на Колыму. К северу от Чукотки располагается арктический антициклон, который соединяет антициклоны Сибири и Канады.

Синоптические процессы в начале зимнего сезона, который в данном регионе начинается в октябре, характеризуются усилением азиатского максимума, от которого на Якутию вытягивается гребень высокого давления, ориентированный с юго-запада на северо-восток. В гребне формируются малоподвижные очаги высокого давления, весьма часто гребень обособляется в отдельное самостоятельное Лено-Колымское ядро. Циклоническая деятельность на арктическом и полярном фронтах в этот период достаточно слабо развита. Перемещающиеся вдоль побережья северных морей циклоны оказывают влияние на погодные условия северо-востока Якутии только своими ложбинами.

В середине зимы происходит существенное усиление Лено-Колымского ядра, который при объединении с канадским гребнем формирует широтно-ориентированное поле высокого давления. Возникающие на охотской ветви арктического фронта циклоны смещаются на восток, и только при крайне благоприятных условиях способны выйти на материк и достичь территории северо-восточной Якутии. Повышение температуры в зимний период в северо-восточных районах Якутии возможно при осуществлении восточного процесса, то есть при выносе теплых морских воздушных масс с Охотского моря в северо-западном направлении.

В весенний период начинается постепенное ослабление высотной барической ложбины над Дальним Востоком. Значительные температурные контрасты между Тихим океаном и евразийским континентом сглаживаются, вследствие этого исчезают условия для длительного существования антициклонов. Начинается процесс разрушения азиатского максимума, к маю исчезает и барический гребень над бассейном Колымы.

В этот же период происходит и восстановление зонального переноса, и с запада на восток начинают перемещаться высотные ложбины и гребни, способствующие перемещению в восточном направлении через Якутию циклонов и антициклонов.

Чаще всего активные погодные изменения в весенний период связаны с циклонической деятельностью на арктическом фронте, который располагается над Чукоткой и бассейном Колымы. В тыловой части циклонов, смещающихся с запада вторгается арктический воздух в системе барических гребней. В результате часто образуются антициклоны, быстро смещающиеся с Якутии на юго-восток в Охотское море, где к концу весны формируется охотноморской антициклон.

Весенняя перестройка термобарического поля над Якутией и всем дальневосточным регионом завершается к июню. Над прогретым континентом формируется термический гребень, в средней тропосфере оформляется высотный отрог, ориентированный с северо-восточных районов Китая на восточные районы Якутии. В отдельные годы он распространяется на всю территорию республики. По обе стороны от отрога формируются сибирская и дальневосточная ложбины.

Важной особенностью циркуляции атмосферы летом над Якутией является возможность блокирования зонального переноса, которая возникает при наличии над Дальним Востоком устойчивого барического гребня. В результате происходит разделение полярной высотной фронтальной зоны. Одна ее ветвь огибает гребень с севера, вторая широтно-ориентированная проходит вдоль 45° с.ш. В результате одни из западных циклонов выходят на Якутию, другие перемещаются в район Амурской области.

Активные синоптические процессы в теплый период года в Якутии связаны с деятельностью на арктическом фронте, с которой связано образование и регенерирование западных и северных циклонов. Смещаясь на восток эти циклоны, обеспечивают вынос в своей передней части хорошо прогретого воздуха на северо-восточные районы Якутии. Перемещение на

северо-восток Якутии тыловой части этих циклонов, обеспечивает мощную адвекцию в данный район холодного арктического воздуха. В результате устойчивого выноса арктического воздуха в этот район в летние месяцы температура воздуха у земли может опускаться до слабоположительных значений, а на высотах до отрицательных значений, в итоге даже в летний период возможно выпадение осадков в твердой форме (в виде снега или снежной крупы).

Сухая и жаркая погода над республикой, в том числе и над ее северо-восточной частью, устанавливается, когда над Якутией располагается обширный гребень или высокий антициклон, по западной периферии которого происходит вынос сухой теплой воздушной массы с Казахстана через Сибирь. Приземное барическое поле в такой ситуации чаще всего представлено мало-градиентным полем повышенного давления.

В конце лета – начале осени воздух над северными районами Евразии начинает интенсивно охлаждаться, меридиональные вторжения арктического воздуха в умеренные широты также приобретают более частый и продолжительный характер. С уменьшением светового дня и солнечной инсоляции процесс охлаждения материка становится все более быстрым. Начинается процесс перестройки термобарического поля с летнего на зимний режим. Над Сибирью и Тихим океаном развиваются крупномасштабные высотные гребни, на востоке Евразии формируется высотная тропосферная ложбина. Зона циклогенеза в этот период над континентом затухает и усиливается над Охотским и Беринговым морями, где располагается арктический фронт.

Усиливающееся с каждым днем радиационное выхолаживание подстилающей поверхности и прилегающего к ней воздуха, интенсивная адвекция холодного воздуха способствуют формированию в данном регионе антициклонического характера погоды, начинается формирование азиатского максимума. Далее происходит распространение на северо-запад отрога антициклона. Постепенно в Якутии устанавливается зимний режим погоды.

3.2 Анализ характерных синоптических процессов над Якутией

Проведенный в процессе исследования анализ архивного синоптического материала позволил выявить ряд синоптических объектов, оказывающих существенное влияние на погодные условия северо-восточной Якутии, и формирование климата в исследуемом районе.

В первую очередь к таким объектам относится азиатский антициклон, являющийся сезонным барическим образованием и при распространении своего отрога на Якутию, способствующий сохранению в этом регионе длительных сильных морозов. Также в ходе изучения синоптического материала определено, что важную роль на погодные условия северо-востока Якутии оказывает «восточный процесс» – вынос в район исследования теплых морских воздушных масс с Дальнего Востока, что в ряде случаев приводит в районе исследования к аномальному повышению температуры в зимний период. Также важное влияние на погоду исследуемого региона оказывают циклоны, в теплый период года возникающие или регенерирующие на арктическом фронте.

Рассмотрим более подробно вопрос формирования перечисленных синоптических объектов, проанализируем их структуру и характер влияния на погодные условия северо-восточной Якутии.

Азиатский антициклон или сибирский максимум, являясь одним из основных сезонных центров действия атмосферы, представляет собой мощный циркуляционный и синоптический объект, определяющий погодные и климатические условия в холодный период года не только на территории Якутии, но и практически на всем евразийском материке, а в отдельные годы и далеко за его пределами. Центральная часть азиатского антициклона располагается в границах от 30° до 79° северной широты и от 30° до 143° восточной долготы. Число замкнутых изобар в антициклоне колеблется от 1 до 7, и в среднем составляет 3 изобары [11]. Учитывая колоссальные размеры данного антициклона, в нем можно выделить три центра: Якутский,

Монгольский и Западносибирский. Некоторыми исследованиями установлено, что наиболее высокое давление в центре азиатского антициклона отмечается, когда этот центр находится на территории Монголии, а при расположении центра над территорией Якутии в нем наблюдаются наиболее низкие температуры [11].

Исследования, проведенные В.Л. Архангельским показали, что существует ряд циркуляционных процессов, участвующих в формировании и эволюции азиатского антициклона: северо-западные вторжения, влияние отрогов Азорского антициклона, северо-восточные (иногда северные) вторжения, усиление азиатского антициклона под влиянием орографии [2].

Рассмотрим более подробно влияние вышеперечисленных факторов на формирование и эволюцию азиатского антициклона, и в завершение проанализируем на основе архивного синоптического материала, какое влияние оказывает данный антициклон на погодные условия северо-восточной части Якутии.

В начале осени основной арктический фронт в Арктике находится на юге Карского моря, полуострова Таймыр, южной части моря Лаптевых и далее протягивается на восток вдоль побережья северного ледовитого океана. В результате циклонической деятельности на этом фронте тыловые вторжения в виде арктических антициклонов перемещаются на территорию Восточной Сибири. На данной территории проникший арктический воздух поначалу существует в виде локальных ядер высокого давления. С уменьшением продолжительности светового дня и увеличением ночи все медленнее происходит прогрев и трансформация воздушных масс и все более длительными становится период существования антициклонических центров. К середине осеннего сезона, когда ночное радиационное выхолаживание становится все более и более интенсивным, периоды между поступлением на юг Восточной Сибири ядер высокого давления становятся существенно меньше периодов, в которые происходит разрушение ранее пришедших ядер. В результате начинает создаваться устойчивая область повышенного

давления, центр которой поначалу располагается над югом Забайкалья, и позднее распространяется на территорию Монголии. Затем, с продолжением роста давления в возникшем образовании, от этого центра начинают расти отроги: один распространяется на восток Китая, второй в район Казахстана и на низовья Волги, и третий распространяется на бассейн реки Алдан и восточную часть Якутии.

Далее отрог азиатского максимума, распространявшийся в западном направлении, встречается в районе нижнего течения Волги и бассейна Урала с отрогом Азорского антициклона, который дотягивается в этот район с западного направления. В данном районе две встретившиеся системы сливаются, что приводит к усилению отрога азиатского антициклона. Процесс усиления отрога азиатского антициклона может происходить в течение всего зимнего периода года, и очень часто данный отрог становится высоким барическим образованием.

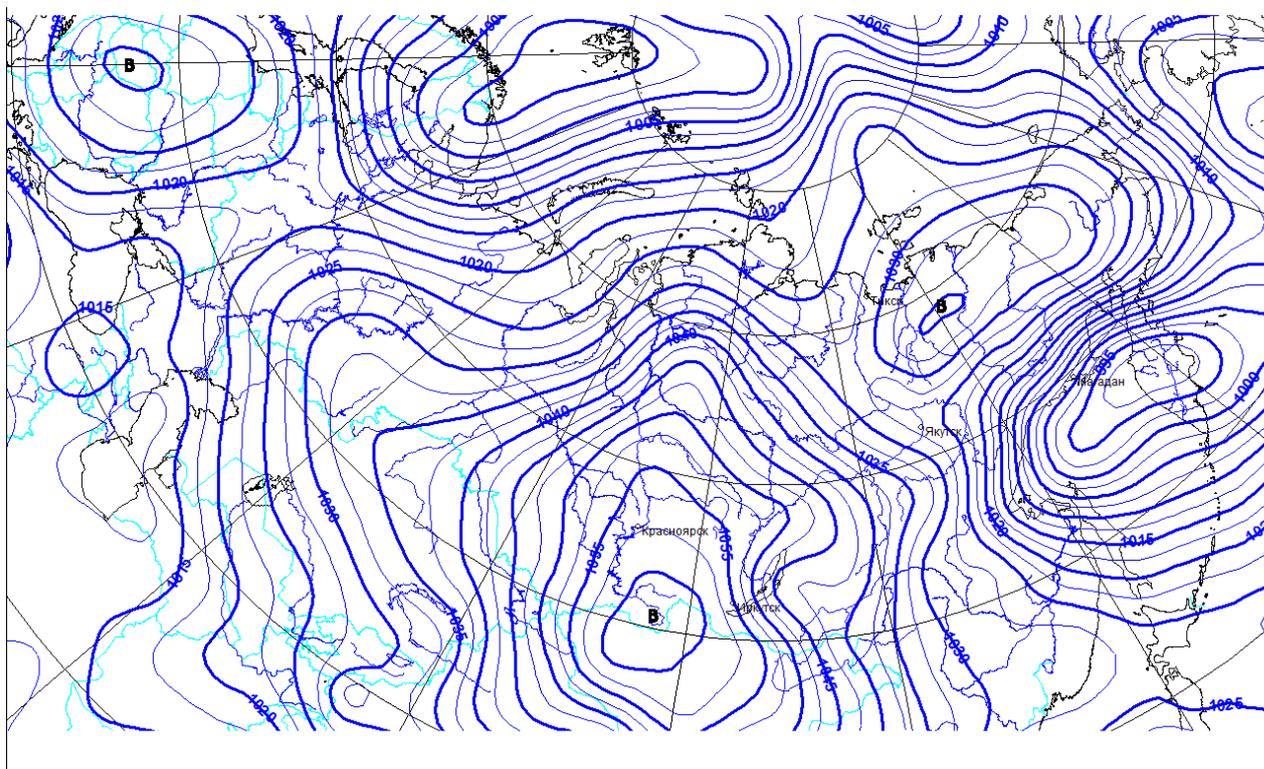


Рисунок 2 - Азиатский антициклон над Восточной Евразией

На другом конце евразийского материка в декабре формируется еще один источник подпитки для существования азиатского антициклона. Над районом Восточно-Сибирского моря и Чукотским полуостровом часто

происходят так называемые «прорывы» арктического фронта, и проникший арктический воздух оформляется в самостоятельные ядра высокого давления. Далее, возникшие антициклоны начинают смещаться на восточные районы Якутии и Забайкалье, где происходит их объединение с северо-восточным отрогом монгольского центра.

Огромное влияние на зарождение и последующее сохранение сибирского максимума в зимний период оказывают орографические условия региона. Наличие в регионе большого количества межгорных замкнутых котловин, изрезанных узких горных долин и других отрицательных форм рельефа приводит к накоплению и последующему застаиванию в них холодного воздуха, при этом интенсивно происходит процесс радиационного выхолаживания, что еще сильнее снижает температуры. Наглядным подтверждением этому является якутский поселок Оймякон, расположенный в замкнутой котловине, которая окружена относительно высокими хребтами. В данной местности воздух стекает в котловину, где при постоянной антициклональной безветренной погоде застаивается и в условиях отсутствующего прогрева днем и интенсивного выхолаживания ночью температура этого воздуха все более и более понижается.

Сохранение в течение холодного периода над восточной Евразией азиатского максимума давления приводит к ослаблению, а чаще всего полному прекращению зонального переноса, в результате чего на территорию Якутии прекращается выход западных циклонов, что еще более усиливает суровость зимнего сезона в Якутии. Прекращение зонального переноса под влиянием азиатского антициклона носит название блокирующей ситуации, и возникает она при формировании так называемого Уральского высотного гребня над Западной Сибирью. Процесс блокирования зонального переноса в среднем продолжается от 11 дней в ноябре-феврале и до 4 дней в марте [7].

Начало ослабления и последующей деградации азиатского максимума осуществляется в результате протекания нескольких процессов. Смещение в

район Таймырского полуострова интенсивного циклона приводит к разрушению северной части высотного гребня над Сибирью и ослаблению адвекции тепла в западной части этого гребня. Далее, с европейской части России на Западную Сибирь происходит выход нового циклона. В итоге над Западной Сибирью, в районе бассейна реки Енисей, формируется высотная фронтальная зона с областью расходимости и уменьшения циклонической кривизны изогипс. Все это приводит к смещению высокого гребня в восточном направлении. В этот же период условия, способствующие антициклогенезу над центральной Сибирью исчезают и антициклон у поверхности земли ослабевая уходит в район Монголии и Китая. В результате происходит восстановление зональных циркуляционных процессов над Сибирью, которое сопровождается прохождением западных циклонов на территорию Якутии.

Еще один процесс, способствующий деградации азиатского максимума, при этом он может протекать в любой месяц холодного периода, и вызывать временное ослабление антициклона, это процесс выхода высокого циклона через акваторию северного ледовитого океана по северо-западным потокам на территорию Якутии.

Чаще всего такой процесс начинается с выхода интенсивного циклона в районы нижнего течения рек Енисея или Лены, в результате чего высотный гребень над Сибирью разделяется на две части. Одна часть, восточная, ослабевая смещается к востоку; вторая западная часть гребня сохраняется, и на ее восточной периферии формируется высотная фронтальная зона с северо-западными потоками по которым и перемещаются циклоны. При этом происходит разделение антициклона у земли также на две части: один центр располагается к югу от высотной фронтальной зоны, над Монголией, второй центр сохраняет свое положение северо-восточнее высотной фронтальной зоны – в районе Оймяконского плоскогорья.

Рассмотрим процесс выхода высокого циклона на территорию Якутии более подробно, и оценим какое влияние на погодные условия республики и,

в частности ее северо-восточной части он может оказывать, на примере ситуации, сложившейся на данной территории в декабре 2018 года.

В начале второй декады декабря на территорию большей части восточной Евразии распространяется влияние азиатского антициклона (рис3).

