



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Биометеорологический режим атмосферы полуострова Чукотка»

Исполнитель Медведев Алексей Александрович

(фамилия, имя, отчество)

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

Головина Елена Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»
заведующий кафедрой**


(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Сероухова Ольга Станиславовна

(фамилия, имя, отчество)

« 29 » 05 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Основные климатические характеристики атмосферы полуострова Чукотка.....	5
1.1 Особенности циркуляции атмосферы.....	7
1.2 Тепловой режим и характеристики влажности воздуха.....	8
1.3 Ветровой режим и режим осадков.....	9
2 Методы оценки тепловой нагрузки атмосферы на организм человека.	11
2.1 Биометеорологические параметры (индексы).....	16
2.2 Методика расчетов затрат тепла на дыхание.....	25
3 Оценка биометеорологического режима атмосферы Чукотки.....	30
3.1 Анализ эффективной температуры (ЭТ).....	31
3.2 Анализ эквивалентно-эффективной температуры (ЭЭТ).....	34
3.3 Анализ радиационной эквивалентно-эффективной температуры (РЭЭТ).....	38
3.4 Анализ индекса эффективной температуры ET.....	42
3.5 Анализ эффективной температуры воздуха (по Р. Сидману)...	45
3.6 Анализ индекса патогенности метеорологической ситуации I (по В.Г. Бокша).....	49
3.7 Анализ теплотерь органами дыхания человека без учета влияния ветра.....	53
3.8 Анализ теплотерь органами дыхания человека с учетом влияния ветра.....	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	64

ВВЕДЕНИЕ

Состояние атмосферы оказывает значительное влияние на многие сферы жизни человека. Биометеорологический режим атмосферы, включающий в себя многочисленные факторы, показывает комфортность проживания населения в исследуемом регионе. С помощью исследования биометеорологического режима проводится оценка не только комфортности проживания человека, но и факторов риска, связанных с погодными особенностями региона. В связи с этим можно сделать вывод, что оценка биометеорологического режима атмосферы является актуальной задачей для исследования в различных регионах Земного шара.

Целью данной работы является изучение биометеорологического режима атмосферы полуострова Чукотка, используя данные метеорологических наблюдений.

Для реализации поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Сбор и изучение литературы о климатических особенностях региона;
2. Изучение современных методов оценки биометеорологического состояния атмосферы;
3. Подготовка базы метеорологических данных для станций, расположенных на полуострове Чукотка, за период 2015-2020 гг.;
4. Расчет и оценка тепловой нагрузки атмосферы на организм человека на полуострове Чукотка.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав и заключения. В списке литературы содержится 13 источников, включающие научную и учебную литературу, материалы из глобальной сети Интернет, а так же базы архивных данных метеорологических наблюдений.

Во введении сформулирована цель работы, поставлены задачи для ее достижения, указана актуальность исследования.

В первой главе приведены основные климатические характеристики атмосферы полуострова Чукотка.

Во второй главе рассматриваются различные методы оценки тепловой нагрузки атмосферы на организм человека, включающие в себя биометеорологические параметры (индексы) и методы расчета затрат тепла на дыхание.

В третьей главе приведен анализ биометеорологического режима атмосферы полуострова Чукотка с помощью рассмотренных биометеорологических индексов и полученных данных о затратах тепла на дыхание в различных условиях.

1 Основные климатические характеристики атмосферы полуострова Чукотка

Чукотский полуостров (Чукотка) – полуостров, расположенный на крайнем северо-востоке Евразии. Его площадь составляет 49 тыс.км². Чукотка омывается тремя шельфовыми морями: Восточно-Сибирским и Чукотским (относятся к бассейну Северного Ледовитого океана) и Беринговым (относится к Тихоокеанскому бассейну). Большая часть полуострова представляет собой нагорье высотой до 1000 м, состоящее из обособленных горных массивов, хребтов, гряд и кряжей, вытянутых в различных направлениях. Наибольшие высоты относятся к Синявинскому поднятию в районе бухты Провидения. Самой высокой точкой Чукотского полуострова является гора Исходная, высота которой составляет 1194 м. [1]

Порядка одной трети площади Чукотского полуострова заняты равнинами, межгорными котловинами и долинами рек, крупнейшими из которых являются Анадырь (протяженность 1150 км), Омогон (протяженность 1140 км), Малый Анной (протяженность 758 км) и Большой Анной (протяженность 693 км). [3] Для рек Чукотского полуострова характерны стремительные и высокие паводки, неравномерный сток, длительный ледостав, ярко выраженная сезонность в изменениях водного режима и питания. Так же хорошо развита озерно-болотная сеть. Болота сосредоточены вдоль русел крупных рек. Наибольшее распространение имеют термокарстовые озера, занимающие до 70% площади низменностей полуострова. [2] Физическая карта Чукотского Автономного округа, в состав которого входит полуостров Чукотка, показана на рисунке 1. Чукотский полуостров расположен в правой части изображения.



Рисунок 1 – Физическая карта Чукотского Автономного округа

Расположение Чукотского полуострова оказывает существенное влияние на климат и радиационные характеристики региона. Северная часть полуострова и остров Врангеля расположена к северу от границы Северного полярного круга, поэтому полярный день здесь длится со второй половины мая по вторую половину июля, а полярная ночь – со второй половины декабря до конца января. Годовая продолжительность солнечного сияния составляет 1000-1200 ч в северо-восточных районах полуострова и 1500-1800 ч в южных районах. [4]

В зимние месяцы приход солнечной радиации минимален. Переходные сезоны длятся около одного месяца. Весна холодная и короткая. Переход температуры через ноль происходит в июне, тогда же радиационный баланс достигает максимума в годовом ходе. За счет увеличения продолжительности дня увеличивается и продолжительность солнечного сияния, также достигая своего максимума в годовом

ходе в июне. На Чукотском полуострове наблюдается наименьший для данных широт радиационный баланс. Максимальное количество дней без Солнца было зафиксировано на острове Врангеля, а минимум часов солнечного сияния наблюдается на северо-восточном побережье.

Особенностью данного региона является увеличение количества облаков в теплый период года. На побережье среднегодовое количество облачности колеблется около 7-8 баллов, а во внутренних районах количество облачности уменьшается на 1-1,5 балла и составляет в среднем 5-6 баллов. Данные условия способствуют уменьшению значения радиационного баланса и увеличению дней без Солнца.

В зимний период приход солнечной радиации минимален. Радиационный баланс достигает минимальных значений (порядка $-60 - -70$ МДж/м²) в период с ноября по январь. Количество суммарной солнечной радиации, поступающей к земной поверхности за год, в среднем достигает значений 2800-3200 МДж/м². Годовые суммы радиационного баланса в среднем достигают значений 800-1200 МДж/м².

1.1 Особенности циркуляции атмосферы

Соседство Чукотского полуострова с водными пространствами Тихого и Северного Ледовитого океанов вносит определенные особенности в циркуляцию атмосферы и климат региона в целом. Климат Чукотки субарктический: резко-континентальный во внутренних районах полуострова и морской – на побережье. Продолжительность холодного периода года составляет 8-10 месяцев (примерно с октября по май). Вечная мерзлота встречается практически на всей территории полуострова.

Циркуляция атмосферы Чукотского полуострова носит сложный муссонный характер. Различают два крупных сезона: более длинный холодный и короткий тёплый. В холодный период года над Чукотским полуостровом наблюдается область

повышенного давления, образованная под влиянием северо-восточной части Азиатского антициклона. Это приводит к сильному охлаждению континента. Одновременно с процессами, вызванными антициклонами, над севером Тихого океана образуется область низкого давления. Над поверхностью океана температуры выше, чем над континентом. Данная разница в параметрах воздушных масс приводит к перемещению холодного воздуха с континента в сторону океана, которое называется зимним муссоном. Столкновения области повышенного давления с приходящими циклонами вызывают резкие изменения в погоде за короткие промежутки времени. Часто наблюдаются резкие потепления с обильными снегопадами и сильными метелями, вызванные «прорывами» циклонов, образованных над Тихим океаном. [4]

В тёплый период года над континентом наблюдается область низкого давления, а над акваторией Тихого океана – область высокого давления. Благодаря данной барической ситуации происходит перемещение холодных воздушных масс с океана на континент. Данный процесс получил название летнего муссона. Во время летнего муссона так же наблюдается частая смена погоды, обильные осадки и появляется вероятность заморозков.

1.2 Тепловой режим и характеристики влажности воздуха

Как было указано ранее, климат Чукотского полуострова характеризуется продолжительной холодной зимой и коротким прохладным летом. В холодный период года минимальные температуры воздуха колеблются от $-15,9^{\circ}\text{C}$ до $-27,3^{\circ}\text{C}$. Абсолютный минимум был зафиксирован в Омолоне и составил -61°C . [1]

Переходные сезоны годы характеризуются резкими изменениями температурного режима. От мая к июню температура возрастает в среднем от $7-8^{\circ}\text{C}$ на побережье до $10-11^{\circ}\text{C}$ во внутренних районах. От сентября к октябрю наблюдается резкое понижение температуры в соответствующих пределах. О суровости климата на

Чукотском полуострове свидетельствует также кратковременность безморозного периода: например, в Ванкареме он составляет 45 дней, а в бухте Провидения – 68 дней.

Теплый период года на Чукотском полуострове длится с июня по сентябрь. Самым теплым месяцем на большей части полуострова является июль, однако в некоторых районах максимальные температуры наблюдаются в августе. Максимальные среднемесячные температуры теплого периода года колеблются от $+3,6^{\circ}\text{C}$ до $+10,5^{\circ}\text{C}$. Абсолютный максимум был зафиксирован в Островном и составил $+34^{\circ}\text{C}$. Температуры на побережье ниже и в среднем составляют не более $5-7^{\circ}\text{C}$.

Большая влажность воздуха на Чукотском полуострове обусловлена близостью акваторий Тихого и Северного Ледовитого океанов и частой повторяемостью циклонов. Средние значения относительной влажности составляют 70-75% во внутренних районах полуострова и 80-89% на побережье. Особенностью данного региона является небольшая амплитуда значений относительной влажности в годовом ходе: порядка 5% в северной части полуострова и 10-15% – в южной части. Содержание водяного пара в воздухе небольшое, что связано с низкими температурами воздуха. Максимальные значения парциального давления фиксируются в теплый период года и составляют 7,5-8,5 гПа на севере полуострова и 9-10 гПа – на юге. Среднее значение парциального давления за год составляет 3,5-4,9 гПа.

1.3 Ветровой режим и режим осадков

Побережье Чукотского полуострова относится к самым ветреным районам России. Именно здесь ежегодно фиксируются скорости ветра более 40 м/с. В холодный период года наблюдается усиление скорости ветра. Самым ветреным считают период с середины октября до середины декабря. На море в это время

наблюдаются сильные штормы. В прибрежных районах преобладают северное и северо-западное направления ветра. Средние скорости ветра достигают 8-12 м/с. Во внутренних районах полуострова сложный рельеф вносит существенное влияние в направление и скорость ветра. На преобладающие направления влияет ориентация речных долин и горных хребтов. В холодное время года повторяемость штилевой погоды, со скоростью ветра менее 1 м/с, достигает своего максимума и составляет порядка 45%.

Соседство с обширными океаническими просторами создает повышенную влажность и туманы. Активная циклоническая деятельность является основным атмосферным процессом, который определяет режим осадков на Чукотском полуострове. Взаимодействие континента и обширной акваторией океанов создает благоприятные условия для образования интенсивных атмосферных осадков. Выпадение осадков по сезонам распределяется крайне неравномерно. Большая часть осадков выпадает в теплый период года в виде морозящих дождей. В холодное время года количество осадков уменьшается с каждым месяцем. Устойчивый снежный покров устанавливается в октябре. За период с октября по май выпадает около 40% от годовой суммы, а наибольшее количество осадков в холодные время года фиксируется в январе. [4]

Годовое количество осадков колеблется в широких пределах и значительно изменяется в зависимости от рельефа местности. В северной части побережья Чукотского полуострова выпадает порядка 300 мм осадков, а в южной части – порядка 500 мм. По мере удаления от побережья количество осадков уменьшается в 1,5-2 раза и составляет 200 мм. В среднем за год отмечается 110-150 дней с осадками, на долю дней с твердыми осадками приходится 55-60%, дней с жидкими осадками наблюдается около 30-35%, а смешанные осадки фиксируются в 6-10% случаев.

За все время существования человечества климат и погода оказывали влияние на состояние и здоровье организма человека, как прямыми (воздействие метеорологических параметров на тепловое состояние организма человека), так и косвенными (паталогические (метеопатологические) реакции и ухудшение самочувствия) путями. Под погодой понимают совокупность состояния атмосферы и атмосферных явлений в определенный момент времени. Под климатом – многолетний режим погоды, который характерен для данной местности в силу ее географического положения. [5]

Метеотропные реакции могут быть вызваны следующими факторами:

1. Космическая погода – характеристики глобальной солнечной активности, Солнечно-земного пространства: потоки заряженных частиц, межпланетное магнитное поле, геомагнитное поле, радиоволновое излучение Солнца, солнечный ветер.
2. Метеорологические характеристики: температура воздуха, влажность, давление, скорость ветра, осадки, потоки солнечной радиации, длинноволновая солнечная радиация, состав воздуха, атмосферное электричество, атмосферная радиоактивность.

Прямое воздействие указанных элементов может быть мгновенным (вызывается преобладающей погодой), а может зависеть от синоптической обстановки. Далее рассмотрим основные метеорологические факторы, влияющие на состояние и здоровье человека.

1. Температура воздуха – один из мощных метеопатических параметров. Изменение теплового режима атмосферы вызывает изменения в теплообмене человека с окружающей средой, который происходит за счёт следующих процессов:

- конвекция;

- длинноволновое излучение;
- затрата тепла на испарение (кондукция);
- затрата тепла на дыхание;
- теплоотдача за счет потоотделения.

Более 80% энергии затрачивается на теплообмен с поверхности кожи, порядка 13-15% затрачивается органами дыхания и порядка 5-7% другими факторами. Диапазон температур, при которых человеческий организм чувствует себя комфортно, довольно узок, и при температуре тела выходящей за пределы 26-40°C, возможны необратимые процессы в организме. Наиболее комфортными температурами воздуха принимают 20-25°C. Оптимальными изменениями среднесуточной температуры воздуха принято считать изменения в 1-2°C, умеренным изменением считают изменение в 3-4°C и резким изменением – более 4°C.

2. Влажность воздуха – влияет на организм человека в совокупности с температурой воздуха. При фиксированной температуре и колеблющихся значениях влажности воздуха на организм может оказываться значительное воздействие.

Оптимальными значениями относительной влажности считаются 50-70%. Увеличение относительной влажности воздуха усиливает действие холода и ощущение жары, препятствует испарению с поверхности кожи, что может привести к тяжелым последствиям для состояния и здоровья человека. Низкие значения относительной влажности могут вызывать сухость слизистых и явления обезвоженности организма.

3. Атмосферное давление – оказывает довольно существенное влияние на состояние человека. Атмосферное давление имеет довольно значительные непериодические колебания. По классификации В. Г. Бокши принято считать колебания атмосферного давления в пределах 1-4 гПа (0,75-3 мм рт.ст.) слабыми, колебания в 5-8 гПа (3,75-6 мм рт.ст.) умеренными, колебания в 8-10 гПа (6-7,5 мм

рт.ст.) резкими и колебания в 10-20 гПа (7,5-15 мм рт.ст.) сильными. Нормальным значением давления на уровне моря принято считать 1013 гПа (760 мм рт.ст.).

В исследованиях влияния метеорологических параметров на человека следуют учитывать влияние атмосферного давления в совокупности с другими метеорологическими факторами и явлениями, т.к. по отдельности изменение атмосферного давления не оказывает существенного влияния на здоровье человека, чему может служить доказательство реакции организма при полетах на самолете и поездок по горным дорогам с постоянными перепадами высоты и давления соответственно. [11]

4. Ветер – имеет достаточно разнообразное влияние на организм и здоровье человека. При комбинации ветра и низких температур усиливается теплоотдача организма человека, что может привести к переохлаждению. В теплое время года ветер повышает сопротивляемость организма, что приводит к снижению заболеваемости, а в холодное время года – наоборот, сопротивляемость организма понижается, и количество случаев заболеваний возрастает.

Нормальными значениями скорости ветра принято считать до 6 м/с и колебания скорости в пределах 5 м/с. При повышении скорости ветра оказывается влияние на грудную клетку, костную ткань организма, затрудняется дыхание. Наибольшим эффектом влияния на состояние и здоровье организма человека имеют следующие ветры: бора, фён, муссоны. [6]

5. Облачность – оказывает влияние на световой режим, изменяет электрическое поле атмосферы и является причиной выпадения осадков, что приводит к изменениям в суточном ходе температуры и влажности воздуха.

Биометеорологические исследования показали, что осадки в основном оказывают благоприятное воздействие на организм человека. При выпадении осадков наблюдается уменьшение количества случаев инфекционных заболеваний и понижается смертность.