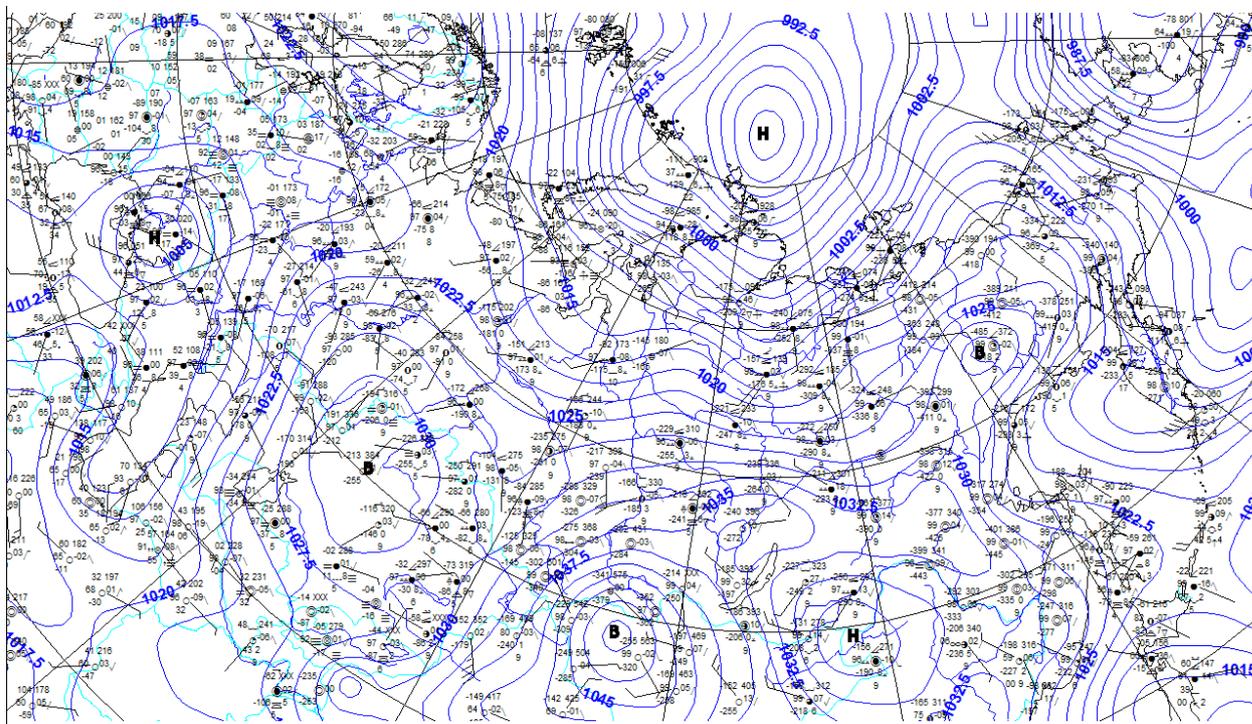


Рисунок 3 - Анализ приземный за срок 00 всв 12.12.2018г

Основной центр антициклона располагается на территории Монголии и имеет максимальное давление в центре 1056 гПа. Второй центр, менее мощный, с максимальным давлением в центре 1038 гПа находится в западной части Казахстана, и от данного центра через европейскую территорию России отходит отрог, который формирует еще одну область высокого давления над Скандинавией. В северо-восточном направлении от Монгольского центра распространяется отрог, охвативший всю территорию Иркутской области, большую часть территории Якутии и достигающий Чукотки. В районе Оймякона этот отрог формирует еще один центр высокого давления с максимумом в 1037 гПа. В районе северного полюса стационарирует циклон с давлением в центре 983 гПа, который медленно углубляясь на арктическом фронте сместился в данный район с территории северной Европы по побережью Северного Ледовитого океана.

В высотном барическом поле центрам антициклона над Монголией и Казахстаном соответствуют небольшие гребни, существующие до изобарической поверхности 700 гПа, таким образом эти центры антициклона являются средними барическими образованиями. В тоже время над отрогом, охватившим территорию Якутии уже начиная с изобарической поверхности 850 гПа находится ложбина, прослеживающаяся на всех вышележащих поверхностях и имеющая центр в районе северного полюса.

В высотном термическом поле на поверхности 850 гПа можно выделить небольшой очаг холода над приземным центром антициклона над Монголией с температурой -20°C , и компактный, но мощный очаг холода над Оймяконом с температурой -37°C . Необходимо отметить, что из-за особенностей рельефа в Оймяконье, данный очаг холода здесь существует практически весь холодный период года, особо не претерпевая существенных изменений (рис 4).

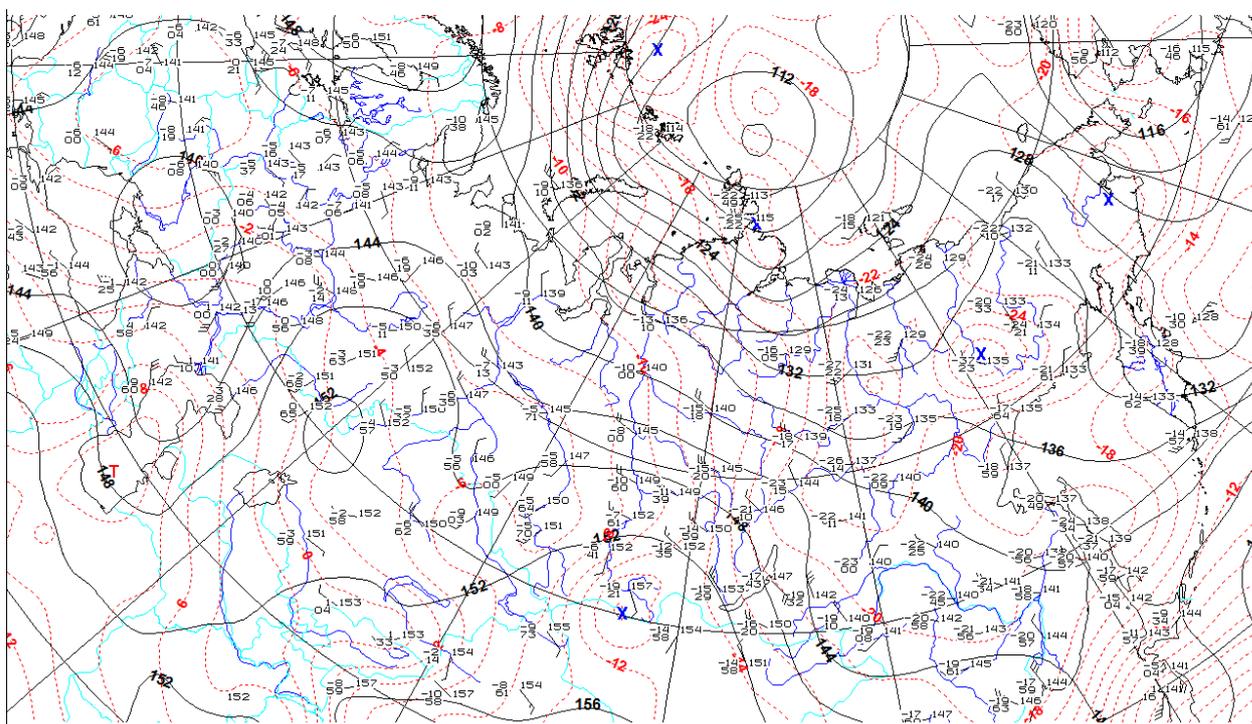


Рисунок 4 - Анализ АТ-850 за срок 00 всв 12.12.2018г

Распространение отрога азиатского максимума на территорию северо-востока Якутии и Чукотку приводит в данном регионе к понижению

приземных температур до минус 37-42 °С на фоне малооблачной и практически безветренной погоды.

В последующие двое суток циклон с околополярного района заполняясь медленно распространяется на континентальную территорию Якутии, и к 16 декабря отделяет Колымо-Индибирское ядро азиатского максимума от основного центра. В результате барическое поле над восточной Евразией претерпевает некоторые изменения (рис 5).

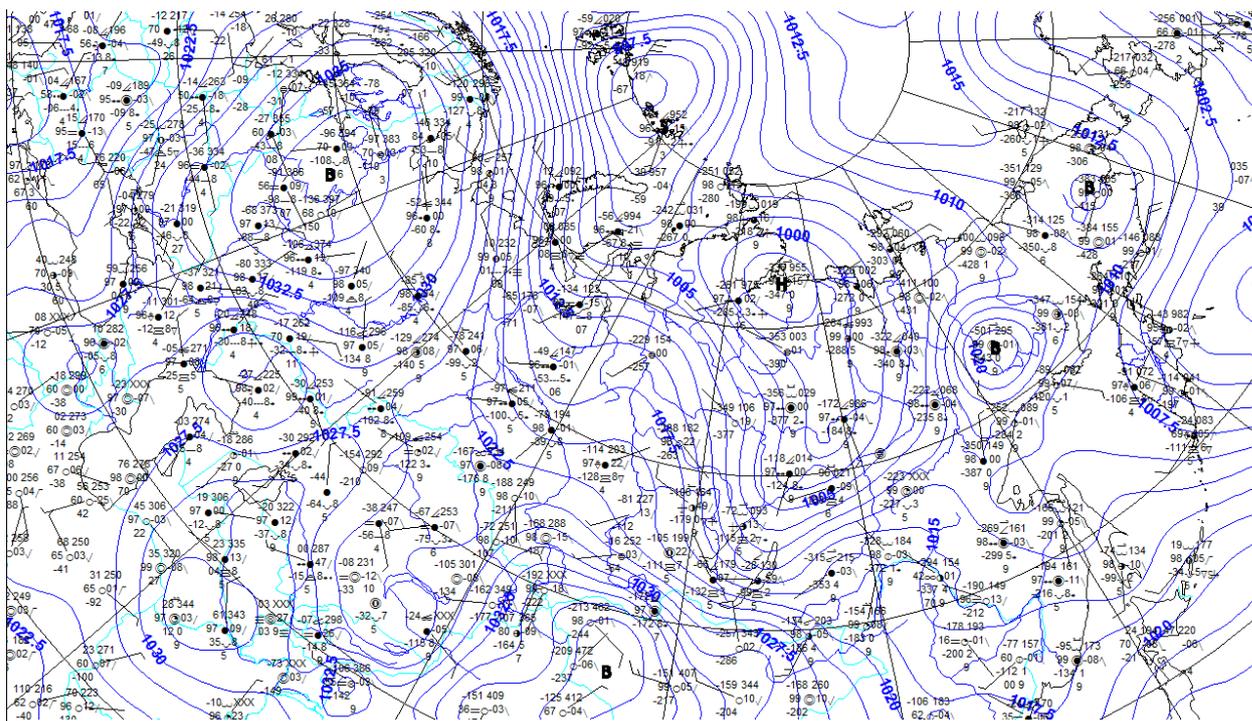


Рисунок 5 - Анализ приземный за срок 00 всв 16.12.2018г

Высокий циклон с приземным центром в 400 км к западу от Тикси, своей ложбиной охватывает практически всю западную часть Якутии. Якутское ядро азиатского антициклона, отделенное от монгольского максимума ложбиной циклона, по-прежнему располагается в районе Оймяконского плоскогорья, при этом давление в нем несколько снизилось и составляет 1030 гПа. Основной центр антициклона, с давлением в центре 1047 гПа, сохраняется на территории Монголии. Сохраняется и несколько ослабевший центр над Казахстаном. В тоже время центр над Скандинавией, получив подпитку холодным арктическим воздухом, пришедшим в тылу циклона, усиливается (давление в центре 1040 гПа) и смещается на европейскую территорию России.

Некоторые изменения претерпевает и высотное термическое поле над Якутией. Очаг холода в районе Оймякона по-прежнему сохраняется. Появляется ложбина холода с температурой минус 27 °С к югу от приземного центра арктического циклона, и совпадающая с его высотным центром (рис 6).

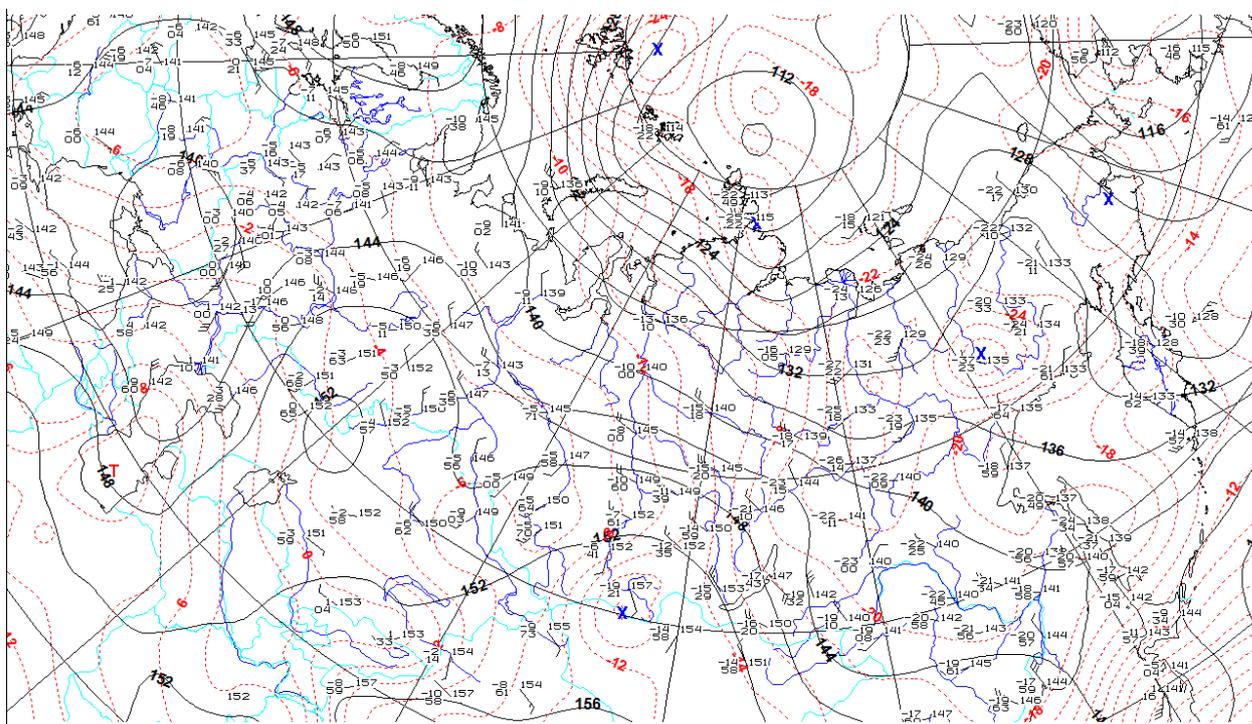


Рисунок 6 - Анализ АТ-850 за срок 00 всв 16.12.2018г

Весьма существенно меняется высотное барическое поле и особенно заметно это проявляется над территорией Якутии (рис 7).

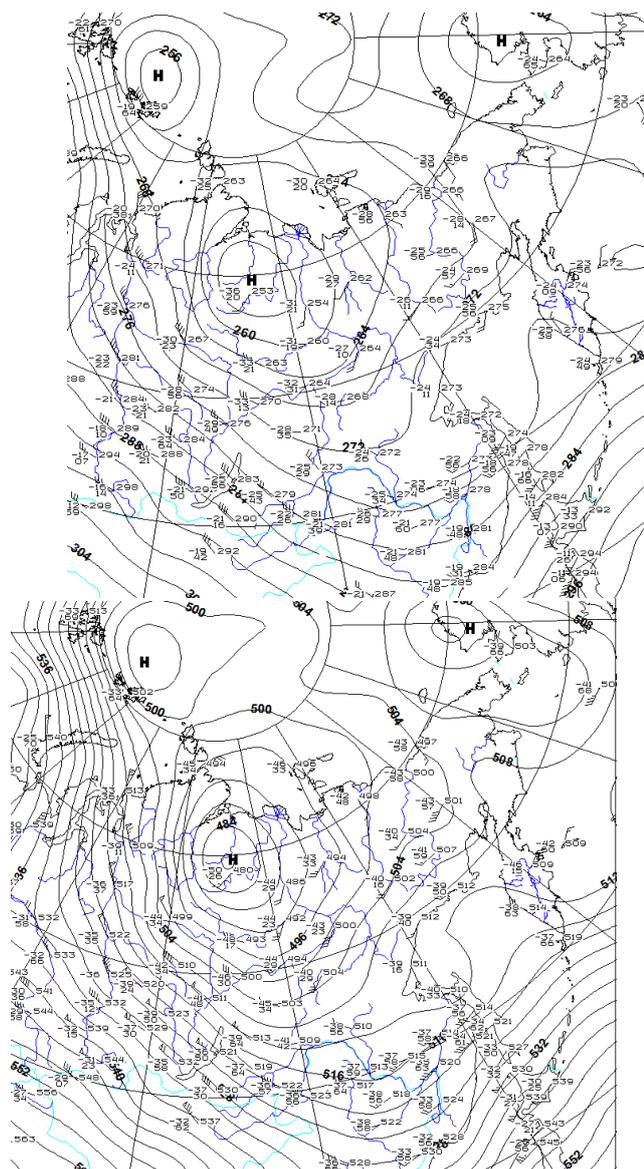


Рисунок 7 - Анализ АТ-700 и АТ-500 за срок 00 всв 16.12.2018г

Над всей республикой располагается глубокая ложбина, распространяющаяся в виде замкнутых изогипс до изобарической поверхности 300 гПа, таким образом пришедший циклон можно действительно отнести к категории высоких циклонов. Высотный центр циклона смещен относительно приземного центра на 400 км и практически совпадает с высотной ложбиной холода. В западной части барической ложбины выделяется высотная фронтальная зона с северо-западными потоками и скоростями ветра на высотах 5-10 км превышающими 100 км/ч.

Выход по северо-западной траектории циклона привел к потеплению по всей западной и частично центральной части Якутии – температура воздуха местами повысилась в два раза, с минус 37-40 °С до минус 17-20 °С.

В тоже время влияния на погодные условия северо-восточной Якутии выход данного циклона не оказал, здесь по-прежнему наблюдается ясная, безветренная погода, при этом температуры даже понизились до минус 40-44 °С.

В последующие сутки циклон над Якутией интенсивно заполнился и у земли будет сохраняться в виде области пониженного давления над западной частью Якутии, с сохранением своей высотной структуры еще несколько дней, а якутский отрог азиатского антициклона вновь соединится с основным центром в Монголии.

В заключение анализа вышеописанной синоптической ситуации можем сделать вывод, что смещение на Якутию по северо-западным потокам циклонов в зимний период оказывает кратковременное влияние на погодные условия западной и центральной Якутии, вызывая в этих районах непродолжительное потепление. На погодные условия северо-восточной Якутии данный циклон влияния практически не оказал. Для данного региона более значимое влияние могло бы оказать продолжение смещения циклона вдоль побережья на восток, что бы циклоническая ложбина распространилась на северо-восток Якутии. Возникновение таких синоптических условий возможно, но в целом бывает не очень часто.

В тоже время смещение циклонов по северо-западным потокам на Якутию весной, особенно серией циклонов, способно в отсутствие интенсивного ночного выхолаживания и увеличивающейся дневной инсоляции привести к необратимому разрушению якутского ядра азиатского максимума.