Облачность оказывает существенное влияние на интенсивность солнечной радиации, которая определяет температурный режим, влажность воздуха и скорость ветра, а в теплое время года в дневные часы ослабляет нагревание земной поверхности и смягчает климат внутри материков. Облачность так же уменьшает интенсивность ультрафиолетового излучения Солнца. [8]

6. Электрическое поле атмосферы – непосредственно связано с облачностью и выпадающими осадками, барическими образованиями, ветрами, движениями воздушных масс с различными свойствами. Биологическое воздействие атмосферных ионов и электромагнитных импульсов (известны как «атмосферрики») обнаружены уже давно. В качестве основных параметров атмосферного электричества, влияющих на состояние и здоровье человека, принято считать следующие:

- процессы, связанные с ионизацией, содержанием ионов, объемными зарядами и радиоактивностью воздуха;
- электромагнитные волны;
- стремительно происходящие изменения электрического поля, токи смещения.

7. Радиация – в данный пункт включены различные виды радиации, поступающие к земной поверхности: солнечный ветер, рентгеновские лучи, атомная космическая, ультрафиолетовая, видимая, инфракрасная и высокочастотная радиация, в дополнении радиация, излучаемая радиоактивными элементами, содержащимися в атмосфере и излучаемая поверхностью Земли. [5]

Основным источником электромагнитной радиации является Солнце. Среднее значение общей радиации составляет 1373 ± 20 Вт/м². Различные виды радиации оказывают различное воздействие на живые организмы. Например, ультрафиолетовая область спектра разделена на 3 участка, различающиеся по типам воздействия:

- до 280 нм – оказывает бактерицидное действие;

- от 280 до 315 нм – оказывает витаминизирующее действие (образование витаминов группы D);
- от 316 до 400 нм – оказывает воздействие на пигментацию кожи.

УФ радиация и видимый свет при большой интенсивности или при длительном воздействии вызывают негативные последствия для живых организмов. ИК и высокочастотная радиация так же оказывает влияние на состояние и здоровье человека. Существуют различные стандарты норм радиоволнового облучения. Известно, например, что отклонение интенсивности радиоволн, часто наблюдаемое во время вспышек на Солнце, может вызывать патологические реакции организма.

Изменения в химическом составе атмосферы приводят к изменению спектра излучения, доходящего до Земли. Порядка 80 % излучения в диапазоне 0,29-2,4 мкм атмосфера пропускает к земной поверхности, так называемое «окно прозрачности» атмосферы. Основные «окна прозрачности» представлены на рисунке 2. Атмосфера так же прозрачна для радиоволнового излучения в интервале длин волн от 1 до 20см.

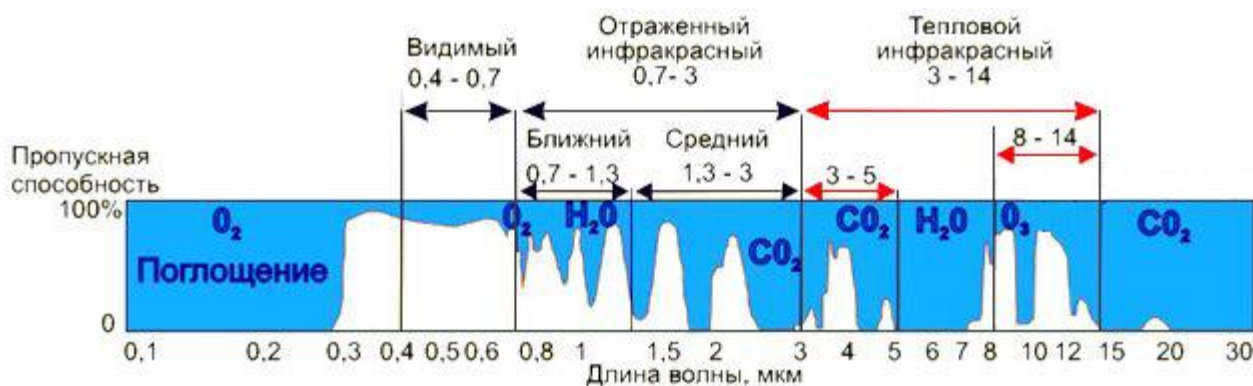


Рисунок 2 – Окна прозрачности атмосферы.

Для оценки влияния всех описанные выше параметров атмосферы и явлений создано большое количество индексов и параметров. Далее рассмотрим основные параметры, которые будут использованы в дальнейшей работе.

2.1 Биометеорологические параметры (индексы)

В биометеорологии особое внимание уделяется оценке реакции организма на изменения в окружающей среде, которая проводится с использованием различных биометеорологических параметров (индексов). Данные реакции могут проявляться мгновенно или пролонгировано, а продолжаться в течение различного периода времени (от нескольких часов до периода совместимого с длительностью человеческой жизни). Разработка данных индексов является достаточно сложной, чему свидетельствует их большое разнообразие. [7] В настоящее время известны и применяются для расчетов порядка 30 биометеорологических показателей, которые условно можно разделить на следующие группы:

1. температурно-влажностные показатели;
2. температурно-ветровые (индексы холодного стресса);
3. температурно-влажностно-ветровые (для теневых пространств);
4. температурно-влажностно-ветровые (с учетом солнечной радиации);
5. индексы патогенности и изменчивости климата;
6. индексы континентальности климата;
7. индексы, характеризующие состояние атмосферы.

Основное внимание в биометеорологии уделяется оценке теплового восприятия и степени теплового комфорта. В связи с этим для характеристики климата используются различные комплексные метеорологические индексы, которые отражают тепловое состояние, как отдельного человека, так и зоны комфорта, различной для разных групп населения. Под зоной комфорта понимают пределы

метеорологических показателей, внутри которых большинство людей отмечает тепловой комфорт. Рассмотрим далее основные биометеорологические индексы.

1. Эффективная температура (ЭТ)

Эффективная температура используется для оценки погодных условий, осредненных по территории или по времени. [8] Данный индекс представляет собой температуру неподвижного воздуха, насыщенного водяным паром, в котором человек испытывает субъективно такое же ощущение комфорта, как и в среде, для которой находится эффективная температура. Значения эффективной температуры определяется по формуле (1) А. Миссенарда:

$$ЭТ = t - 0.4(t - 10)\left(1 - \frac{f}{100}\right), \quad (1)$$

где: t – температура сухого воздуха ($^{\circ}\text{C}$);

f – относительная влажность воздуха (%).

Важной чертой индекса ЭТ является то, что его можно использовать как для теплого, так и для холодного сезонов года. Категории тепловых нагрузок оцениваются по значениям индексов для сезонов и показаны в таблице 1.

Таблица 1

Категории тепловых нагрузок по значениям ЭТ для различных сезонов

Теплый сезон						
+ЭТ	более +30	30-24	24-18	18-12	12-6	6-0

Теплоощущение	очень жарко	жарко	тепло	умеренно тепло	прохладно	умеренно холодно
Нагрузка	сильная	умеренная	комфорт	комфорт	—	—
Холодный сезон						
-ЭТ	от 0 до -12	от -12 до -24	от -24 до -30	Ниже - 30		
Теплоощущение	холодно	очень холодно	крайне холодно	крайне холодно		
Нагрузка	умеренная	сильная угроза обморожения	очень сильная	чрезвычайно высокая вероятность замерзания		

По результатам исследования было обнаружено, что в неподвижном воздухе наблюдаются одинаковые теплоощущения при различных сочетаниях температуры и относительной влажности воздуха. Сочетания значений температуры воздуха и относительной влажности, создающие комфортные теплоощущения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Комбинации температуры и относительной влажности для комфортных теплоощущений

T, °C	17,8	18,9	20,1	20,7	21,7	22,3	23,2
-------	------	------	------	------	------	------	------

F, %	100	80	60	50	40	30	20
------	-----	----	----	----	----	----	----

2. Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ)

Эквивалентно-эффективная температура характеризует теплоощущения человека, находящегося в тени. [7] В практической деятельности оценки индекса ЭЭТ выполняются по номограмме и данным по температуре воздуха, температуры смоченного термометра и скорости ветра. При использовании обработанных данных наблюдений, чаще всего не содержащих исходных данных психрометрических наблюдений, затруднительно использовать номограмму для определения значения индекса ЭЭТ. Айзенштат Б. А. на основе номограммы предложил формулу (2) для более быстрого и удобного определения значения эквивалентно-эффективной температуры:

$$\begin{aligned} \text{ЭЭТ} = & t(1 - 0.003(100 - f)) - 0.385v^{0.59}((36.6 - t) + 0.622(v - 1)) + \\ & + ((0.0015v + 0.008)(36.6 - t) - 0.0167)(100 - f), \end{aligned} \quad (2)$$

где: t – температура воздуха (°C);

f – относительная влажность воздуха (%);

v – скорость ветра (м/с).

3. Радиационная эквивалентно-эффективная температура (РЭЭТ)

Радиационная эквивалентно-эффективная температура учитывает влияние не температуры воздуха, относительной влажности, скорости ветра и количества солнечной радиации. Формула для расчетов индекса РЭЭТ, предложенная Г.В. Шелейховским, имеет вид (3):

$$РЭЭТ = 125 \lg(1 + 0.02T + 0.001(T - 8)(f - 60) - 0.045(33 - T)\sqrt{v} + 0.185\beta), \quad (3)$$

где: T – температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$);

f – относительная влажность (%);

v – скорость ветра (м/с);

β – поглощенная поверхностью тела солнечная радиация (кВт/м^2),
рассчитанная по формуле (4):

$$\beta = \varepsilon(1 - \alpha), \quad (4)$$

где ε – интенсивность солнечной радиации (Вт/м^2);

α – альбедо кожи человека.

Для расчетов РЭЭТ используется упрощенная формула (5):

$$РЭЭТ = 0,8 \cdot ЭЭТ + 12, \quad (5)$$

где ЭЭТ – значение эквивалентно-эффективной температуры.

Значения радиационной эквивалентно-эффективной температуры используются в качестве оценки уровня комфорта, характеристики климатолечебных свойств региона (таблица 3).

Таблица 3

Уровень теплоощущения по значениям радиационной эквивалентно-эффективной температуры

РЭЭТ	Теплоощущение
------	---------------

Более +37	Тепловая нагрузка сильная
32...37	Тепловая нагрузка умеренная
27...32	Тепло
21...27	Умеренно тепло
17...21	Прохладно
12...17	Умеренно прохладно
7...12	Очень прохладно
2...7	Умеренно холодно
-3...2	Холодно
-8...-3	Очень холодно

4. Индекс ET

Показатель ET учитывает влияние температуры, влажности воздуха и скорости ветра при оценке тепловой чувствительности человека. Данный индекс был введен А. Миссенардом и рассчитывается по следующей формуле (6):

$$ET = 37 - \frac{37-t}{0.68-0.0014f+1/1.76+1.4v^{0.75}} - 0.29t(1 - \frac{f}{100}), \quad (6)$$

где: t – температура воздуха (°C);

f – относительная влажность воздуха (%);

v – скорость ветра (м/с).

Индекс ET может быть использован для холодного и теплого сезонов, в чем и состоит его ценность для использования. Данный показатель хорошо показывает

влияние климатических условий на состояние человека. В таблице 4 приведена зависимость физиологической нагрузки на организм человека в зависимости от значения индекса ET:

Таблица 4

Уровень нагрузки на организм по значениям индекса ET

ET	Физиологическая нагрузка
>30,1	Тепловая нагрузка сильная
24,1...30,0	Тепловая нагрузка умеренная
18,1...24,0	Тепло
12,1..18,0	Умеренно тепло
6,1...12,0	Прохладно
0,1...6,0	Умеренно прохладно
0,1...-6,0	Очень прохладно
-6,1...-12,0	Умеренно холодно
-12,1...-18,0	Холодно
-18,1...-24,0	Очень холодно
<-24,1	Начинается угроза обморожения

5. Эффективная температура воздуха (по Р. Сидману)

Роберт Сидман в 1984 г. опубликовал работу, в которой представил новый тепловой индекс, объединивший не только метеорологические факторы, но и физиологические факторы тела человека и кожного покрова, физические особенности одежды и воздушного слоя, находящегося в непосредственной близости к телу. Эффективная температура по Р. Сидману объединяет в себе 2 индекса: Heat Index (температура воздуха с учетом влажности) и WindChill (температура воздуха с учетом

влияния ветра). Формула для расчета эффективной температуры по Р. Сидману (7) представлена ниже:

$$T_{\text{эф}} = -2.7 + 1.04t + 2.0p - 0.65v, \quad (7)$$

где: t – температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$);

p – парциальное давление водяного пара (кПа);

v – скорость ветра на высоте 10 м (м/с).

Модель Р. Сидмана разработана для взрослого человека средней комплекции, одетого по погоде, идущего в тени со скоростью 4.8 км/ч. Следовательно, при использовании данного метода расчета можно определить температуру, ощущаемую человеком при заданных данных о скорости ветра и влажности воздуха. На рисунке 3 представлена шкала эффективной температуры. Положительные значения индекса эффективной температуры показывают вероятность теплового удара, а отрицательные значения – вероятность обморожения. [10]

< -50°C	- опасно - обморожение открытых участков <u>кожи</u> возможно менее чем через 5 минут
-38...-50°C	- предельно осторожно - обморожение открытых участков кожи возможно через 10 -15 минут
-28...-38°C	- осторожно - обморожение открытых участков кожи возможно через 20-30 минут
-28...27°C	- опасности для одетого по погоде человека нет
27...32°C	- осторожно - возможно утомление при длительных активных нагрузках на открытом воздухе
32...40°C	- предельно осторожно - возможен солнечный удар при длительных активных нагрузках на открытом воздухе
40...55°C	- опасно - почти наверняка можно получить солнечный удар и перегрев, возможен тепловой удар
> 55°C	- предельно опасно - быстрый тепловой или солнечный удар

Рисунок 3 – Шкала эффективной температуры

6. Индекс патогенности метеорологической ситуации I (по В.Г. Бокша)

Индекс патогенности метеорологической ситуации I используется для определения степени раздражающего действия погодных факторов. Формула для расчета индекса патогенности I (8) приведена ниже:

$$I = 10^{(f-70)/20} + 0.2v^2 + 0.06n^2 + 0.06(\Delta p)^2 + 0.3(\Delta t)^2 + i(t), \quad (8)$$

где: f – относительная влажность воздуха (%);

v – скорость ветра (м/с);

n – облачность (баллы);

p – атмосферное давление (гПа);

t – температура воздуха (°C);

$i(t)=0.02(18-t)^2$ при значениях $t < 18^\circ\text{C}$;

$i(t)=0.2(t-18)^2$ при значениях $t > 18^\circ\text{C}$.

Оптимальными значениями метеорологических величин, при которых наблюдается минимум метеопатических реакций, принято считать: $t=18^\circ\text{C}$, $f=50\%$, $v=0$ м/с, $\Delta p=0$, $\Delta t=0$, $n=0$. Для данного индекса существует классификация степени воздействия погоды на организм человека, которую уточнил С.С. Андреев путем добавления дополнительных градаций. В таблице 5 представлена расширенная классификация погодных условий, которая позволяет более подробно районировать исследуемую территорию. [10]

Таблица 4

Классификация погодных условий по С.С. Андрееву

I	Погодные условия
0...9,9	Оптимальные (комфортные)
10...16	Слабо раздражающие
16,1...18	Умеренно раздражающие
18,1...24	Сильно раздражающие

2.2 Методика расчетов затрат тепла на дыхание

Тепловое воздействие на организмы – это один из основных факторов влияния окружающей среды, именно поэтому в биометеорологии большое внимание уделяется исследованию влияния теплового режима атмосферы на систему терморегуляции человека. Человек сохраняет постоянную температуру тела при нахождении в различных метеорологических условиях, что обеспечивается терморегуляцией. Под терморегуляцией принято понимать совокупность физиологических процессов, обусловленных деятельностью центральной нервной системы (ЦНС). Процессы терморегуляции разделяют на три группы:

- 1) физическая терморегуляция – обеспечивает увеличение или уменьшение теплоотдачи;
- 2) химическая терморегуляция – обеспечивает изменение теплопродукции;
- 3) поведенческая терморегуляция – это использование одежды и действия человека, которые направлены на создание благоприятного микроклимата.

Уравнение теплового баланса (9) наиболее полно описывает условие теплового равновесия организма с окружающей средой. Решение уравнения теплового баланса позволяет определить критерии, которые количественно характеризуют степень отклонения организма от теплового оптимума. Тепловое равновесие на оптимальном термическом уровне соответствует тепловому комфорту. [8]

$$FLE = FR_k + FR_d + FP + P_l - LE_l + M, \quad (9)$$

где: F – эффективная поверхность тела (m^2);

LE –затрата тепла на испарение пота с поверхности тела (Вт);

R_k – коротковолновый радиационный баланс тела;

R_d – длинноволновый радиационный баланс тела;

P – теплообмен между телом и окружающим воздухом путем конвекции;

$P_{\text{л}}$ – теплообмен, совершающийся в легких человека при дыхании;

L – теплота испарения (Дж/ч);

E – количество испаряемого пота (г/ч);

M – теплопродукция организма (Вт).

FLE в данной формуле характеризует избыток тепла в условиях перегрева, который выводится из организма путем испарения пота. В случае, когда избыток тепла меньше нуля (идет процесс теплоотдачи), FLE характеризует то количество тепла, которое надо сохранить (используя соответствующую одежду для теплоизоляции) или дополнительно выделить.