Восточный процесс. На погодные и как следствие климатические условия северо-восточной Якутии в зимний период свое влияние оказывает не только азиатский максимум, но и деятельность дальневосточных циклонов, и связанный с ними вынос морского влажного и очень теплого воздуха на материк. Зачастую связанные с дальневосточными циклонами воздушные массы распространяют аномальное потепление далеко от места

своего возникновения. Например, в поселке Черский, расположенном на крайнем северо-востоке Якутии, за последние 10 лет в декабре и январе месяцах в результате подобных выносов наблюдались повышения температуры воздуха до 0-4 °С выше нуля, в результате чего были обновлены некоторые зимние максимумы температуры. При этом подобные потепления в данном районе отмечались еще в 19-м веке, о чем имеются свидетельства Ф.Врангеля в его записках о путешествии по северным берегам Сибири.

Зимние выносы морского воздуха на континент, достигающие территории северо-восточной Якутии возникают практически каждый год, чаще всего этот процесс может отмечаться в периоде с начала декабря до февраля-марта. Средняя продолжительность процесса выноса составляет 3-4 дня, и иногда может достигать 10 суток [15]. В большинстве случаев вынос морских воздушных масс имеет локальный характер и ограничивается небольшими территориями, например бассейном рек Колыма или Амур, территорией Чукотки. Но в отдельных случаях процесс выноса приобретает весьма большие масштабы, и затрагивает пространство от Байкала до Камчатского полуострова. При этом при крупномасштабном выносе наблюдается аномальное распределение температур во всей тропосфере и теплые воздушные массы располагаются над всей северо-восточной частью Якутии, Магаданской областью, Чукоткой.

Осуществление выноса морского воздуха на континентальную часть Дальнего Востока происходит после достаточно долгого подготовительного периода, во время которого в атмосфере создаются благоприятные условия для развития ситуации, способствующей возникновению процесса выноса. К таким условиям относятся интенсивные меридиональные процессы, которые охватывают практически все северное полушарие, и во время которых в средней тропосфере зарождаются устойчивые барические гребни над Беринговым морем, Сибирью и востоком Атлантики.

Подготовительный этап начинается с постоянного и мощного проникновения холодного арктического воздуха в южные районы Восточной

Сибири и Дальнего Востока. Проникновение этого холодного воздуха осуществляется по восточной периферии высотного гребня, который стационарирует над восточной частью Казахстана и Западной Сибирью. Из-за устойчивого притока холодного воздуха на юг Дальнего Востока, в сопредельных районах Тихого океана начинается интенсивный циклогенез, и возникающие глубокие циклоны, смещаясь на северо-восток выносят теплый воздух в район Берингова моря.

В это же время происходит и вторжение холодных арктических воздушных масс через Аляску на юг. Осуществляется это вторжение по восточной периферии тихоокеанского тропосферного гребня и в результате заток холодного воздуха приводит к зарождению приземного барического гребня над Беринговым морем и сопредельными территориями. Областью высокого давления Алеутская депрессия разделяется на два независимых очага, и алеутский центр отходит к побережью Северной Америки, где сильно ослабевает под воздействием обширного гребня в своей тыловой части. Одновременно в районе Охотского моря развивается второй циклон характеризующейся более высокой активностью.

Завершением подготовительного этапа выноса является формирование в северной части тихоокеанского высотного гребня над Аляской или Беринговым морем высотного антициклона. Его появление в данном районе связано с мощной адвекцией тепла, наблюдающейся в передней части циклонов в районе Охотского моря.

Процесс самого выноса теплого морского воздуха на континент начинается с перемещения высотного антициклона с территории Аляски на Чукотку. У земной поверхности в это время обычно существуют две области высокого давления, одна из них стационарирует в районе Байкала, а вторая - расположенная над бассейном Колымы медленно перемещается в западном направлении. Вышедший на территорию Чукотки антициклон продолжает двигаться в западном направлении, и в зависимости от интенсивности процесса может достичь центральных районов Якутии, либо выходит только

в район бассейна Колымы, где и останавливается. В итоге такого расположения барических образований на большей части северо-востока азиатского континента формируется зона с восточными тропосферными потоками и осуществляется вынос теплых и влажных морских воздушных масс на континент.

Еще один процесс, приводящий к выносу теплого воздуха на северо-восточную Якутию связан с выходом в исследуемый регион охотских циклонов. Их выход непосредственно связан с вышеописанным процессом восточного переноса, и зачастую является его следствием.

Охотские циклоны, зародившись над тихоокеанскими морями, в том числе и Охотским морем, смещаются по воздушному потоку в северном направлении с более или менее явно выраженной восточной составляющей. В зависимости от конфигурации барического поля и траектории воздушных потоков в средней тропосфере смещение охотских циклонов и оказываемое влияние на погодные условия северо-восточной Якутии бывает различным, при этом в холодный период года влияние на погодные условия очень значимо, и проявляется оно в смягчении климатических условия в данном районе.

Рассмотрим некоторые типичные синоптические ситуации, при которых осуществляется выход охотских циклонов на северо-восточную Якутию:

- 1) Первая ситуация, это когда над восточной Чукоткой располагается высокий антициклон, в северной части Восточно-Сибирского моря находится циклон, при такой структуре барического поля вдоль побережья происходит сильный восточный перенос. В итоге охотский циклон, пришедший в эту часть Якутии с юга, начинает господствующими воздушными потоками быстро смещаться на запад. Вторжение теплой воздушной массы в данный район приносит кроме потепления ухудшение погодные условия в данном районе – сильные осадки, метели, низкую облачность. Именно с таким смещением охотского циклона, когда через северо-восточные районы Якутии

проходит и его передняя теплая часть, часто связаны аномальные потепления [15, 19].

2) В случае второй ситуации над северо-востоком Чукотского моря, в районе Аляски располагается интенсивный циклон, над Якутией располагается антициклон. При такой конфигурации барического поля охотский циклон выходит с южного направления напрямую в район восточной Чукотки, тогда крайние северо-восточные районы Якутии попадают в тыловую часть вышедшего циклона. В этих районах при таких ситуациях наблюдаются относительно несильное потепление, сопровождающееся сильными северо-западными ветрами, снегопадами и метелями [19].

Рассмотрим вторую описанную ситуацию выхода охотского циклона на материк на основе синоптической ситуации, сложившейся в марте 2020 года, и оценим какое влияние охотский циклон оказал на погодные условия северо-восточных районов Якутии.

Смещение данного циклона в рассматриваемый район проходило с Охотского моря через Камчатский полуостров по северо-северо-восточной траектории (рис 8).

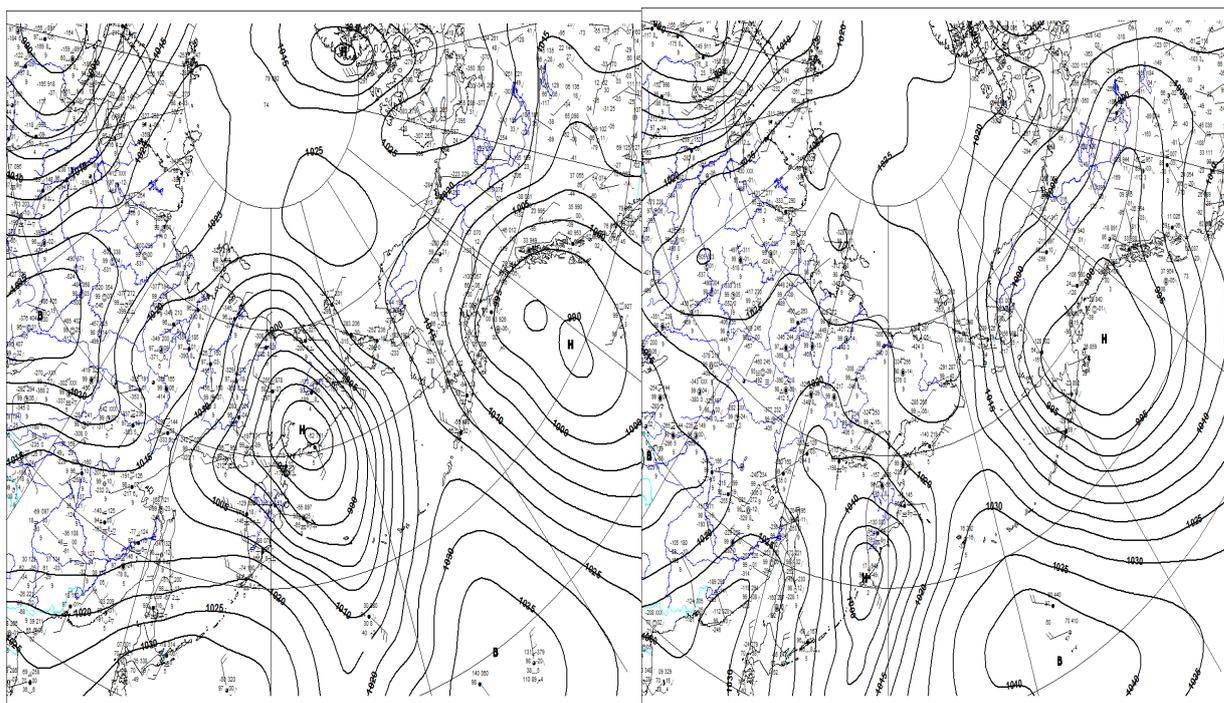


Рисунок 8 (а, б) - Анализ приземный за срок 00 всв 03.03.2022г и 04.03.2021г

В первые сутки смещения циклон у земли прошел 1500 километров, то есть смещался со скоростью более 60 км/ч, при этом происходило его интенсивное углубление – давление в центре упало с 995 гПа до 975 гПа.

В итоге к 4 марта приземный центр циклона оказался в районе населенного пункта Тиличики, а северо-восточные районы Якутии попали под влияние тыловой части циклона.

В последующие сутки скорость циклона упала в два раза, его центр сместился на 760 км и оказался в районе Анадыря, то есть траектория смещения стала более восточной. Над северо-восточными районами Якутии в это время по-прежнему находится тыловая часть циклона, здесь возникли большие барические градиенты (более 5 гПа/100 км), и как следствие сформировалась зона сильных ветров (рис 9а).

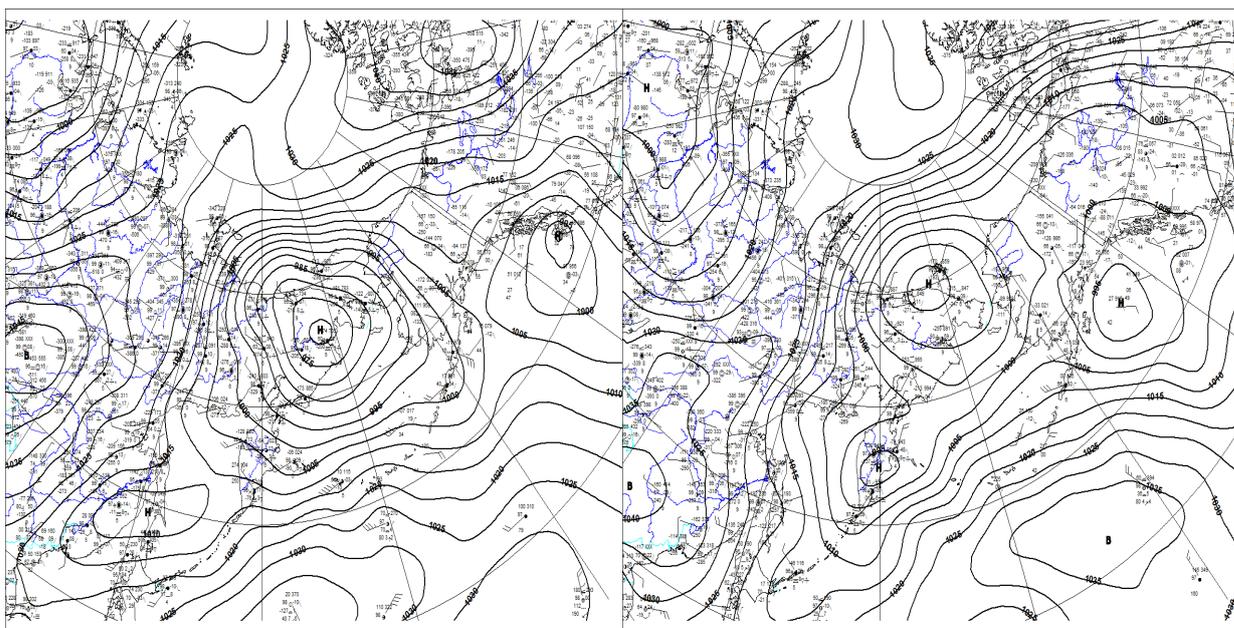


Рисунок 9 (а, б) - Анализ приземный за срок 00 всв 05.03.2022г и 06.03.2021г

В следующие сутки циклон снова изменил траекторию движения и со скоростью 20 км/ч начал смещаться строго на север – в направлении острова Врангель (рис 9б). В последующие дни скорость смещения циклона была небольшой, при этом траектория его смещения приобрела западную составляющую – двигался циклон по акватории северных морей в направлении Новосибирских островов

Термическое поле на высоте изобарической поверхности АТ-850 хорошо выражено в поле температур. В передней части четко прослеживается термический гребень выносящий по высотам теплый воздух на запад, через населенные пункты Черский – Чокурдах. Тыловой части циклона соответствует ложбина холода с минимумом температуры в минус 36 °С (рис 10).

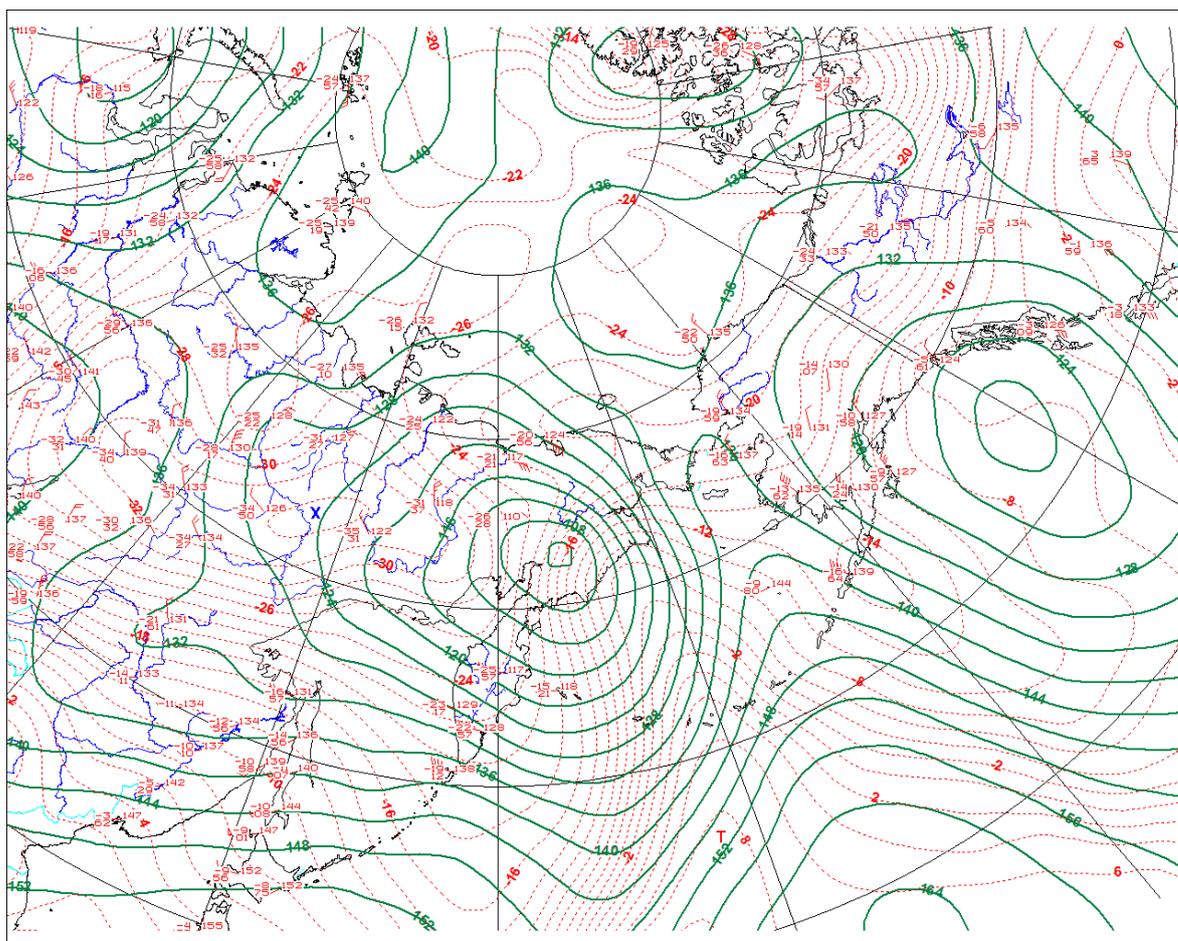


Рисунок 10 - Анализ АТ-850 за срок 00 всв 06.03.2022г

Высотному барическому полю охотского циклона в рассматриваемой ситуации соответствует хорошо развитая высотная ложбина в виде замкнутых изогипс, прослеживающаяся до высоты изобарической поверхности АТ-300, таким образом циклон является высоким барическим образованием. При этом высотная структура барического поля довольно интересна: высотные центры циклона на АТ-850 и АТ-700 располагаются с небольшим опережением от направления смещения приземного центра, а высотный центр на поверхностях 500 и 400 гПа находится к востоку от

приземного на 700 км, и размещается прямо над ложбиной холода поверхности АТ-850 (рис 11 и 12)