Одним из важных составляющих теплового баланса тела человека является количество тепла, расходуемого организмом на дыхание. На органы дыхания существенно влияют различные метеорологические условия, наибольшее влияние имеют низкая температура воздуха и сильный ветер. Расстройство терморегуляции и заболевания верхних дыхательных путей могут наблюдаться при продолжительных резких колебаниях теплопотерь органами дыхания.

Теплопотери органами дыхания происходят за счет нагревания вдыхаемого воздуха и перевода влаги, расходуемой легкими, из жидкого состояния в парообразное. [11] Теплопотери органами дыхания человека зависят от температуры воздуха, содержания влаги в воздухе, вентиляции легких человека, которая зависит от интенсивности физической активности человека, изменения атмосферного давления, скорости ветра и высоты места над уровнем моря. Б.А. Айзенштат предложил формулу для расчета теплопотерь органами дыхания человека (10).

$$Q_{\text{л}} = P_{\text{л}} + LE, \quad (10)$$

где: $Q_{\text{л}}$ – теплопотери органами дыхания человека (Вт);

LE – затраты тепла на испарение влаги с поверхности дыхательных путей (Вт);

$P_{\text{л}}$ – затраты тепла на нагревание вдыхаемого воздуха (Вт).

Основные составляющие формулы 10 для расчетов теплопотерь органами дыхания рассчитываются по формулам 11 и 12, представленными ниже:

$$P_{\text{л}} = 0,00002W \times b(t_{\text{л}} - t), \quad (11)$$

$$LE_{\text{л}} = 0,029W(e_{\text{л}} - e), \quad (12)$$

где: W – объем дыхания человека, находящегося в покое на уровне моря за 1 минуту (л/мин);

t – температура вдыхаемого воздуха ($^{\circ}\text{C}$);

$t_{\text{л}}$ – температура выдыхаемого воздуха ($^{\circ}\text{C}$);

e – упругость водяного пара вдыхаемого воздуха (гПа);

$e_{\text{л}}$ – упругость водяного пара выдыхаемого воздуха (гПа);

b – атмосферное давление (гПа).

Данные формулы рассчитывают величину теплопотери органами дыхания человека, находящегося в покое. Но при выполнении физических активностей теплопродукция человека может увеличиваться в 10-20 раз. В связи с этим результат, полученный по формуле 10, умножают на коэффициент, зависящий от вида деятельности человека. Так же существует поправка на высоту местонахождения человека над уровнем моря, так как вентиляция легких человека увеличивается с

увеличением высоты местонахождения над уровнем моря. Данная поправка вводится при высоте более 500 м над уровнем моря.

Рассмотренный ранее метод расчета теплотерь органами дыхания не учитывал влияние ветра. Между скоростью ветра и объемом вентиляции легких существует прямая зависимость. При увеличении скорости ветра создается дополнительная нагрузка на организм для преодоления сопротивления, которое создается ветром, которая равна мощности ветрового потока, приходящегося на поверхность тела человека и представлена в формуле 13.

$$P_{ВП} = 0.26v^3, \quad (13)$$

где: $P_{ВП}$ – мощность ветрового потока (Вт);

v – скорость ветра (м/с).

Данная формула используется при стандартных условиях. Любое отклонение от заданных значений должно корректироваться путем умножения на коэффициент. С учетом влияния ветра формула (10) для расчета теплотерь органами дыхания человека принимает следующий вид (14):

$$Q_B = (P_{\Pi} + LE) \times P_B, \quad (14)$$

где: P_B – коэффициент, учитывающий увеличение объема дыхания за счет влияния ветра.

$$P_B = \frac{100 + P_{ВП}}{100}, \quad (15)$$

Данные формулы так же составлены для человека, находящегося в покое. Для определения теплопотери органами дыхания человека, занимающегося физическими активностями, вводится соответствующая поправка. Так же вводится поправка на высоту места расположения человека. Все указанные выше поправки вводятся по аналогии с рассмотренными ранее методами расчета. [11]

В третьей главе представлены результаты расчетов по указанным выше биометеорологическим индексам и методикам расчетов теплопотерь органами дыхания человека.

3 Оценка биометеорологического режима атмосферы Чукотки

В рамках данной работы была проведена оценка биометеорологического режима атмосферы Чукотки на базе наблюдений на двух метеорологических станциях: Певек и Омолон. [13]

Морская гидрометеорологическая станция МГ-2 Певек находится в Чаунском районе Чукотского АО. Метеорологическая станция Певек расположена на берегу моря. Метеорологические наблюдения на данной станции ведутся с 1939 г. Аэрологическая станция Омолон находится в селе Омолон Билибинского района. Метеорологическая станция Омолон удалена от морского побережья. [12] Данный выбор станций обусловлен различным местоположением и, как следствие, различными погодными условиями, которые характерны для Чукотского полуострова.

Для изучения особенностей биометеорологического режима атмосферы полуострова Чукотка полученные при расчетах суточные значения

биометеорологических величин за весь выбранный период были осреднены за различные периоды (сутки и месяц).

3.1 Анализ эффективной температуры (ЭТ)

В ходе работы были рассчитаны значения эффективной температуры (ЭТ) по формуле 1. На рисунке 4 показан график годового хода значений индекса ЭТ на станции Певек, расположенной на побережье. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения эффективной температуры, а синим – среднемесячные значения эффективной температуры.

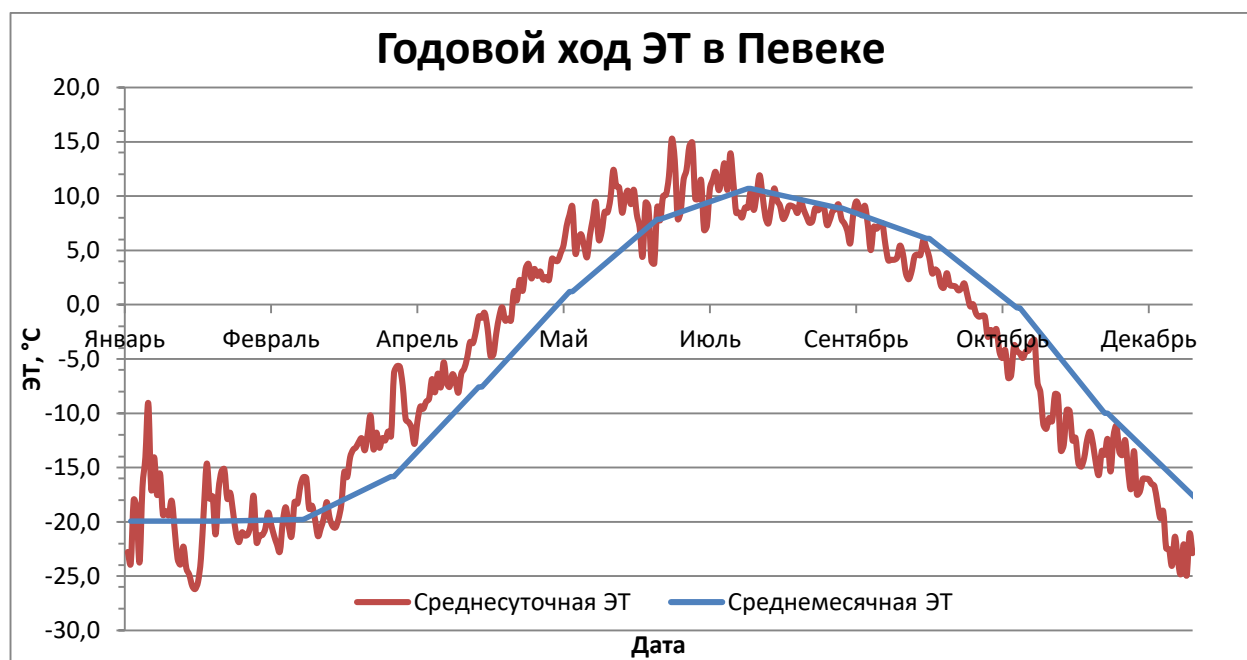


Рисунок 4 – Годовой ход индекса ЭТ на станции Певек

Из полученного графика видно, что с января по апрель, с ноября по конец декабря существует угроза обморожения различной степени. В мае и сентябре теплоощущения человека можно охарактеризовать как «умеренно прохладно», с

июня по август – «прохладно» и «умеренно тепло». В октябре теплоощущения человека описываются как «холодно», существует небольшая вероятность обморожения в отдельные дни.

Среднемесячные минимальные значения показателя эффективной температуры отмечались в январе, и составили $-20,5^{\circ}\text{C} \pm 8,0^{\circ}\text{C}$, максимальные значения отмечались в июле и составили $10,7^{\circ}\text{C} \pm 4,6^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 5 показан график годового хода значений индекса ЭТ на станции Омолон, удаленной от побережья. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения эффективной температуры, а синим – среднемесячные значения эффективной температуры.

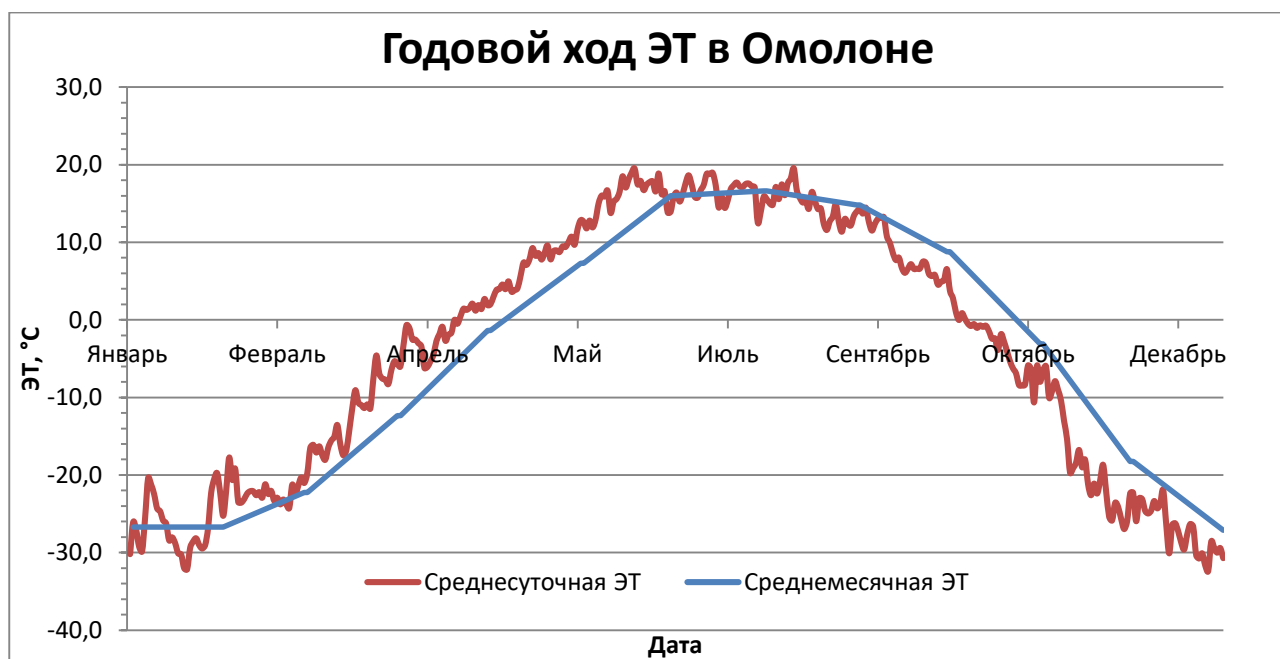


Рисунок 5 – Годовой ход индекса ЭТ на станции Омолон

Из полученного графика видно, что с января по март, с ноября по конец декабря существует угроза обморожения различной степени. В апреле теплоощущения человека изменяются от «холодно» до «умеренно холодно». В

мае и сентябре теплоощущения человека можно охарактеризовать как «прохладно», с июня по август – «умеренно тепло» и «тепло». В октябре теплоощущения человека описываются как «холодно», существует небольшая вероятность обморожения в конце месяца.

Среднемесячные минимальные значения показателя эффективной температуры отмечались в январе и декабре, и составили $-26,7^{\circ}\text{C} \pm 5,3^{\circ}\text{C}$, максимальные значения отмечались в конце июля – начале августа, и составили $16,5^{\circ}\text{C} \pm 2,1^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 6 показаны графики годового хода среднесуточных значений индекса ЭТ на исследуемых станциях. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения эффективной температуры на станции Певек, а синим – среднемесячные значения эффективной температуры на станции Омолон.

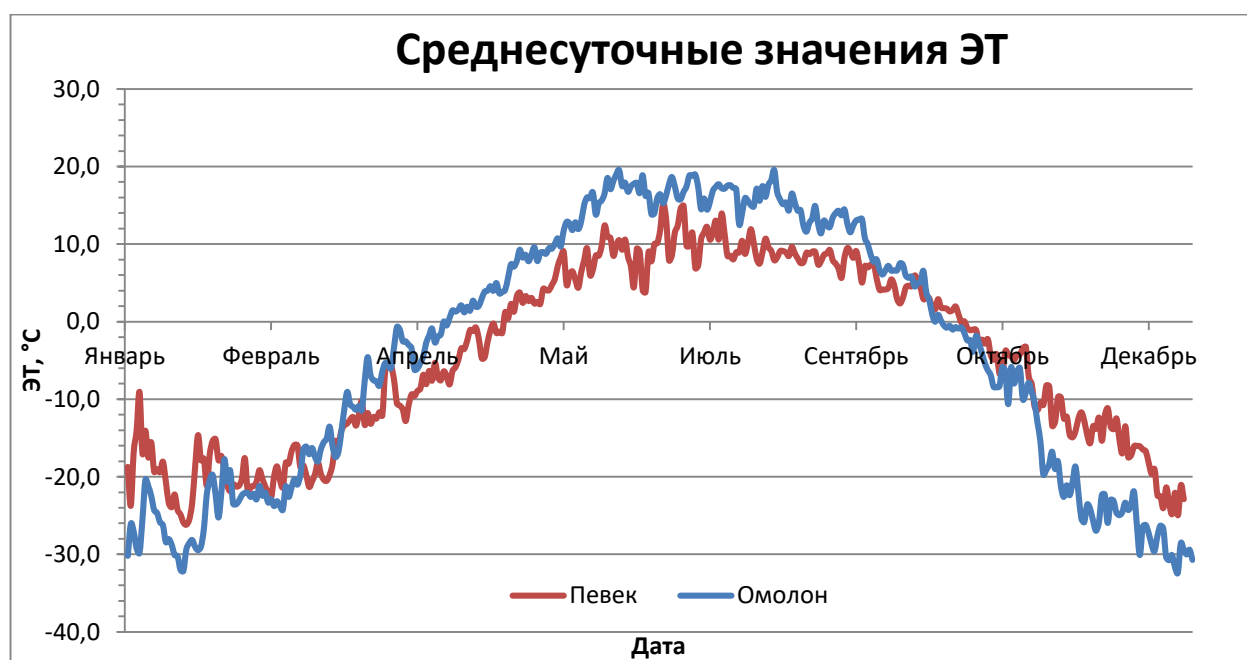


Рисунок 6 – Годовой ход среднесуточных значений индекса ЭТ на станциях Певек и Омолон

Из полученных графиков видно, что на станции Омолон в течение года наблюдаются большие перепады значения эффективной температуры, чем на станции Певек, и более жесткие условия в холодный период года. На побережье наблюдается менее длительный теплый период года с меньшими температурами, чем в регионах удаленных от океанов.

В результате проведенной оценки полученных значений эффективной температуры для различных регионов Чукотского полуострова, можно сделать несколько выводов:

1. В зависимости от сезонов года категории тепловых нагрузок изменяется от «крайне холодно» в холодный период года до «тепло» в теплый период года.
2. По мере удаления от побережья возрастает суровость погодных условий и увеличивается амплитуда колебаний значений эффективной температуры в течение года.
3. В целом, большую часть года на территории полуострова Чукотка наблюдаются дискомфортные погодные условия, что может оказывать негативное влияние на здоровье населения.

3.2 Анализ эквивалентно-эффективной температуры (ЭЭТ)

В ходе работы были рассчитаны значения эквивалентно-эффективной температуры (ЭЭТ) по формуле 2. На рисунке 7 показан график годового хода значений индекса ЭЭТ на станции Певек, расположенной на побережье. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения эквивалентно-эффективной температуры, а синим – среднемесячные значения эквивалентно-эффективной температуры.