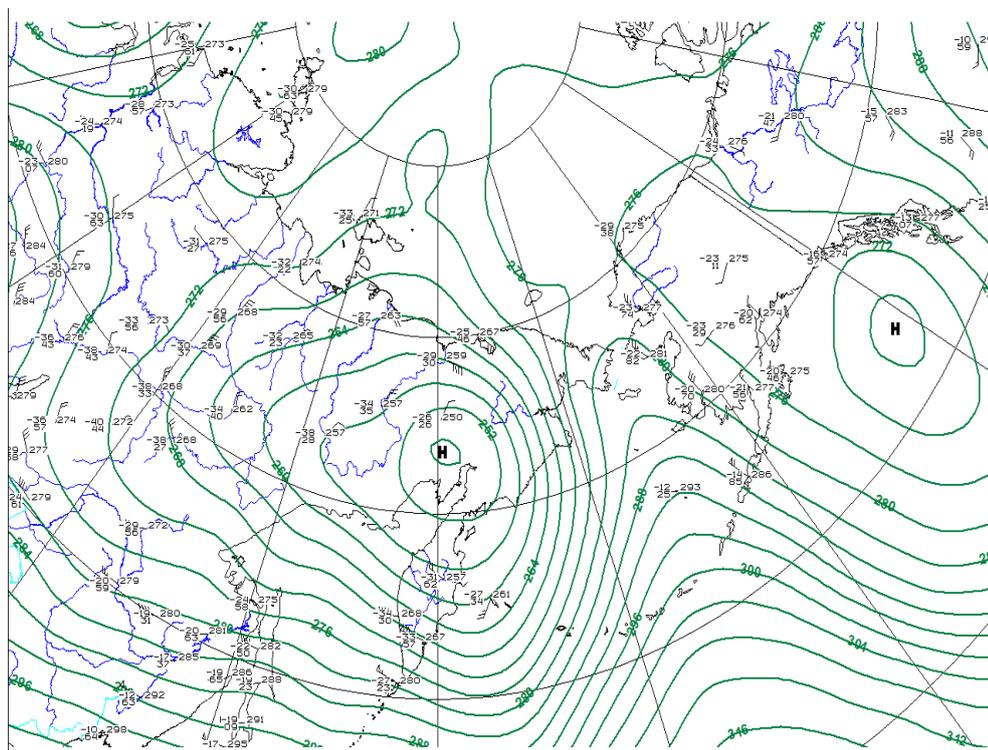


Рисунок 11 - Анализ АТ-700 за срок 00 всв 04.03.2022г

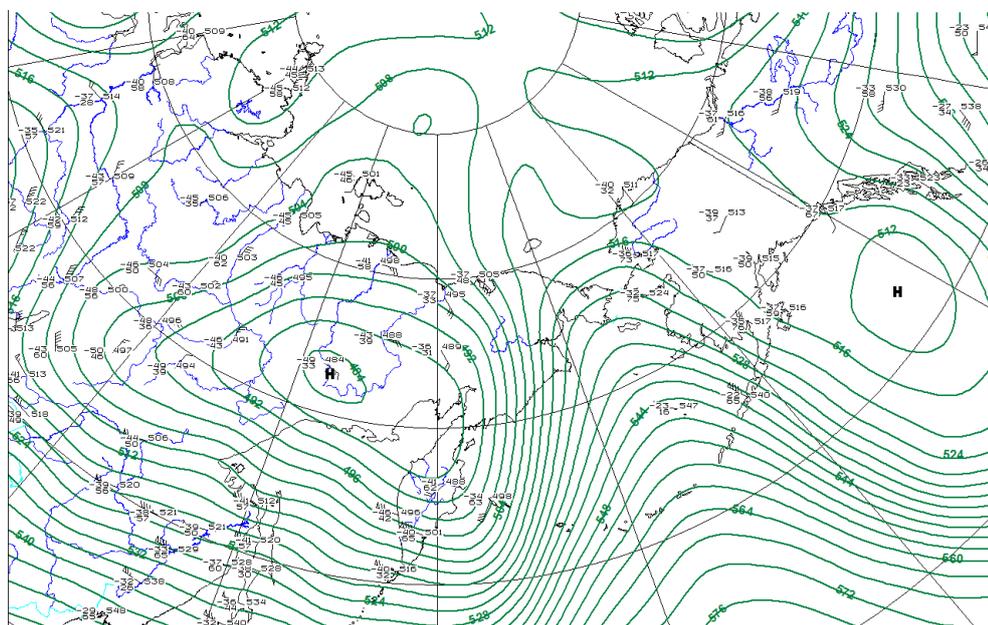


Рисунок 12 – Анализ АТ-500 за срок 00 всв 04.03.2022г

В результате прихода в рассматриваемый район охотского циклона по всем северо-восточным районам Якутии в течение первых суток произошло повышение температуры воздуха на 10-12 °С, которое сохранялось с незначительными колебаниями в последующие дни, пока над данным

районом находился тыл циклона. Увеличение барических градиентов и выпадение интенсивных осадков сформировали по северо-востоку Якутии зону сильной метелевой деятельности, которая продолжалась 2-3 суток. В это же время над всей остальной территорией Якутии по-прежнему господствовал антициклон, с тихой погодой и морозами до минус 35-40 °С.

Циклогенез на арктическом фронте. На режим погоды и как следствие климатические условия северо-восточной Якутии существенное влияние оказывают циклоны, зарождающиеся или регенерирующие на арктическом фронте. В частности, к таким циклонам относятся западные циклоны.

Западные циклоны – это циклоны, смещающиеся через территорию Якутии в восточном направлении. В зависимости от структуры термобарического поля на востоке евразийского материка они могут смещаться на восток с северной или южной составляющей [2, 19]. В случае, если над Чукотской размещается тихоокеанский высотный гребень, его влияние приводит к смещению циклона на северо-восток. В ситуации, когда на территорию Чукотки и сопредельных морей распространяется влияние отрога полярного антициклона, и одновременно над Охотским морем осуществляется циклоническая деятельность западные циклоны смещаются с южной составляющей. В ситуациях, когда над Чукоткой формируется барическая ложбина, а над Чукотским и Восточно-Сибирским морем расположены барические гребни циклоны смещаются в восточном направлении.

Западные циклоны более характерны для теплого периода года, когда они с относительно небольшой скоростью смещаются сериями по 2-4 штуки, с формированием за тыловой частью финального циклона барического гребня. По мере движения над Якутией скорость западных циклонов снижается и при выходе в Яно-Колымский речной бассейн они часто приходят заполнившимися.

С прохождением западных циклонов через северо-восток Якутии в их передней части и в теплом секторе в данный район осуществляется адвекция

сухого теплого воздуха с хорошо прогретой территории центральной Якутии. В тыловой части западных циклонов в тыловой части в район поступает холодный арктический воздух, приносящий резкое похолодание и ненастную погоду.

Проведем анализ условий прохождения западного циклона и его влияние на погодные условия в северо-восточной Якутии на примере синоптической ситуации в начале мае 2021 года. В течение периода с 7 по 9 мая циклон медленно заполняясь, смещался в северо-восточном направлении со средней скоростью 40 км/ч. К синоптическому сроку 00 всв 10 мая территория северо-восточной Якутии оказалась под влиянием циклона.

В приземном барическом поле циклон был разделен на два самостоятельных центра, объединенных общей фронтальной системой. Циклон над северо-востоком Якутии имеет у земли две замкнутые изобары и третью изобару, общую с циклоном, расположенным южнее (рис 13).

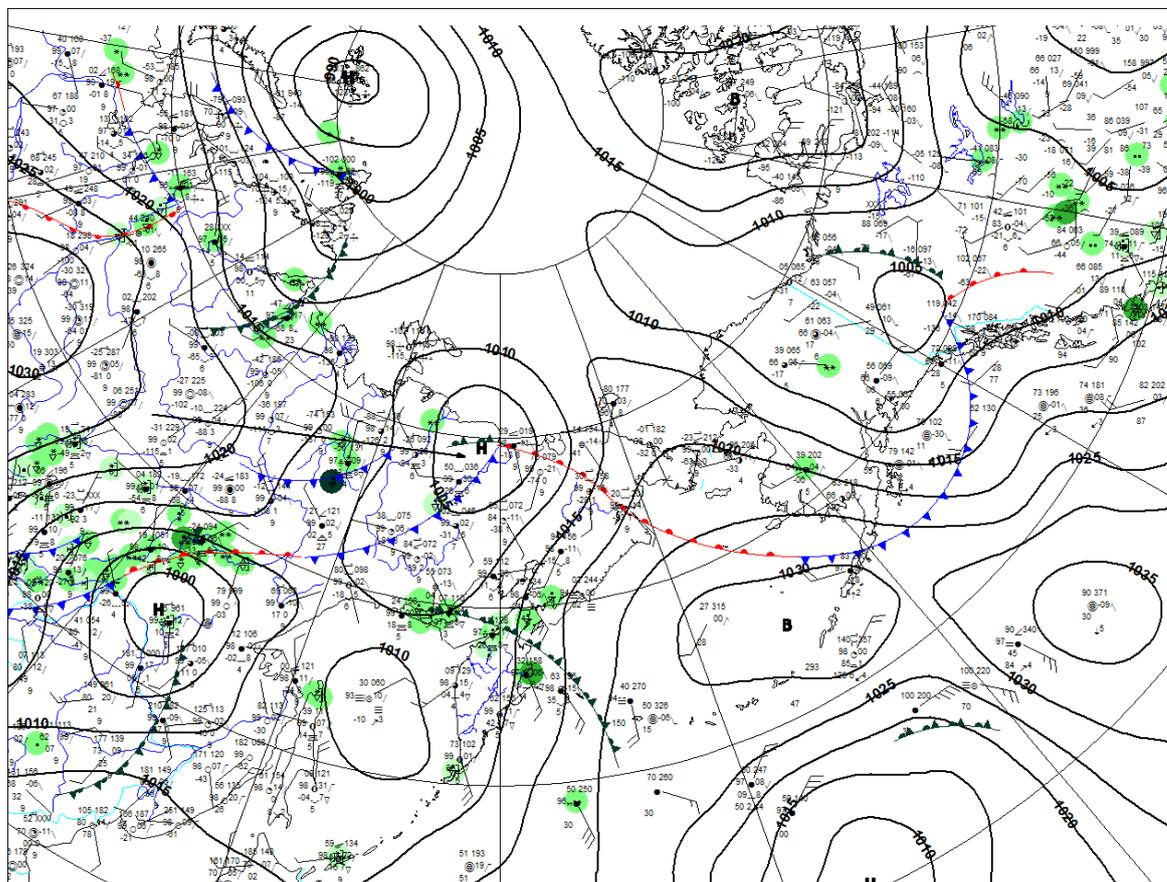


Рисунок 13 – Анализ приземный за срок 00 всв 10.05.2021г

Холодный фронт циклона в описываемый срок проходил по линии населенных пунктов Зырянка – Среднеколымск – Колымское и смещался в восточном направлении со скоростью в пределах 25-30 км/ч. Через поселок Черский в направлении побережья Восточно-Сибирского моря смещался теплый фронт. Западнее Черского в направлении Андрюшкино проходило слияние холодного и теплого фронтов, и формирование слабовыраженного фронта окклюзии.

В термическом поле изобарической поверхности 850 гПа основную фронтальную систему можно провести в районе изотермы $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, также глубоко в тылу циклона в районе изотермы $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ можно выделить вторичный холодный фронт, за которым по линии Жиганск – Тикси находится ложбина холода с минимальной температурой до минус $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис 14).

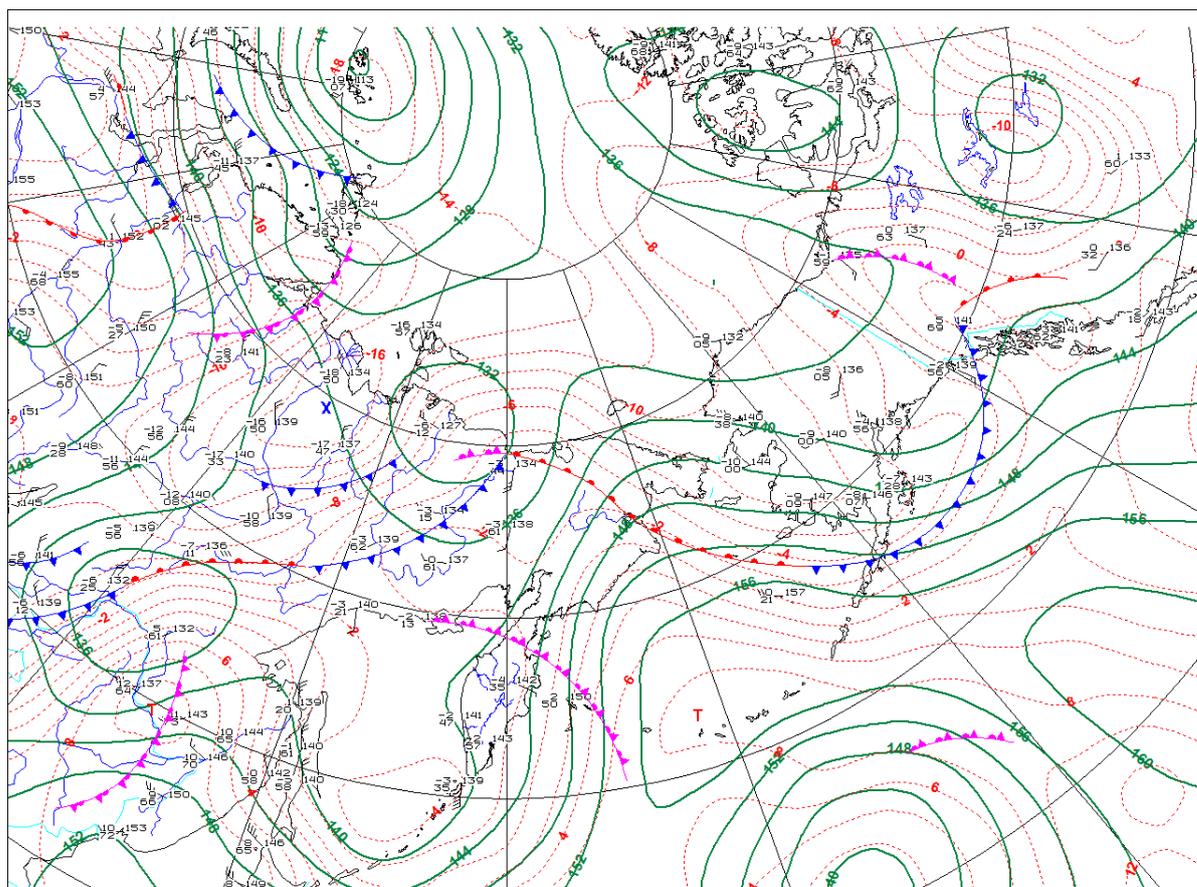


Рисунок 14 - Анализ АТ-850 за срок 00 всв 10.05.2021г

На более высоких уровнях самостоятельного высотного центра, связанного с приземным центром, не наблюдается, таким образом данный

циклон можно считать низким барическим образованием. Начиная с уровня изобарической поверхности 700 гПа над всей территорией Дальнего Востока, как и в зимний период прослеживается тропосферная барическая ложбина с центром в пределах координат 80° с.ш и 54° в.д. На уровне АТ-500 гПа и выше в районе, где находится передняя часть циклона у земли можно выявить высотную фронтальную зону со скоростями ветра выше 100 км/ч.