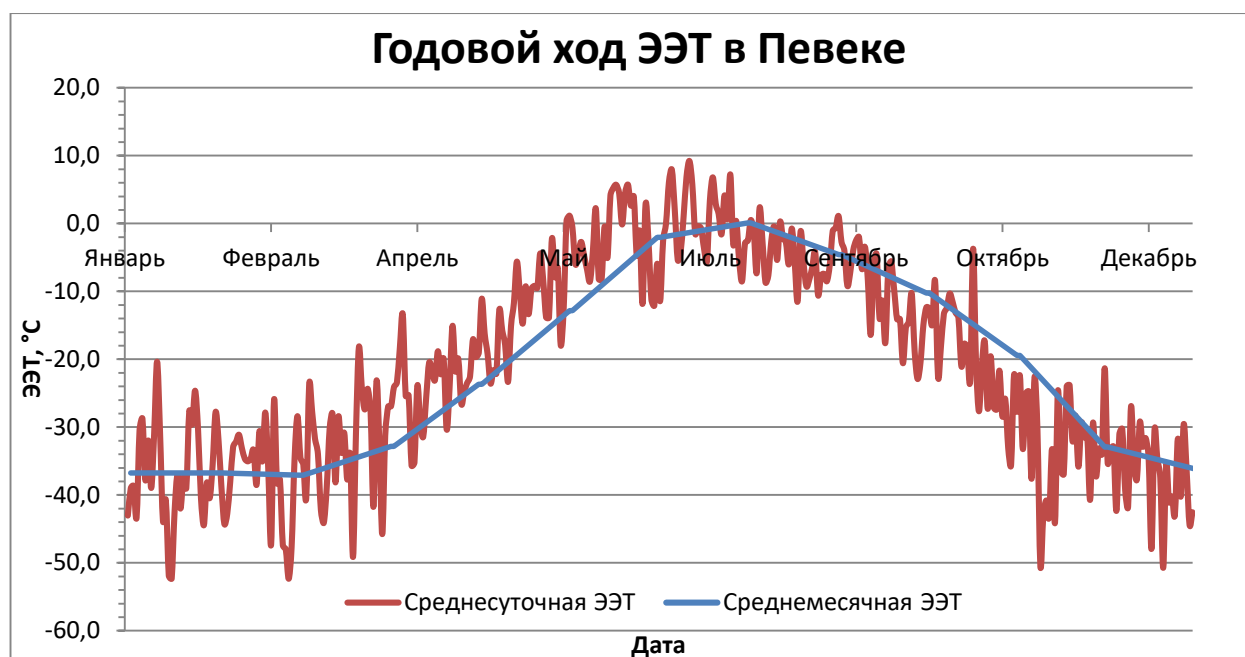


Рисунок 7 – Годовой ход индекса ЭЭТ на станции Певек

Из полученного графика видно, что с января по апрель, с октября по конец декабря существует угроза обморожения различной степени. В мае и сентябре теплоощущения человека можно охарактеризовать как «умеренно холодно» и «холодно», с июня по август – «очень прохладно» и «умеренно прохладно».

Среднемесячные минимальные значения показателя эффективной температуры отмечались в феврале, и составили $-35,1^{\circ}\text{C} \pm 16,7^{\circ}\text{C}$, максимальные значения отмечались в июле и составили $3,2^{\circ}\text{C} \pm 2,6^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 8 показан график годового хода значений индекса ЭЭТ на станции Омолон, удаленной от побережья. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения эквивалентно-эффективной температуры, а синим – среднемесячные значения эквивалентно-эффективной температуры.

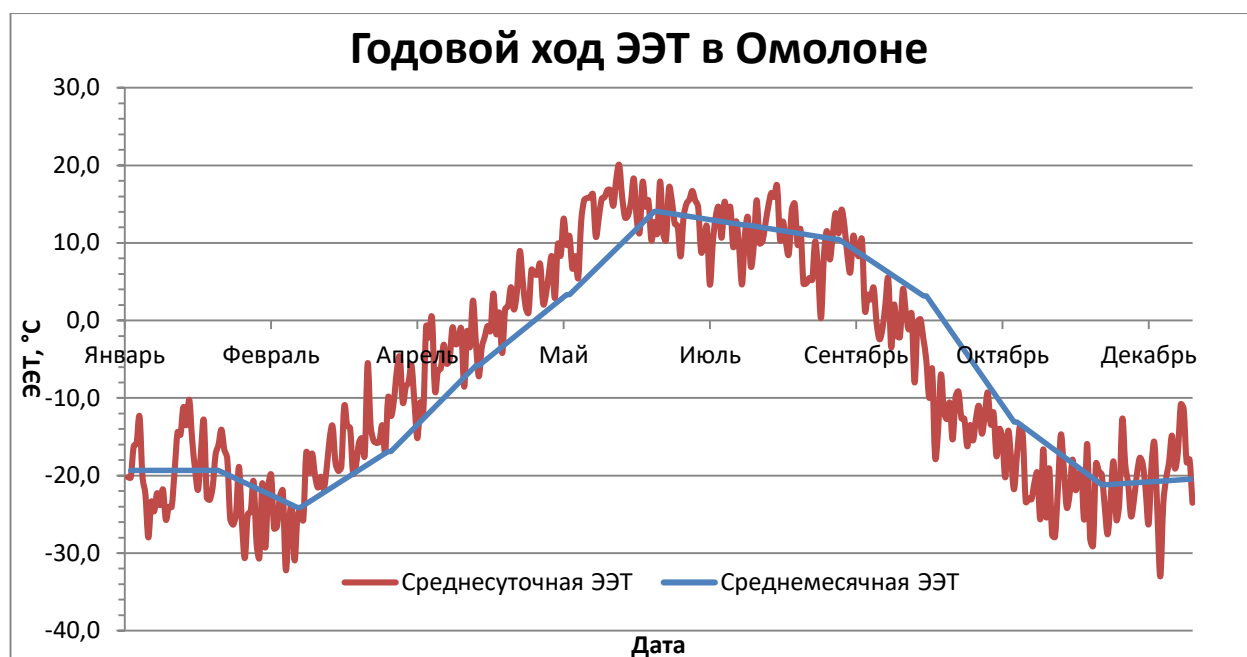


Рисунок 8 – Годовой ход индекса ЭЭТ на станции Омолон

Из полученного графика видно, что с января по середину апреля, с октября по конец декабря существует угроза обморожения различной степени. В апреле угроза обморожения снижается. В мае и сентябре теплоощущения человека можно охарактеризовать как «умеренно холодно» и «холодно», с июня по август – «очень прохладно» и «умеренно прохладно».

Среднемесячные минимальные значения показателя эффективной температуры отмечались в феврале, и составили $-24,1^{\circ}\text{C} \pm 6,8^{\circ}\text{C}$, максимальные значения отмечались в июне, и составили $14,0^{\circ}\text{C} \pm 5,9^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 9 показаны графики годового хода среднесуточных значений индекса ЭЭТ на исследуемых станциях. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения эквивалентно-эффективной температуры на станции Певек, а синим – среднемесячные значения эквивалентно-эффективной температуры на станции Омолон.

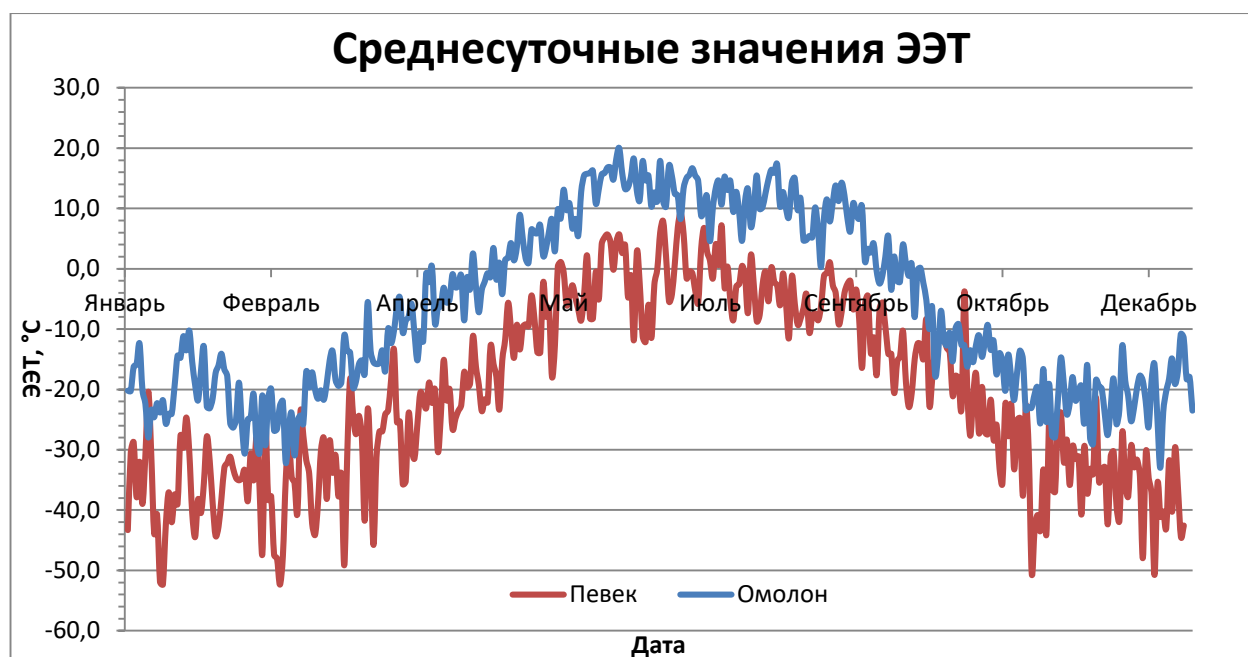


Рисунок 9 – Годовой ход среднесуточных значений индекса ЭЭТ на станциях Певек и Омолон

Из полученных графиков видно, что на станции Певек в течение года наблюдаются более жесткие погодные условия, чем на станции Омолон. На станции Омолон период с положительными эквивалентно-эффективными температурами длится дольше, и значения ЭЭТ превышают соответствующие значения на станции Певек.