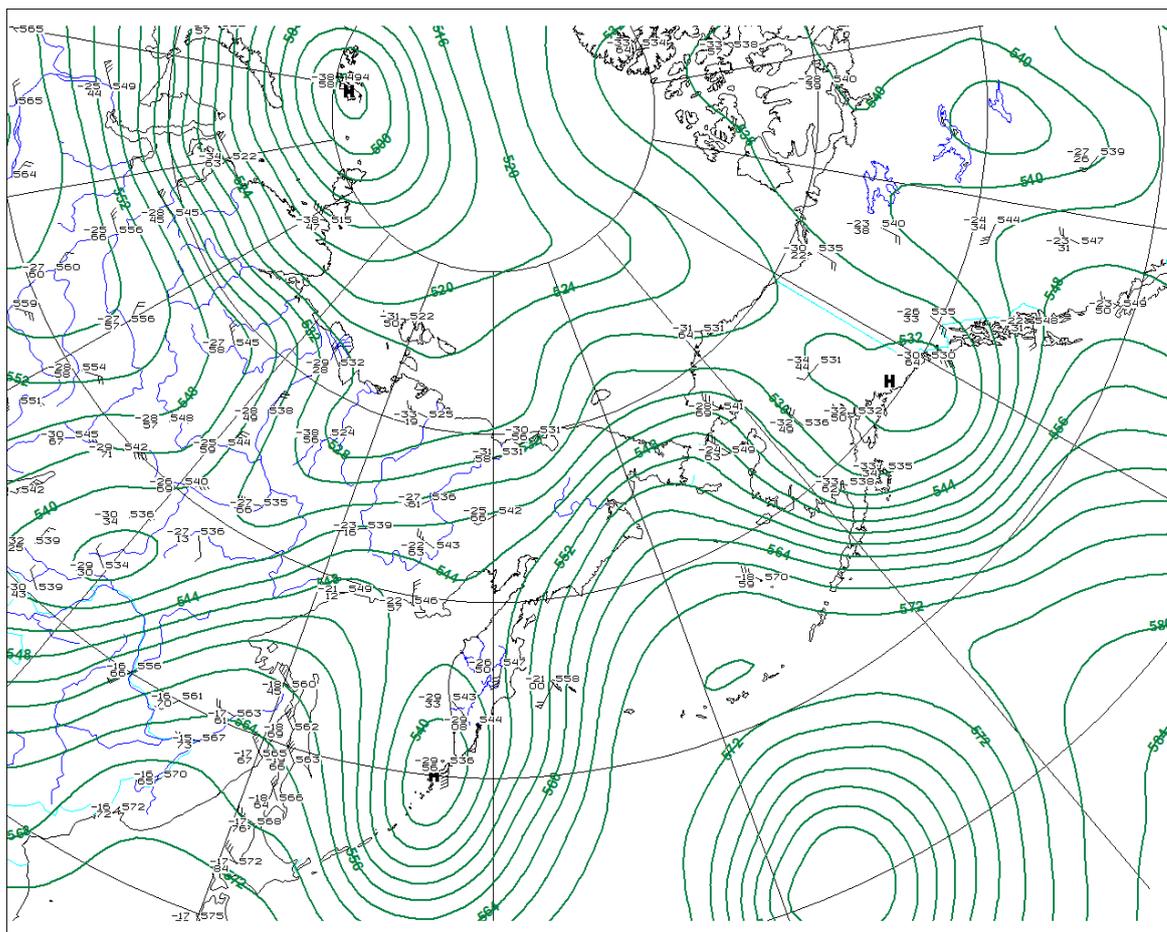
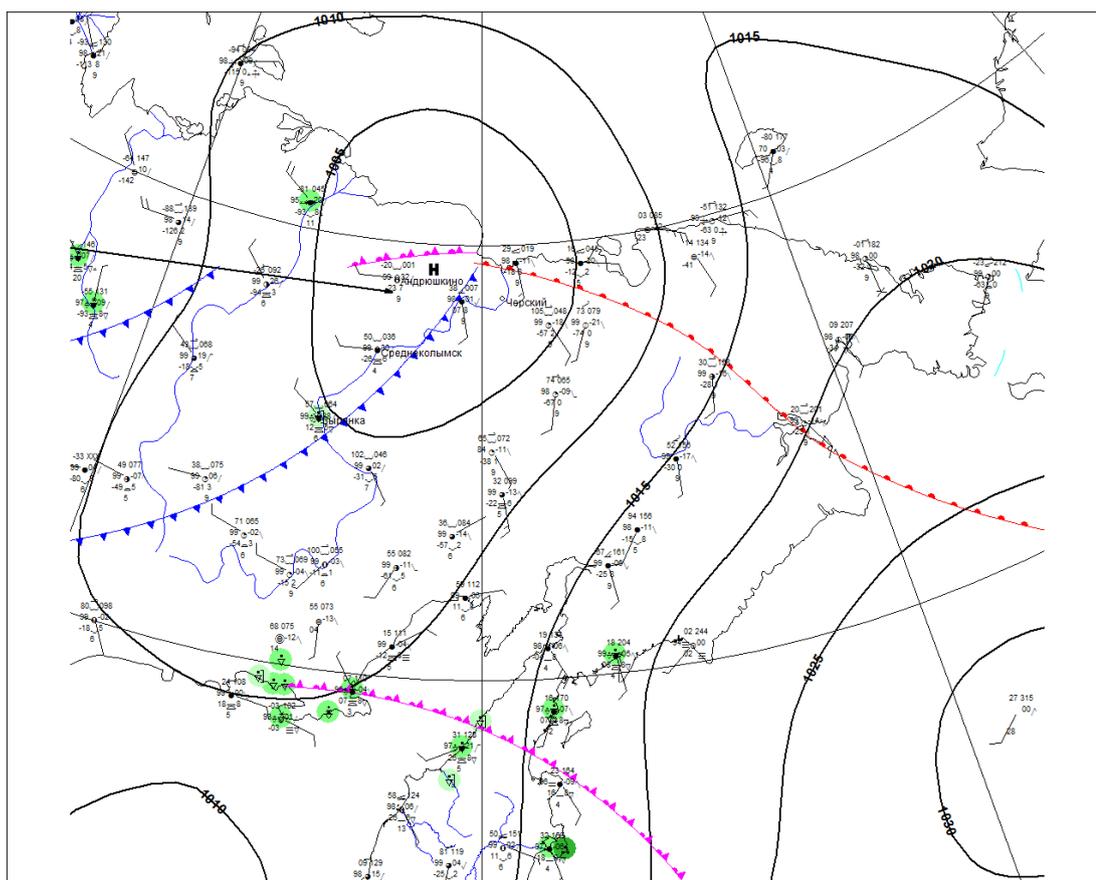


Рисунок 15 - Анализ АТ-500 за срок 00 всв 10.05.2021г

Уже в последующие 15 часов циклон над северо-востоком Якутии полностью заполнился, и прекратил свое существование в виде самостоятельного барического образования.

Рассмотрим какое влияние на погодные условия в рассматриваемом районе оказал циклон. Перед теплым фронтом и в теплом секторе циклона наблюдалось падение давления с максимальным значением в 2,1 гПа за 3 часа позади теплого фронта. Значимой облачности в зоне теплого фронта не развивалось, в целом облака были представлены облачностью среднего и

верхнего яруса в не большом количестве. В теплом секторе отмечались температуры от +6 до +10 °С и ветер южных румбов со скоростью в 5-7 м/сек. Холодный фронт в рассматриваемом циклоне был более ярко выражен. Давление перед холодным фронтом росло несущественно, область максимального роста находилась в тылу циклона и достигала 2,6 гПа за 3 часа. В зоне холодного фронта сформировалась небольшой протяженности облачная система из кучево-дождевой облачности, местами выпадали слабые ливневые осадки. Температура воздуха понижалась от +3 +5 °С в зоне приземной линии холодного фронта до отрицательных значений в тыловой части циклона. После прохождения холодного фронта и по всей тыловой части наблюдается усиление северо-западного ветра до 5-10 м/сек, а ближе к прибрежным районам и свыше 10 м/сек (рис 16).



многих неблагоприятных явлений, таких как штормовые ветра, сильные ливневые осадки, грозы.

Глава 4. Исследование климатических особенностей северо-восточного района Якутии

4.1 Пункты наблюдения и информации

Для анализа климатических условий северо-восточного района Якутии были выбраны суточные архивные данные по 4 метеорологическим станциям в данном регионе. Координаты станций и их высота над уровнем моря представлены в таблице 1. На рисунке 17 представлена схема расположения выбранных станций на территории северо-восточной Якутии.

Таблица 1 - Координаты метеорологических станций северо-восточной Якутии

| название станции | индекс вмо | координаты | высота над ур.м |
|------------------|------------|--------------------------|-----------------|
| Зырянка | 25400 | 65° 73' с.ш 150° 90' в.д | 43 |
| Среднеколымск | 25206 | 67° 45' с.ш 153° 70' в.д | 21 |
| Черский | 25123 | 68° 73' с.ш 161° 30' в.д | 28 |
| Чокурдах | 21946 | 70° 62' с.ш 147° 80' в.д | 61 |



Рисунок 17 – Схема расположения метеостанций северо-восточного района Якутии

Регион, в котором проводятся исследования климатических особенностей, несмотря на большие размеры, в целом освещен данными метеорологических наблюдений слабо, так имеющиеся метеорологические станции расположены в 4 административных районах республики общей площадью почти 400 тысяч квадратных километров.

В изучаемом районе имеющиеся метеорологические станции расположены относительно равномерно, на репрезентативной для своей местности территории. Влиянию на погодные условия различных циркуляционных факторов местность в районе расположения выбранных станций в той или иной степени подвергается в один и тот же период времени. Выбранные станции за последние более чем 30 лет не меняли своего расположения, то есть имеют длительные ряды наблюдений в одной и той же местности. Все выбранные станции расположены при региональных аэропортах, что обеспечивает повышенное качество метеорологических наблюдений и строгий контроль их надежности. Также три из четырех выбранных метеорологических станций являются опорными станциями для исследования климата, и их данные передаются в международные банки климатической информации.

Климат любой местности подвержен естественным периодическим колебаниям, и поэтому при климатических описаниях погодного режима используют 30-летние ряды метеорологических элементов. В настоящее время за действующую климатическую норму принимают осредненные параметры, рассчитанные за период с 1961 по 1990 год. Эта норма считается базовой и используется для анализа долгосрочных изменений климатических условий. Для оперативной оценки климата и его изменений, согласно рекомендации ВМО [17] используются пересчитываемые каждые 10 лет осредненные метеорологические элементы за период в последние 30 лет. Для анализа и описания климатических особенностей северо-восточной Якутии в

данной работе используются архивные данные за период с 1991 по 2020 годы.

4.2 Исследование термического режима

Термический режим местности является одной из важнейших климатических характеристик. Зависит термический режим от радиационных и циркуляционных условий, очень важное значение имеет и географические положение местности и ее орографические условия.

За основные количественные характеристики температурного режима приняты средние многолетние годовые и месячные значения, экстремальные значения температуры, средние значения минимальной и максимальной температур [17].

Первым этапом работы по данным наблюдений метеостанций в районе исследования были вычислены средние месячные и годовые значения температуры воздуха по каждой станции. Результаты расчета представлены в таблицах 2 и 3

Таблица 2 - Данные средних месячных температур воздуха (°С)
за период 1991 – 2020 годы

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-----|-------|-------|-------|
| Зырянка | | | | | | | | | | | |
| -36,1 | -33,2 | -23,5 | -10,3 | 4,2 | 13,9 | 16,3 | 12,2 | 4,6 | -9,4 | -24,9 | -34,2 |
| Среднеколымск | | | | | | | | | | | |
| -35,5 | -33,2 | -24,4 | -11,8 | 2,1 | 12,3 | 14,9 | 11,2 | 3,9 | -9,3 | -24,0 | -33,1 |
| Черский | | | | | | | | | | | |
| -32,0 | -30,6 | -22,1 | -12,3 | 1,0 | 10,9 | 13,2 | 10,1 | 3,5 | -8,5 | -20,8 | -29,8 |
| Чокурдах | | | | | | | | | | | |
| -33,4 | -32,7 | -27,1 | -16,9 | -4,9 | 6,7 | 10,6 | 8,1 | 1,6 | -10,2 | -23,3 | -31,0 |

Таблица 3 - Данные средней годовой температуры воздуха (°С)
за период 1991 – 2020 годы

| | |
|---------------|-------|
| Зырянка | -10,0 |
| Среднеколымск | -10,6 |
| Черский | -9,8 |
| Чокурдах | -12,7 |

Анализ средних годовых температур показывает, что средняя годовая температура в изучаемом районе составляет -10,8 °С, и варьируется в диапазоне от -9,8 °С в районе станции Черский до -12,7 °С на станции Чокурдах. Примечательно, что станции с наименьшей и наибольшей годовой температурой находятся практически на одной широте, и обе подвержены сильному влиянию моря расположенного в 100-140 километров от них.

Анализ данных таблицы 2 и графика годового хода средних месячных температур (рисунок 18) позволяет сделать вывод, что на всех изучаемых станциях самым холодным месяцем является январь. Средняя температура января на изучаемой территории находится в диапазоне от -32,0 °С на станции Черский до -36,1°С на самой южной в рассматриваемом районе станции Зырянка.

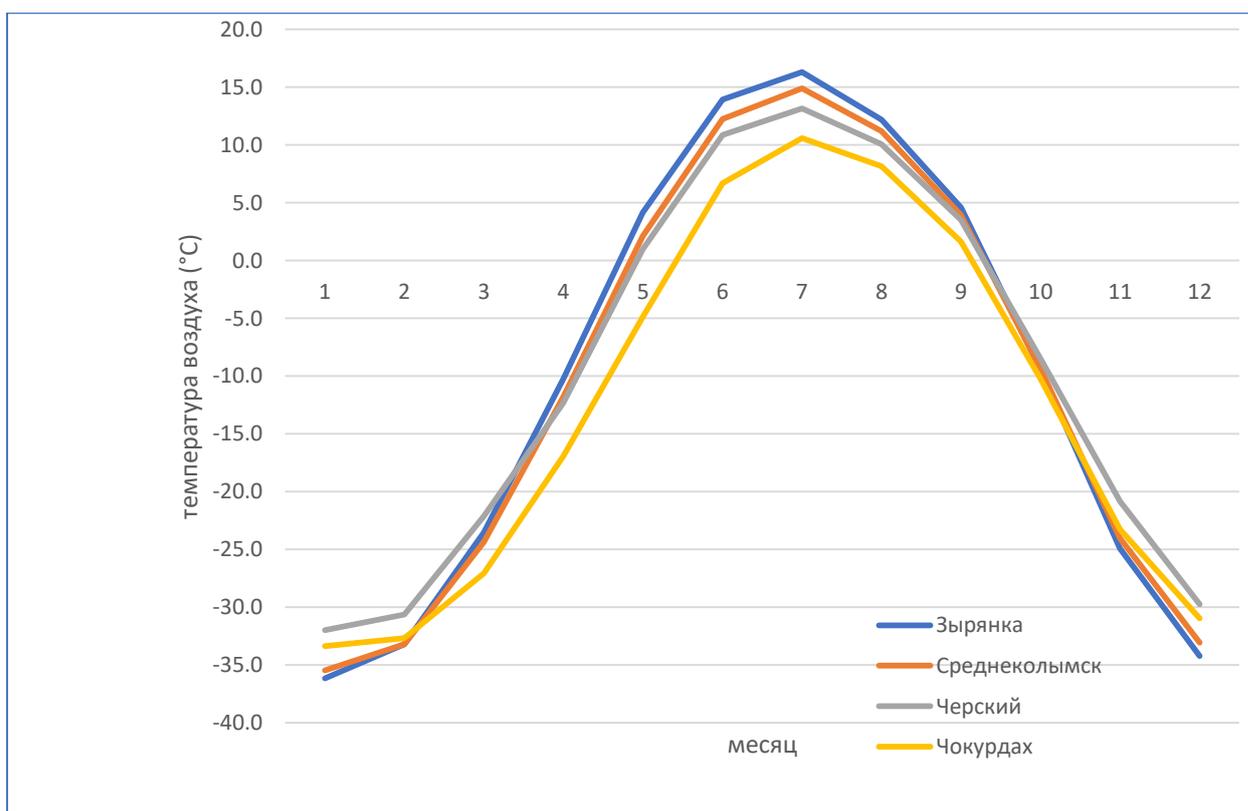


Рисунок 18 - График средних месячных температур воздуха (°C) за период 1991-2020 годы

Хотя январь в масштабе средних многолетних значений является самым холодным месяцем, в отдельные годы самыми холодными месяцами становятся декабрь или февраль. Из анализа годовых данных (приложения 1 - 4) можно сделать вывод, что в исследуемом 30-летнем периоде на станциях Зырянка и Среднеколымск январь бывает самым холодным месяцем в 50 % случаев, в 30 % случаев самым холодным становился февраль и в 20 % случаев – декабрь. На станциях Черский и Чокурдах январь был самым холодным месяцем менее чем в половине исследуемых лет – в 43 % случаев, в 37 % лет самым холодным месяцем становился февраль и в 20 % случаев – декабрь.

Самым теплым месяцем в годовом ходе температур в районе исследования является июль. Средняя температура этого месяца по территории варьируется в очень широких пределах – от 10,6 °C в Чокурдахе до 16,3 °C в Зырянке. Такая большая разница средних июльских температур однозначно связана с влиянием на погодные условия Зырянки и

Среднеколымска хорошо прогретого в летний период материка, и близость к Черскому и Чокурдаху холодного моря.

В отличии от зимы, распределение самого теплого месяца в многолетнем периоде более стабильно, на всех станциях июль является самым теплым месяцем года в 70-80 % случаев, июнь и август в 10-20 % лет.

Анализ графика годового хода также показывает, что на станциях Зырянка, Среднеколымск и Черский средняя месячная температура отрицательная с октября по апрель, а в Чокурдахе - с октября по май. На первых трех станциях переход температуры воздуха через 0 °С в весенний период происходит в первой половине мая, крайне редко в конце апреля. В Чокурдахе весенний переход через 0 °С обычно происходит во 2-3 декадах мая.

Зимы в районе исследования очень холодные, стационарирование над Якутией отрога азиатского максимума, в случае его распространения на северо-восточную Якутию приводит к продолжительным морозам в данном регионе.

Анализ данных таблицы 4 показывает, что в районе исследования за период с 1991 по 2020 год абсолютный минимум температуры воздуха составил -56,0 °С на станции Среднеколымск. На станциях Зырянка и Черский абсолютные минимумы составили -53,5 °С и -51,5 °С соответственно. В Чокурдахе абсолютный минимум составил -49,6 °С.

Анализ абсолютных минимумов за 30-летний изучаемый период показывает, что только станциях Зырянка и Среднеколымск достаточно высока повторяемость абсолютных минимумов ниже -50 °С – 47% и 33 % соответственно, в Черском в исследуемом периоде было всего два года с минимумом ниже -50 °С (7 %). Также необходимо отметить, что подавляющее число минимумов ниже -50 °С (89% случаев) пришлось на период до 2003 года.

Таблица 4 - Данные абсолютных минимумов температуры воздуха (°С)

за период 1991 – 2020 годы

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Зырянка | | | | | | | | | | | |
| - 52,2 | - 53,5 | - 48,9 | - 38,1 | - 23,9 | - -3,9 | - 0,4 | - -7,4 | - 26,3 | - 33,3 | - 46,9 | - 52,0 |
| Среднеколымск | | | | | | | | | | | |
| - 53,1 | - 56,0 | - 48,9 | - 37,8 | - 24,1 | - -4,9 | - 1,0 | - -4,1 | - 10,2 | - 32,4 | - 46,2 | - 50,2 |
| Черский | | | | | | | | | | | |
| - 51,5 | - 50,3 | - 44,4 | - 38,0 | - 21,8 | - -8,0 | - -0,8 | - -3,0 | - 11,0 | - 33,8 | - 43,8 | - 49,3 |
| Чокурдах | | | | | | | | | | | |
| - 48,8 | - 49,6 | - 48,3 | - 38,6 | - 27,7 | - -9,9 | - -5,7 | - -3,6 | - 13,3 | - 32,6 | - 42,9 | - 48,8 |

Средние за многолетний период минимальные значения температуры воздуха представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Данные средних минимумов температуры воздуха (°С)

за период 1991 – 2020 годы

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Зырянка | | | | | | | | | | | |
| - 37,8 | - 35,9 | - 31,2 | - 17,8 | - -1,4 | - 8,2 | - 10,8 | - 7,1 | - 0,5 | - 13,7 | - 28,8 | - 37,9 |
| Среднеколымск | | | | | | | | | | | |
| - 38,7 | - 36,4 | - 30,8 | - 18,0 | - -3,1 | - 7,0 | - 10,1 | - 6,7 | - 0,5 | - 12,5 | - 27,4 | - 36,1 |
| Черский | | | | | | | | | | | |
| - 35,3 | - 34,2 | - 27,2 | - 18,3 | - -4,2 | - 5,5 | - 8,0 | - 5,6 | - 0,3 | - 11,6 | - 24,2 | - 32,9 |
| Чокурдах | | | | | | | | | | | |
| - 36,8 | - 36,3 | - 31,1 | - 21,5 | - -8,1 | - 2,4 | - 6,0 | - 4,6 | - -1,3 | - 12,8 | - 26,8 | - 34,5 |

Средний минимум температуры достаточно важная характеристика термического режима и дает она представление о преобладающей температуре в течение месяца в наиболее холодную часть суток.

Как видно из данных этой таблицы по всему району исследования осредненные годовые минимумы отрицательные и составляют от $-16,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ в Чокурдах до $-14,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в Черском. На всех станциях данные, которых исследуются положительные средние минимумы наблюдаются только в летние месяцы.

Как следует из графика годового хода средних минимальных температур, представленного на рисунке 19 на станциях Зырянка и Среднеколымск средние минимумы месяца достаточно близки в течение всего года. В районе станции Черский зимние минимумы существенно выше, чем на других станциях, это связано с тем, что данная станция в зимний период меньше других подвергается действию азиатского максимума, и чаще подвергается влиянию циклонов, смещающихся через Чукотку (восточные процессы).

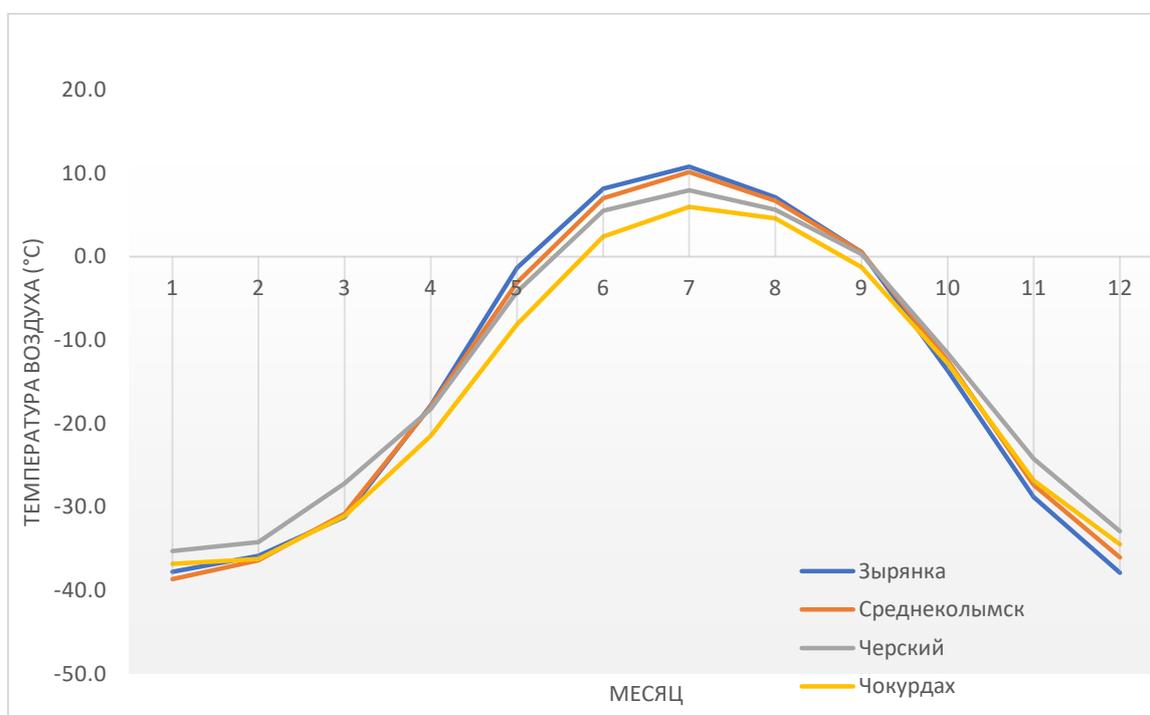


Рисунок 19 - График средних минимальных температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) за период 1991-2020 годы

Летние средние минимумы в районе станции Черский несколько ниже, чем у более южных Зырянки и Среднеколымска, что связано с охлаждающим влиянием близкого моря. У станции Чокурдах наблюдаются самые низкие средние минимумы в любой месяц года, что зимой связано с действием антициклона над Якутией, а летом близостью моря.

Лето в северо-восточной Якутии хоть и непродолжительное, но достаточно теплое, в отдельные годы жаркое. В таблице 6 приведены данные абсолютных максимумов температуры, из которых видно, что в районе исследования абсолютные максимумы за изучаемый 30-летний период составляли от 36,5 °С до 32,0 °С. На всех станциях абсолютные максимумы были отмечены в июле. Анализ абсолютных максимальных температур воздуха по годам показывает, что значения температуры выше 30 °С на станциях Зырянка и Среднеколымск бывают практически ежегодно (в 86-93 % проанализированных лет), на станции Черский в 43 % случаев, и только для Чокурдах такие температуры являются исключением – всего 3 случая за 30-летний период, из них 2 случая отмечены в последнее десятилетие.

Таблица 6 - Данные абсолютных максимумов температуры воздуха (°С)

за период 1991 – 2020 годы

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---------------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|-----------|
| Зырянка | | | | | | | | | | | |
| -9,8 | -4,9 | 2,6 | 12,6 | 26,6 | 33,8 | 36,5 | 33,0 | 26,5 | 15,0 | 3,7 | - 12,9 |
| Среднеколымск | | | | | | | | | | | |
| -5,8 | -3,4 | 2,3 | 10,8 | 28,4 | 33,4 | 34,6 | 32,2 | 24,5 | 13,4 | 5,1 | -5,3 |
| Черский | | | | | | | | | | | |
| 3,1 | 1,9 | 3,9 | 10,1 | 24,3 | 32,1 | 33,0 | 30,0 | 23,7 | 11,7 | 3,8 | 4,0 |
| Чокурдах | | | | | | | | | | | |
| -9,1 | -9,1 | -2,5 | 8,1 | 19,0 | 31,4 | 32,0 | 28,7 | 19,7 | 7,2 | -0,7 | -6,0 |

Анализ абсолютных максимумов по месяцам выявляет интересную особенность – одна из станций района исследования – Черский, имеет

положительные абсолютные максимумы во все месяцы года. Анализ синоптического материала показал, что по крайней мере 2 случая аномального потепления в декабре и январе связаны с быстрым смещением через северо-восток Якутии охотского циклона в направлении Новосибирских островов.

Проведем анализ средних максимальных температур в районе исследования, которые представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Данные средних максимумов температуры воздуха (°С)
за период 1991 – 2020 годы

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-----|------|-------|-------|
| Зырянка | | | | | | | | | | | |
| -33,1 | -28,9 | -17,7 | -4,2 | 8,8 | 18,8 | 20,9 | 16,6 | 8,4 | -6,0 | -22,0 | -31,4 |
| Среднеколымск | | | | | | | | | | | |
| -30,2 | -29,3 | -17,0 | -5,4 | 7,0 | 17,6 | 19,6 | 15,8 | 7,6 | -6,4 | -21,0 | -30,2 |
| Черский | | | | | | | | | | | |
| -29,0 | -27,6 | -17,9 | -7,9 | 5,1 | 15,6 | 17,8 | 14,2 | 6,9 | -5,8 | -17,7 | -26,9 |
| Чокурдах | | | | | | | | | | | |
| -30,0 | -29,5 | -23,2 | -12,1 | -1,6 | 11,1 | 15,2 | 11,7 | 3,9 | -8,1 | -19,0 | -27,8 |

Из-за продолжительного холодного периода в районе исследования средние годовые максимумы температуры в районе исследования отрицательные на всех станциях и составляют от -9,1 °С в Чокурдах до -5,7 (°С) в Зырянке. На рисунке 20 представлен график средних максимумов за изучаемый период.

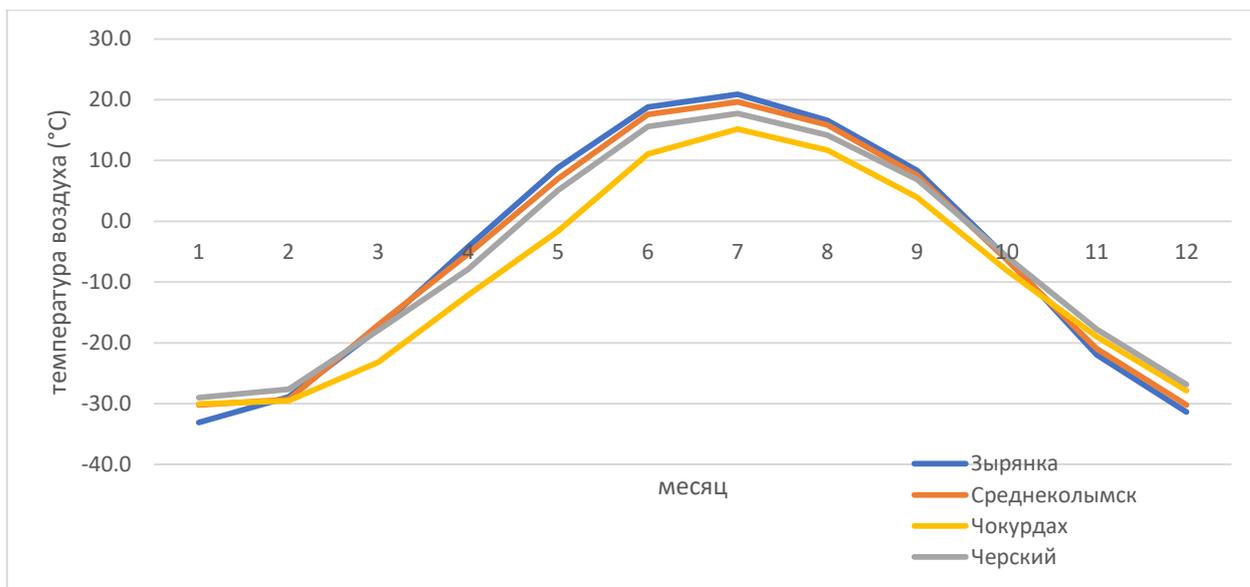


Рисунок 20 - График средних максимальных температур воздуха (°C) за период 1991-2020 годы

Из данных на графике видно, что в Черском, Среднеколымске и Зырянке годовые абсолютные максимумы находятся в одном пределе (от -5,7 °C до -5,9 °C), это хорошо видно на графике.

Все пункты данные, которых исследуются имеют по 4 месяца в году с положительной средней максимальной температурой. Как и абсолютная максимальная, средняя максимальная температура на всех станциях также имеет ярко выраженный годовой ход, и наибольшая отмечается в июле, а наименьшая в январе.

Современное изменение климата проявляется в первую очередь в повышении температуры и по многим данным быстрее всего оно наблюдается в Арктике. Поэтому достаточно актуальной задачей является проанализировать, как меняется термический режим в районе исследования в последние 30 лет.

На рисунке 21 представлен график хода средних годовых температур воздуха за период с 1991 по 2020 годы по станциям Зырянка, Среднеколымск, Черский и Чокурдах.

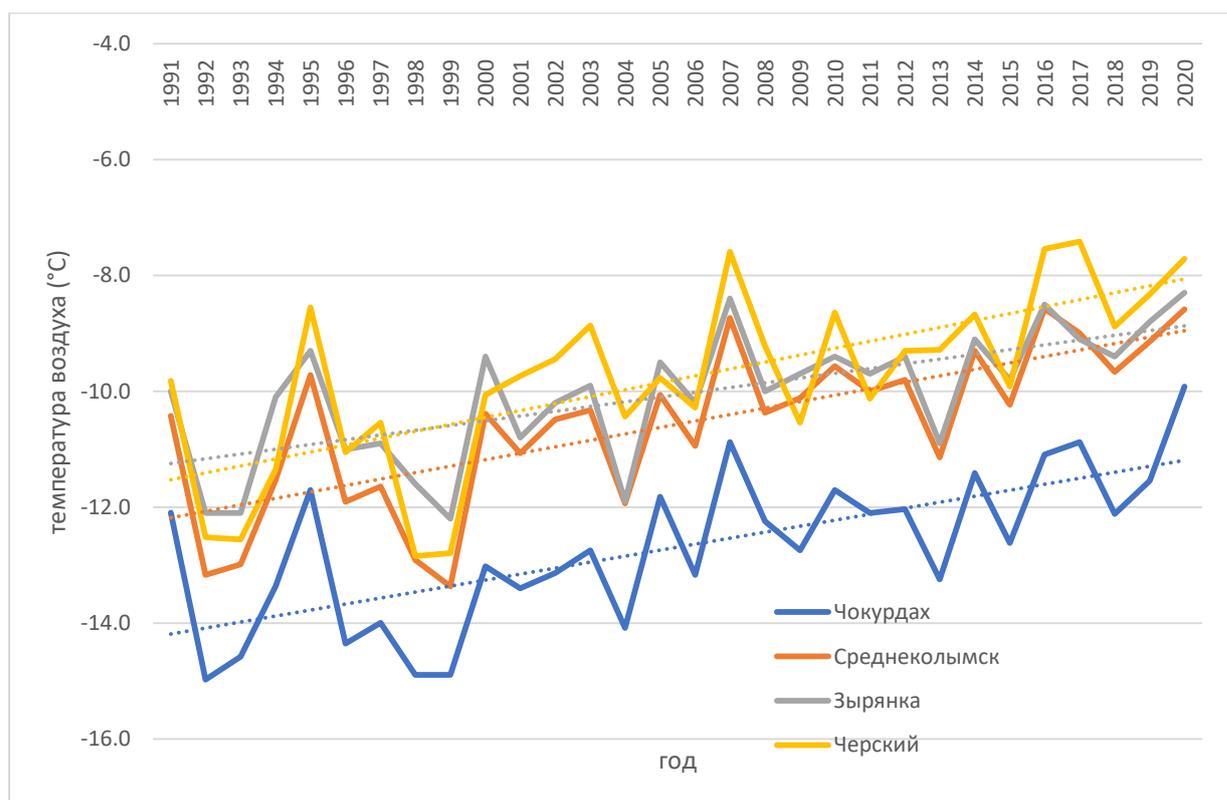


Рисунок 21 - График средних годовых температур воздуха за период 1991-2020 годы

Для анализа изменений температуры на график была нанесена линия тренда и определены параметры линейного тренда среднегодовых значений температуры $y = a + b \cdot t$, где t – время, измеряемое в годах от начала ряда, a – исходный уровень временного ряда в значении времени t , b – угловой коэффициент прямой.

Построенные линии тренда были оценены на значимость по критерию Фишера, при уровне значимости $\alpha = 0,05$. В результате сравнения полученного значения с табличным, при нашем уровне значимости α , линейный тренд является надежным.

Анализ графика на рисунке 21 позволяет сделать вывод, что в самом теплом пункте района исследования Черский в первую декаду исследуемого периода (1991 – 2000 годы) среднегодовая температура преимущественно находилась в диапазоне от минус 12,8 °С до минус 10,1 °С. В следующее десятилетие колебалась около отметки 9-10 °С ниже нуля, и уже с 2011 года, когда среднее значение составило -10,1 °С, среднегодовая температура в этом

пункте была существенно выше этого показателя. Амплитуда среднегодовых температур в Черском в исследуемый период времени составила 5,4 °С. Рассчитанный для этого пункта линейный тренд составляет 1,2 °С за 10 лет при коэффициенте детерминации 0,47.

В Среднеколымске и Зырянке в периоде 1991-2000 годы все средние за год температуры были преимущественно в диапазоне от минус 11 до минус 13 °С, но уже с 2004 г ни разу не опускались ниже минус 11 °С, а с 2014 года устойчиво были выше минус 10 °С. Амплитуда средних годовых температур за исследуемый период в Зырянке составила 3,9 °С, линейный тренд изменения температуры равен 0,8 °С за 10 лет (коэффициент детерминации 0,42). В Среднеколымске амплитуда средних годовых температур составила 4,8 °С, а линейный тренд температуры 1,0 °С/ 10 лет.

В самом холодном пункте исследуемого района Чокурдахе, если до 2004 года диапазон среднегодовой температуры был в среднем около минус 14 °С и находился в пределах от минус 12,1 до минус 15,0 °С, то начиная с 2005 года осредненные за год температуры преимущественно наблюдались около отметки в минус 12 °С. Средний тренд изменения температуры в исследуемый 30-летний период в Чокурдахе составил 1,0 °С за 10 лет, а амплитуда между максимальной и минимальной среднегодовой температурой составила 5,1 °С.

Для оценки вклада каждого сезона года в изменение средних температур воздуха была проведена оценка линейного тренда для средних месяцев каждого сезона года, результаты которой представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Значения линейных трендов (°С/10 лет)

| | январь | апрель | июль | октябрь |
|---------------|--------|--------|------|---------|
| Зырянка | 0,9 | 2,1 | -0,6 | 0,9 |
| Среднеколымск | 1,3 | 2,3 | -0,4 | 1,5 |
| Черский | 1,1 | 2,1 | -0,1 | 1,7 |
| Чокурдах | 0,7 | 2,3 | -0,4 | 1,5 |

Анализ значений в таблице 8 позволяет сделать вывод, что наибольшее потепление во всех исследуемых пунктах приходится на весенний и осенний сезоны. Значения трендов температуры воздуха в апреле на всех станциях превышают 2 °С за 10 лет, в октябре значения трендов варьируются в пределах от 0,9 до 1,7 °С. Также во всех пунктах наблюдается тенденция на повышение средних температур и зимнего периода – тренды температуры января по всей рассматриваемой территории положительны и составляют в среднем 1,0 °С. В тоже время во всех пунктах кроме Черского отмечается понижение среднемноголетних температур июля с тенденцией в 0,4-0,6 °С.

4.3 Исследование режима выпадения осадков.

Режим выпадения атмосферных осадков является одним из важнейших параметров, характеризующих климатические условия местности. На режим выпадения осадков влияют особенности атмосферной циркуляции, проявляющиеся в частоте прихода в регион циклонов и антициклонов, активность атмосферных фронтов. Большое влияние на количество осадков оказывают географические особенности местности – наличие горных хребтов, близость больших водоемов.

При изучении режима осадков рассматривают следующие параметры: средние многолетние суммы осадков по месяцам и годам, изменчивость сумм осадков, суточные максимумы.

В таблице 9 показаны осредненные за 30-летний период месячные и годовые суммы осадков по данным метеостанций региона.

Анализ данных представленных в таблице 8 показывает, что в районе исследования наблюдается зональный ход выпадения осадков – их среднегодовое количество равномерно возрастает при направлении с севера на юг.

Таблица 9 - Данные средних месячных и годовых сумм осадков (мм)
за период 1991 – 2020 годы

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | год |
|---------------|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|-----|
| Зырянка | 14 | 14 | 12 | 11 | 18 | 37 | 54 | 50 | 39 | 27 | 27 | 18 | 319 |
| Среднеколымск | 12 | 12 | 11 | 7 | 12 | 30 | 42 | 42 | 29 | 26 | 25 | 17 | 263 |
| Черский | 13 | 12 | 10 | 8 | 11 | 22 | 30 | 34 | 28 | 28 | 22 | 16 | 231 |
| Чокурдах | 11 | 10 | 11 | 9 | 12 | 17 | 24 | 25 | 23 | 24 | 20 | 14 | 197 |

Максимальное количество осадков за год – в среднем 319 мм выпадает на самой южной станции района Зырянка, в самом северном пункте Чокурдах за год в среднем выпадает 197 мм.

Данные годового хода средних месячных сумм осадков представленные на графике (рисунок 21) позволяют сделать вывод, что максимум выпадения осадков приходится на летние месяцы, что характерно для континентального типа выпадения осадков. В годовом ходе можно заметить, что на каждой станции разница выпадающих сумм осадков в июле и августе не большая. На более южных пунктах Зырянка и Среднеколымск максимум приходится на июль месяц, на более северных пунктах Черский и Чокурдах максимум выпадения осадков смещен на август.

Минимум выпадения осадков в годовом ходе на всех станциях наблюдается в апреле. В этот месяц чаще всего район северо-восточной Якутии находится под влиянием арктического антициклона, с которым связана преимущественно ясная погода и поступление в район сухого арктического воздуха. В апреле по району исследования в среднем выпадает от 7 до 11 мм осадков.

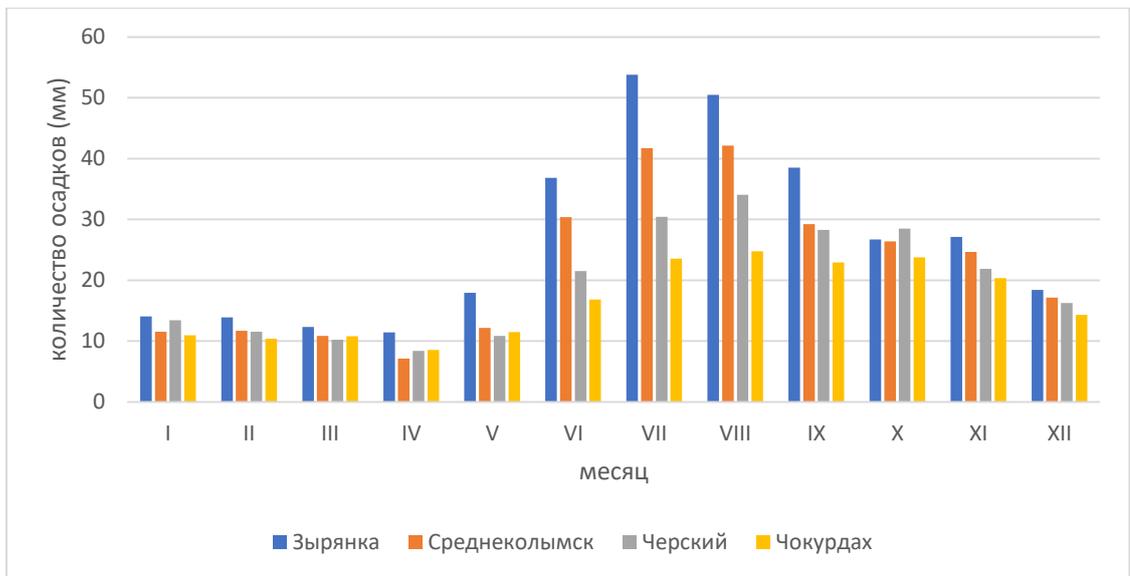


Рисунок 21 - График годового хода средних месячных сумм осадков за период 1991-2020 годы

На северо-востоке Якутии теплым периодом считается период с мая по сентябрь, и за этот период на всех станциях выпадает более половины от годовых сумм осадков - от 51 % в Чокурдах до 62 % в Зырянке.

Межгодовая изменчивость выпадения осадков варьируется на каждой станции в очень широком диапазоне. В таблице 10 представлены данные о максимальных и минимальных суммах осадков, выпавших в исследуемый период на каждой станции.

Анализ представленных данных показывает, что годовые максимумы и минимумы сумм выпавших осадков имеют ярко выраженный годовой ход.

На станции Зырянка максимальное количество осадков, выпавших в течение одного года, составляет 483 мм, минимальное – 198 мм, или 151 % и 62 % от среднегодовой суммы соответственно. Для пунктов наблюдений Среднеколымск и Черский отклонения от среднего за 30-летний период близки к значениям Зырянки – 165-171 % для максимального количества выпавших осадков и 61-65% для минимального. В Чокурдах выпало за 2011 год 429 мм, это годовой максимум для этой станции равный 217 % от среднегодового. Минимальное количество осадков в Чокурдах в исследуемый период составило 47% от среднего за исследуемый период.

Таблица 10 - Данные максимальных и минимальных месячных и годовых сумм осадков (мм) за период 1991 – 2020 годы

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | год | |
|---------------|------------------|----|-----|----|----|----|---------|------|---------|---------|----|-----|---------|
| | годовой максимум | | | | | | | | | | | | |
| Зырянка | 37 | 31 | 40 | 44 | 43 | 79 | 11 6 | 97 | 12 3 | 11 2 | 61 | 45 | 48 3 |
| Среднеколымск | 35 | 29 | 28 | 16 | 32 | 80 | 10 7 | 126 | 80 | 11 0 | 70 | 43 | 43 5 |
| Черский | 37 | 39 | 24 | 14 | 31 | 58 | 93 | 88 | 65 | 66 | 73 | 38 | 39 4 |
| Чокурдах | 25 | 31 | 27 | 26 | 28 | 83 | 94 | 74 | 67 | 63 | 53 | 49 | 42 9 |
| | годовой минимум | | | | | | | | | | | | |
| Зырянка | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 5 | 5 | 6 | 3 | 7 | 3 | 19 8 |
| Среднеколымск | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 | 1 | 5 | 5 | 5 | 17 1 |
| Черский | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 4 | 10 | 6 | 1 | 10 | 5 | 2 | 14 2 |
| Чокурдах | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 5 | 9 | 5 | 3 | 92 |

При анализе количества выпавших максимальных и минимальных осадков за период с 1991 по 2020 годы обращает на себя внимание что все максимумы были зафиксированы в период последних 15 лет, а на станциях Зырянка и Черский в один год – 2016. В тоже время минимальное количество выпавших осадков отмечалось в первую декаду исследуемого периода, на двух станциях в 1991 году, на одной в 2000 году, и только в Чокурдахе совсем недавно – в 2018 году.

Важной характеристикой режима выпадения осадков является суточный максимум их выпадения. Суточные максимумы обычно являются результатом выпадения интенсивных осадков, чаще всего конвективного характера, охватывающих небольшую площадь. Информация о возможных максимальных суммах осадков, выпадающих в конкретной местности достаточна важна, необходима, к примеру при прогнозировании летних

паводков на реках, при эксплуатации гидротехнических сооружений, строительстве ливневых канализаций в городах.

В таблице 11 представлены данные о максимальных суточных суммах осадков, зафиксированных метеорологическими станциями в районе исследования.

Таблица 11 - Данные суточных максимумов выпадения осадков (мм)
за период 1991 – 2020 годы

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | год |
|---------------|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|-----|
| Зырянка | 9 | 7 | 7 | 17 | 21 | 39 | 64 | 49 | 53 | 18 | 11 | 12 | 64 |
| Среднеколымск | 7 | 6 | 8 | 6 | 21 | 47 | 48 | 35 | 26 | 19 | 14 | 17 | 48 |
| Черский | 10 | 6 | 7 | 9 | 16 | 23 | 34 | 38 | 29 | 14 | 11 | 10 | 38 |
| Чокурдах | 7 | 11 | 8 | 6 | 9 | 16 | 48 | 32 | 36 | 21 | 11 | 11 | 48 |

Как видно из представленных данных суточные максимумы выпавших осадков в районе исследования достаточно существенные, и в целом, как и годовые суммы также имеют зональный ход. В Зырянке отмеченный максимум составил 64 мм за сутки (отмечен в 2017 году), что соответствует критерию опасного природного явления. В Чокурдахе и Среднеколымске, суточный максимум составил 48 мм, что близко к критерию опасного явления. В Черском максимум в 38 мм за сутки соответствуют критерию неблагоприятного метеорологического явления.

Анализ данных в таблице 11 позволяет сделать вывод, что наибольшие суточные максимумы наблюдаются в летний период года, когда наибольшее развитие получает конвективная деятельность. Во всех рассматриваемых пунктах, кроме Черского, суточные максимумы отмечались в июле.

В холодный период года, когда на северо-востоке Якутии затухает активная конвективная деятельность, суточные максимумы выпадения осадков существенно меньше, чем в теплый период и чаще всего отмечаются в октябре-ноябре. Суточные максимумы отмечающиеся в зимний период в целом по району исследования не превышают 17 мм и связаны с вторжением на северо-восток Якутии теплых и влажных воздушных масс с Дальнего

Востока.

4.4 Исследование ветрового режима.

Параметры ветра являются также одной из основных характеристик климатических условий местности. Ветровой режим местности во многом зависит от сезона года, циркуляционных особенностей региона, орографических условий местности и в целом по территории отличается большой изменчивостью. В связи с этим анализ параметров ветра целесообразно проводить отдельно по каждой станции.

В таблице 12 представлены многолетние данные о повторяемости направлений ветра по метеостанции Зырянка.

Таблица 12 - Повторяемость направлений ветра (%) на метеостанции Зырянка за период 1991 – 2020 годы

| | С | СВ | В | ЮВ | Ю | ЮЗ | З | СЗ | штиль |
|------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| январь | 17,5 | 1,4 | 2,3 | 10,7 | 16,9 | 1,3 | 1,1 | 11 | 37,8 |
| февраль | 16,5 | 1,6 | 2,1 | 10,9 | 13,4 | 0,7 | 0,6 | 7,2 | 47 |
| март | 26,9 | 2,5 | 3,2 | 9,6 | 9,7 | 2,7 | 2,6 | 21,8 | 21 |
| апрель | 19,9 | 5,1 | 6,4 | 13,3 | 16,5 | 2,8 | 2,7 | 17,5 | 15,8 |
| май | 27,4 | 13,2 | 8,7 | 12,2 | 14,2 | 2,9 | 2,5 | 12,8 | 6,1 |
| июнь | 22,2 | 15,2 | 9,8 | 13,7 | 13,6 | 3 | 4,2 | 12,8 | 5,5 |
| июль | 20,5 | 12,2 | 9,3 | 13,6 | 13,3 | 2,3 | 4 | 16,8 | 8 |
| август | 20,6 | 12,1 | 9,5 | 11,1 | 10,3 | 4,4 | 5,5 | 18,7 | 7,8 |
| сентябрь | 19,6 | 8,4 | 6,8 | 10,4 | 11,4 | 4,7 | 6,8 | 23,6 | 8,3 |
| октябрь | 13,2 | 3,5 | 5,1 | 6,9 | 19,3 | 8,6 | 6,7 | 24 | 12,7 |
| ноябрь | 16 | 0,8 | 2 | 9,3 | 22,4 | 3 | 2,3 | 13,1 | 31,1 |
| декабрь | 16,5 | 1,1 | 1,3 | 9,6 | 17,1 | 3 | 1,9 | 13,5 | 36 |
| год | 19,7 | 6,4 | 5,5 | 10,9 | 14,8 | 3,3 | 3,4 | 16,1 | 19,8 |

Как видно из представленных в таблице данных в данном пункте преобладающим направлением ветра практически в любой месяц года является северное, оно наблюдается от 27,4 % случаев в мае до 16,5 %

случаев в феврале. И только в периоде с октября по декабрь преобладает южное направление. Также в Зырянке отмечается крайне высокая вероятность штилевых погод - почти 20 % за год, или от 47 % в феврале, когда над районом стоит антициклональная погода и до 5-6 % в мае и июне.

Средняя за год скорость ветра в Зырянке небольшая – 2,5 м/с. Как видно из данных в таблице 13 скорость ветра в Зырянке имеет хорошо выраженный годовой ход с максимумом средней скорости в августе и минимумом в зимние месяцы.

Таблица 13 – Средняя месячная и годовая скорость ветра (м/с) на метеостанции Зырянка за период 1991 – 2020 годы

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | год |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0,8 | 1,1 | 2,6 | 2,8 | 3,1 | 3,4 | 3,5 | 3,7 | 3,2 | 2,5 | 1,9 | 0,8 | 2,5 |

В районе пункта Среднеколымск годовой ход повторяемости направлений ветра более выражен. Из анализа данных представленных в таблице 14 можно сделать вывод что в этом пункте в холодный период года преобладает ветер западного направления, то есть с центральной части Якутии, а в теплый период года – с марта по сентябрь в районе Среднеколымска преобладают ветра северо-восточного и восточного направлений. Особо наглядно это видно на графике розы ветров для теплого и холодного периодов (рисунок 22).

Таблица 14 - Повторяемость направлений ветра (%) на метеостанции Среднеколымск за период 1991 – 2020 годы

| | С | СВ | В | ЮВ | Ю | ЮЗ | З | СЗ | штиль |
|---------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|-------|
| январь | 5,5 | 1,8 | 1,0 | 0,2 | 2,8 | 12,0 | 29,3 | 7,3 | 40,1 |
| февраль | 8,0 | 8,8 | 2,6 | 0,2 | 4,6 | 13,3 | 20,7 | 13,5 | 28,3 |
| март | 6,1 | 16,1 | 8,0 | 1,0 | 9,3 | 9,4 | 15,1 | 7,9 | 27,1 |
| апрель | 8,9 | 23,5 | 18,1 | 2,8 | 7,7 | 5,7 | 10,9 | 12,2 | 10,2 |
| май | 8,5 | 19,8 | 36,0 | 3,6 | 9,2 | 3,4 | 5,8 | 12,1 | 1,6 |
| июнь | 9,8 | 22,4 | 27,6 | 3,2 | 12,2 | 6,3 | 8,5 | 9,1 | 0,9 |
| июль | 8,4 | 18,9 | 26,1 | 4,3 | 12,8 | 6,7 | 8,1 | 12,9 | 1,8 |

| | | | | | | | | | |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| август | 6,5 | 15,4 | 29,9 | 4,9 | 11,3 | 5,0 | 12,1 | 10,9 | 4,0 |
| сентябрь | 6,4 | 13,3 | 19,1 | 3,6 | 10,0 | 8,1 | 19,8 | 15,2 | 4,5 |
| октябрь | 9,8 | 11,0 | 11,3 | 2,7 | 5,8 | 9,3 | 22,7 | 17,8 | 9,6 |
| ноябрь | 4,6 | 5,7 | 2,0 | 0,6 | 4,1 | 15,1 | 33,7 | 10,0 | 24,2 |
| декабрь | 2,8 | 2,7 | 1,3 | 0,1 | 1,2 | 13,6 | 32,5 | 7,2 | 38,6 |
| год | 7,1 | 13,3 | 15,3 | 2,3 | 7,6 | 9,0 | 18,3 | 11,3 | 15,9 |

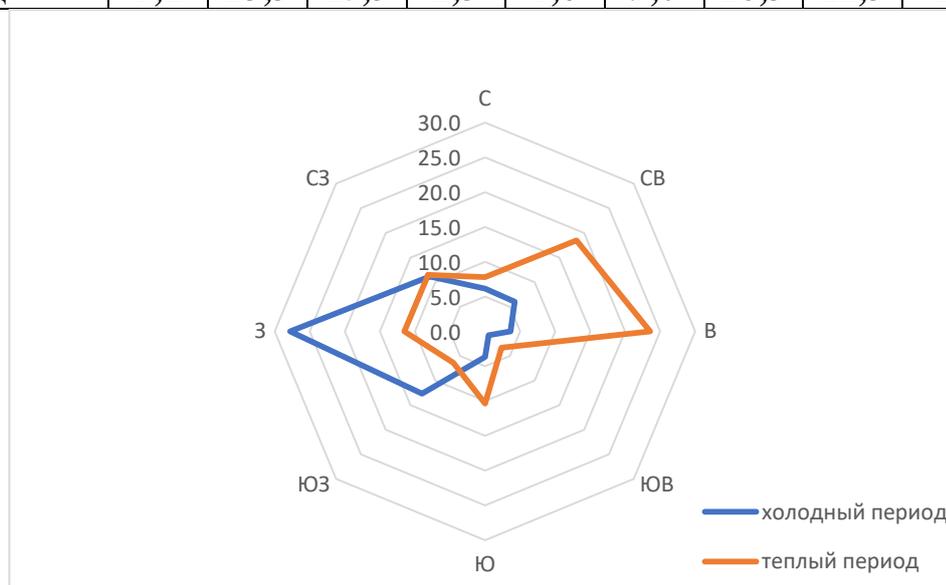


Рисунок 22 - Роза ветров на метеостанции Среднеколымск для холодного и теплого периодов по данным 1991-2020 годы.

В районе станции Среднеколымск также обращает на себя внимание большое число штилей в холодный период года – от 38-40 % в декабре-январе до 24-27 % в марте и ноябре. В теплый период года повторяемость безветренной погоды невелика. Средняя за год скорость ветра в Среднеколымске составляет 2,4 м/с и имеет годовой ход с минимумом в зимние месяцы и максимумом в августе (таблица 14)

Таблица 14 – Средняя месячная и годовая скорость ветра (м/с) на метеостанции Среднеколымск за период 1991 – 2020 годы

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | год |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0,8 | 1,0 | 2,3 | 2,4 | 3,3 | 3,3 | 3,5 | 3,9 | 3,3 | 2,6 | 1,7 | 1,0 | 2,5 |

В населенном пункте Черский, расположенном в 100 км от Восточно-Сибирского моря как следует из анализа данных представленных в таблице

15 и на рисунке 23 годовой ход повторяемости направлений ветра выражен более четко, чем на других станциях.

В холодный период года в Черском преобладающим является юго-восточное направление ветра с повторяемостью от 26 до 40 %. В теплый период в этом пункте ветер дует преимущественно с моря, в этот период преобладают ветра северного направления с максимумом повторяемости в июле. В связи с тем, что холодный период более длителен, в годовом распределении также отмечается преобладание ветров юго-восточного направления.

Таблица 15 - Повторяемость направлений ветра (%) на метеостанции Черский за период 1991 – 2020 годы

| | С | СВ | В | ЮВ | Ю | ЮЗ | З | СЗ | штиль |
|----------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|-------|
| январь | 6,8 | 4,8 | 16,9 | 34,0 | 6,0 | 4,4 | 1,3 | 6,7 | 19,1 |
| февраль | 6,8 | 4,3 | 14,3 | 40,3 | 4,9 | 5,5 | 1,4 | 6,8 | 15,7 |
| март | 9,1 | 4,8 | 9,4 | 33,5 | 12,3 | 4,3 | 3,0 | 9,7 | 13,9 |
| апрель | 17,3 | 4,6 | 5,0 | 26,1 | 15,6 | 4,8 | 6,4 | 15,2 | 5,0 |
| май | 32,1 | 3,3 | 3,3 | 13,7 | 11,5 | 4,5 | 8,4 | 18,2 | 5,0 |
| июнь | 33,7 | 2,4 | 2,8 | 15,4 | 18,3 | 4,5 | 8,3 | 12,9 | 1,7 |
| июль | 37,7 | 2,9 | 4,7 | 9,9 | 16,6 | 4,4 | 6,9 | 12,3 | 4,6 |
| август | 29,1 | 6,9 | 8,1 | 13,2 | 14,9 | 3,8 | 7,2 | 12,3 | 4,5 |
| сентябрь | 23,8 | 3,8 | 10,0 | 14,7 | 11,7 | 7,0 | 10,7 | 13,6 | 4,7 |
| октябрь | 6,5 | 6,6 | 13,4 | 29,7 | 7,7 | 6,4 | 7,2 | 9,3 | 13,2 |
| ноябрь | 8,8 | 3,5 | 12,5 | 36,0 | 6,1 | 4,4 | 3,7 | 7,4 | 17,6 |
| декабрь | 12,4 | 4,6 | 14,6 | 39,4 | 3,5 | 3,4 | 1,4 | 4,0 | 16,7 |
| год | 18,7 | 4,4 | 9,6 | 25,5 | 10,8 | 4,8 | 5,5 | 10,7 | 10,1 |

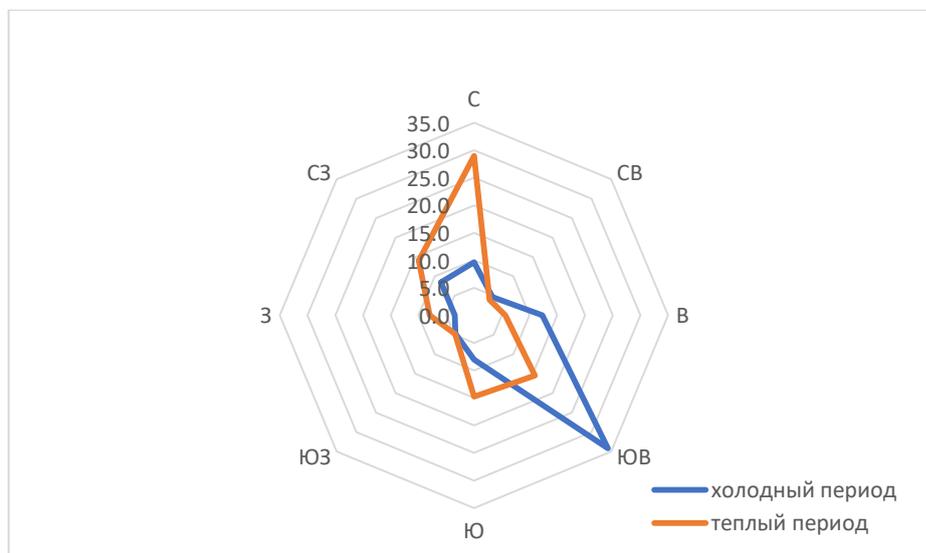


Рисунок 23 - Роза ветров на метеостанции Черский для холодного и теплого периодов по данным 1991-2020 годы.

Повторяемость безветренной погоды в районе Черского существенно меньше, чем на более южных станциях, и также имеет выраженный годовой ход с максимумом в январе, когда до 20 % времени наблюдается штиль, и минимумом в июне с повторяемостью тихой погоды менее чем в 2 % случаев.

Последний пункт, данные которого мы используем для анализа климатических особенностей северо-восточной Якутии – это Чокурдах. Этот пункт также расположен недалеко от морского побережья, но как следует из данных в таблице 16 на этой станции имеет место годовой ход в направлении ветра, но он не настолько явно выражен, как на остальной территории района исследования.

Таблица 16 - Повторяемость направлений ветра (%) на метеостанции Чокурдах за период 1991 – 2020 годы

| | С | СВ | В | ЮВ | Ю | ЮЗ | З | СЗ | штиль |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| январь | 13,5 | 3,3 | 3,0 | 0,7 | 9,1 | 17,8 | 38,7 | 4,2 | 9,7 |
| февраль | 15,8 | 10,8 | 2,4 | 0,6 | 9,8 | 10,5 | 33,9 | 7,2 | 9,0 |
| март | 9,2 | 23,2 | 3,7 | 8,1 | 16,7 | 17,7 | 13,6 | 4,5 | 3,3 |
| апрель | 26,9 | 25,8 | 7,8 | 6,1 | 12,2 | 7,4 | 8,1 | 5,3 | 0,4 |
| май | 14,7 | 13,9 | 28,5 | 16,4 | 6,0 | 3,2 | 13,2 | 4,0 | 0,1 |
| июнь | 23,5 | 26,2 | 14,5 | 10,0 | 6,6 | 2,5 | 1,2 | 15,5 | 0,0 |

| | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| июль | 12,9 | 12,8 | 17,1 | 14,8 | 13,1 | 3,3 | 11,3 | 14,7 | 0,0 |
| август | 23,4 | 18,9 | 11,3 | 11,3 | 13,4 | 2,3 | 10,6 | 8,7 | 0,1 |
| сентябрь | 11,3 | 12,2 | 5,9 | 21,2 | 20,4 | 7,4 | 11,2 | 10,2 | 0,2 |
| октябрь | 13,0 | 7,7 | 1,7 | 7,7 | 26,3 | 17,9 | 20,4 | 5,1 | 0,2 |
| ноябрь | 4,8 | 6,0 | 4,5 | 9,8 | 12,4 | 32,5 | 21,8 | 7,3 | 0,9 |
| декабрь | 6,5 | 3,1 | 0,4 | 0,9 | 4,9 | 46,9 | 27,0 | 4,1 | 6,2 |
| год | 14,6 | 13,7 | 8,4 | 9,0 | 12,6 | 14,1 | 17,6 | 7,6 | 2,5 |

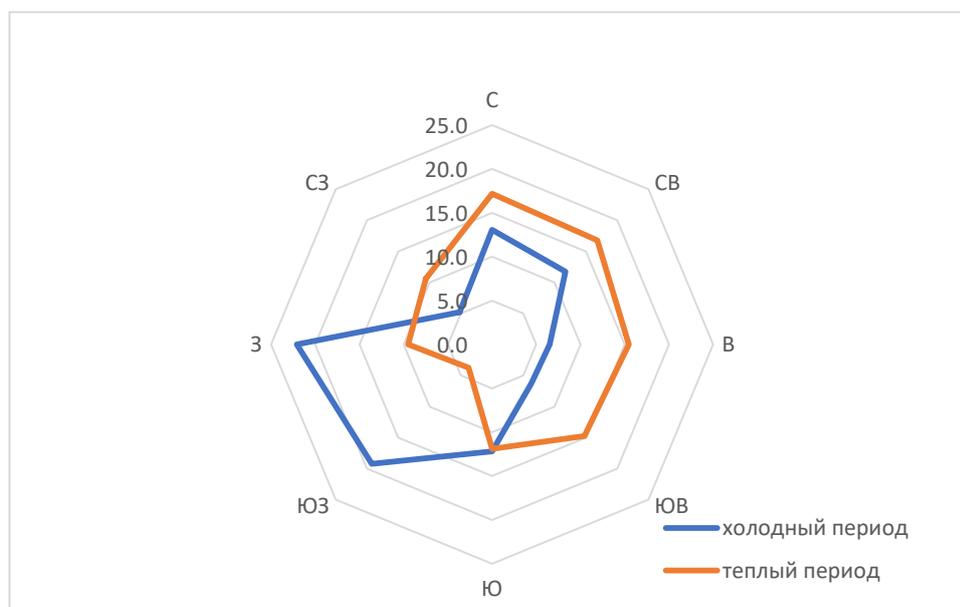


Рисунок 24 - Роза ветров на метеостанции Чокурдах для холодного и теплого периодов по данным 1991-2020 годы.

Анализируя данные таблицы 16, можно сделать вывод, что в холодный период года в Чокурдах преобладающими являются ветра западного, в ноябре-декабре юго-западного направлений. В теплый период года явно выраженного преобладающего направления ветра в этом пункте не имеется. Примерно с равной вероятностью в 15-17 % в теплый период преобладают ветра от северной до юго-восточной четвертей (рисунок 24).

Также для данной станции, в сравнение с другими пунктами в районе исследования крайне мала повторяемость штилей. В годовом распределении она не превышает 3 %, максимум повторяемости безветренной погоды приходится на январь и февраль месяцы. Это можно связать с орографическими условиями местности: данная станция находится в

тундровой зоне, представляющей собой большие открытые пространства. С такими особенностями местности связаны и высокие средние скорости ветра в Чокурдах. Как видно из данных представленных в таблице 17, в Чокурдах средняя за год скорость составляет 4 м/с, при этом в годовом распределении явного годового хода не выявляется, относительный минимум средней скорости равный 3,5 м/с наблюдается в январе, максимум в 4,6 м/с приходится на июнь – июль месяцы

Таблица 17 – Средняя месячная и годовая скорость ветра (м/с) на метеостанции Чокурдах за период 1991 – 2020 годы

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | год |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 3,5 | 3,6 | 3,5 | 3,8 | 4,4 | 4,6 | 4,6 | 4,3 | 4,0 | 3,7 | 3,7 | 3,8 | 4,0 |

Заключение

Климатические условия северо-восточного района Якутии формируются совокупностью множества факторов, таких как географическое положение района, условия радиационного баланса, особенности циркуляции атмосферы.

Из географических факторов существенное влияние на характер климата оказывает близость к району исследования Северного Ледовитого и Тихого океанов, наличие хорошо прогреваемой летом и выстужаемой в зимний период поверхности континента. Немаловажное значение имеет расположение района в высоких широтах с присущей для этих широт полярной ночью, когда полностью отсутствует приток солнечной радиации.

Особенности атмосферной циркуляции над дальневосточным регионом также оказывает значимое влияние на климатические условия местности. В первую очередь они проявляются в формировании в холодный период года сезонного центра действия атмосферы – азиатского антициклона, отрог которого при распространении на район исследования приносит в эти края сильные продолжительны холода. Важное значение на климат региона оказывают зимние вторжения теплых морских воздушных масс с Дальнего Востока, которые существенно смягчают жесткость климата в холодный период года. Немалое влияние на погодные условия района оказывает и деятельность циклонов, смещающихся на северо-восточную Якутию в теплый период года с запада. Особенности распределения ветров способствуют поступлению в район исследования теплого сухого воздуха в передней части этих циклонов, и вторжению холодных арктических воздушных масс в тылу циклонов.

Среднегодовая температура в исследуемом районе составляет минус 10,8 °С, и варьируется в пределах от минус 9,8 °С до минус 12,7 °С. Данные значения среднегодовой температуры несколько выше, чем в соседних районах республики, и более характерны для южных районов Якутии. Зимы

на северо-востоке Якутии под влиянием азиатского максимума холодные. Самыми холодными месяцами на территории являются январь и февраль имеющие средние температуры в разных пунктах в пределах от минус 30,6 °С до минус 36,1 °С.

Абсолютный минимум температуры воздуха на территории составляет минус 56,0 °С. Относительно минимальных температур воздуха выявляется особенность исследуемого региона заключающаяся в том, что большинство минимумов ниже минус 50 °С (89% случаев за исследуемый 30-летний период) были отмечены до 2003 года, что нехарактерно для большей части Якутии, где нередки абсолютные минимумы близкие к минус 60 °С.

Еще одной важной особенностью климата северо-восточной Якутии являются периодические аномальные потепления в зимний период, связанные с приходом в данный регион теплых воздушных масс с Дальнего Востока. Данный приход теплого воздуха в целом оказывает смягчающее влияние на климат района, и в результате таких поступлений теплого воздуха в некоторых частях исследуемого района возможны повышения температуры воздуха выше 0 °С в любой зимний месяц.

Лето на северо-востоке Якутии достаточно теплое, в отдельные годы жаркое. Самым теплым месяцем является июль. Абсолютный максимум температуры воздуха в исследуемом районе составил 36,5 °С. Повышения температуры воздуха выше 30 °С в исследуемом районе носят зональный ход, в более южных пунктах они наблюдаются практически ежегодно, в более северных, где сильно влияние холодного моря, гораздо реже.

Для летнего периода в северо-восточной Якутии характерны вторжения холодных арктических воздушных масс (обычно в тылу циклонов), приводящие к летним заморозкам. На всех пунктах, по которым проводилось исследование абсолютные минимумы температур отрицательные в июне и августе, а в прибрежных пунктах Черский и Чокурдах даже в июле возможны понижения воздуха ниже 0 °С

В процессе исследования для всех станций был выявлен тренд на

повышение средних годовых температур. За изучаемый 30-летний период он составил в среднем по территории 1,0 °С за 10 лет. В годовом масштабе происходящее потепление неравномерное, сильнее всего оно проявляется весной и осенью, а для летнего периода для большей части района характерен тренд на небольшие понижения средних температур.

Режим выпадения осадков в районе исследования имеет зональный ход – количество выпадающих осадков равномерно возрастает при направлении с севера на юг. По территории в среднем за год выпадает 200-320 мм осадков. Максимум выпадения осадков приходится на летние месяцы.

Для большей части Якутии характерно неравномерное распределение выпадения осадков в течение года – 15-20 % выпадает в холодный период года, 75-80 % в теплый период года [9]. Для северо-восточного района Якутии в процессе исследования было определено, что в годовом разрезе осадки выпадают более равномерно. На теплый период приходится 51 – 62 % выпадающих осадков, на холодный соответственно 38 – 49 %, что связано с зимними вторжениями в район исследования охотских циклонов, приносящих не только потепление, но и снегопады.

Ветровой режим на большей части территории северо-восточной Якутии имеет выраженный годовой ход и в целом находится в зависимости от распределения барических систем в регионе. В холодный период года давление над материком высокое и ветер направлен в сторону низкого давления. Поэтому для всех пунктов в районе исследования в холодный период года преобладает ветер, направленный с центральных районов Якутии. В зависимости от расположения станции это ветер западных или южных румбов. В летний период давление над материком понижено, над морем повышено, соответственно на большей части территории северо-восточной Якутии преобладают ветра с моря – то есть северной и северо-восточной четвертей.

Еще одной особенностью ветрового режима северо-восточной Якутии, которая также характерна и для всей республики, является достаточно

высокая повторяемость штилей, особенно в зимний период. В отдельные годы морозная безветренная погода может наблюдаться на протяжении нескольких недель. Средняя за год скорость ветра в районе исследования невелика и составляет от 2,5 м/с в южной части района до 4 м/с в прибрежной части района.