В результате проведенной оценки полученных значений эквивалентно-эффективной температуры для различных регионов Чукотского полуострова, можно сделать несколько выводов:

1. В зависимости от сезонов года категории тепловых нагрузок изменяется от «крайне холодно» в холодный период года до «умеренно прохладно» в теплый период года.
2. По мере удаления от побережья значения эквивалентно-эффективной температуры возрастают, амплитуда колебаний значительных изменений не испытывает.

3. В целом, большую часть года на территории полуострова Чукотка наблюдаются дискомфортные погодные условия, что может оказывать негативное влияние на здоровье населения.

3.3 Анализ радиационной эквивалентно-эффективной температуры (РЭЭТ)

В ходе работы были рассчитаны значения радиационной эквивалентно-эффективной температуры (РЭЭТ) по формуле 5. На рисунке 10 показан график годового хода значений индекса РЭЭТ на станции Певек, расположенной на побережье. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения радиационной эквивалентно-эффективной температуры, а синим – среднемесячные значения радиационной эквивалентно-эффективной температуры.

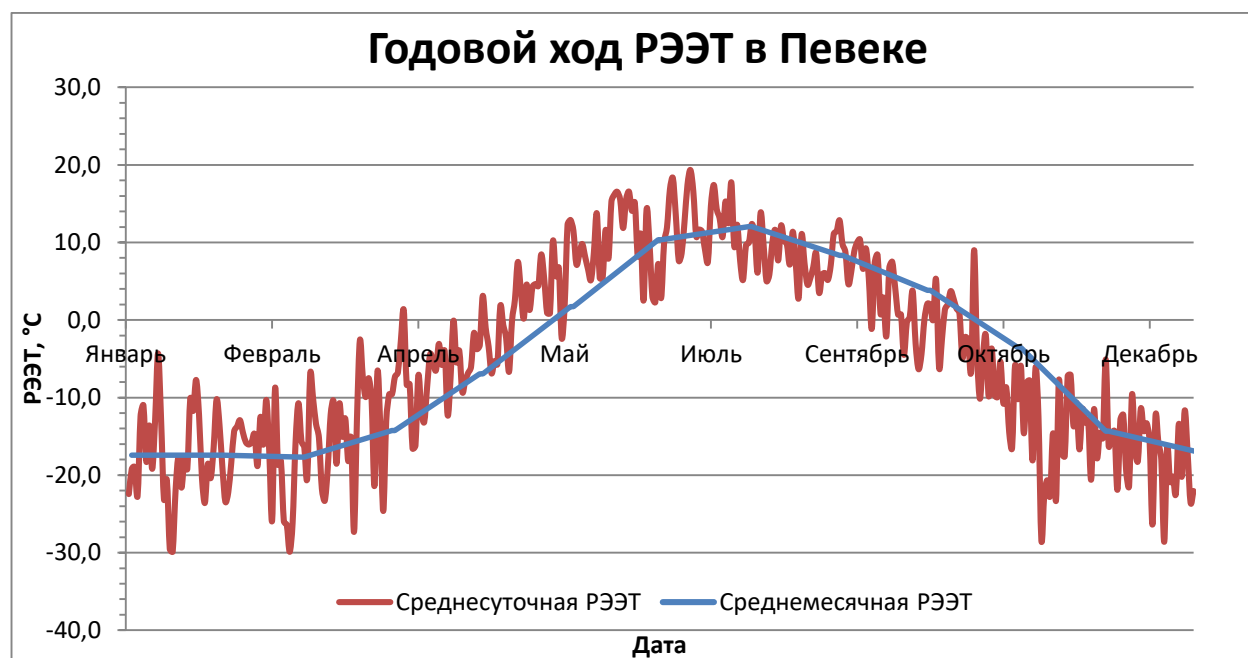


Рисунок 10 – Годовой ход индекса РЭЭТ на станции Певек

Из полученного графика видно, что с января по апрель, с октября по конец декабря существует угроза обморожения различной степени. В мае и сентябре теплоощущения человека можно охарактеризовать как «прохладно», с июня по август – «умеренно прохладно» и «умеренно тепло».

Среднемесячные минимальные значения показателя радиационной эквивалентно-эффективной температуры отмечались в феврале, и составили $-17,7^{\circ}\text{C} \pm 8,9^{\circ}\text{C}$, максимальные значения отмечались в июле и составили $12,4^{\circ}\text{C} \pm 5,3^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 11 показан график годового хода значений индекса РЭЭТ на станции Омолон, удаленной от побережья. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения радиационной эквивалентно-эффективной температуры, а синим – среднемесячные значения радиационной эквивалентно-эффективной температуры.

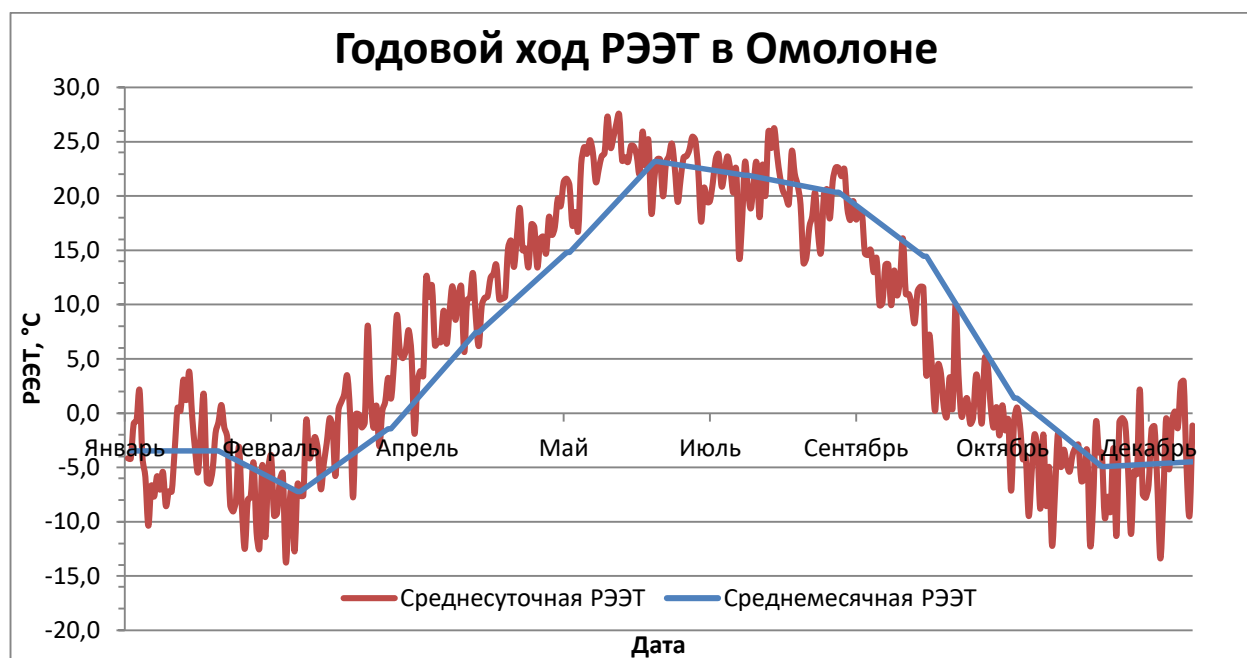


Рисунок 11 – Годовой ход индекса РЭЭТ на станции Омолон

Из полученного графика видно, что с января по март, с ноября по конец декабря существует угроза обморожения различной степени. В апреле теплоощущения человека изменяются от «умеренно холодно» до «умеренно прохладно». В мае и сентябре теплоощущения человека можно охарактеризовать как «умеренно тепло», с июня по август – «умеренно тепло» и «тепло». В октябре теплоощущения человека изменяются от «умеренно прохладно» до «умеренно холодно», существует небольшая вероятность обморожения в конце месяца.

Среднемесячные минимальные значения показателя радиационной эквивалентно-эффективной температуры отмечались в феврале, и составили $-7,2^{\circ}\text{C} \pm 5,2^{\circ}\text{C}$, максимальные значения отмечались в июне, и составили $23,2^{\circ}\text{C} \pm 4,1^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 12 показаны графики годового хода среднесуточных значений индекса РЭЭТ на исследуемых станциях. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения радиационной эквивалентно-эффективной температуры на станции Певек, а синим – среднемесячные значения радиационной эквивалентно-эффективной температуры на станции Омолон.

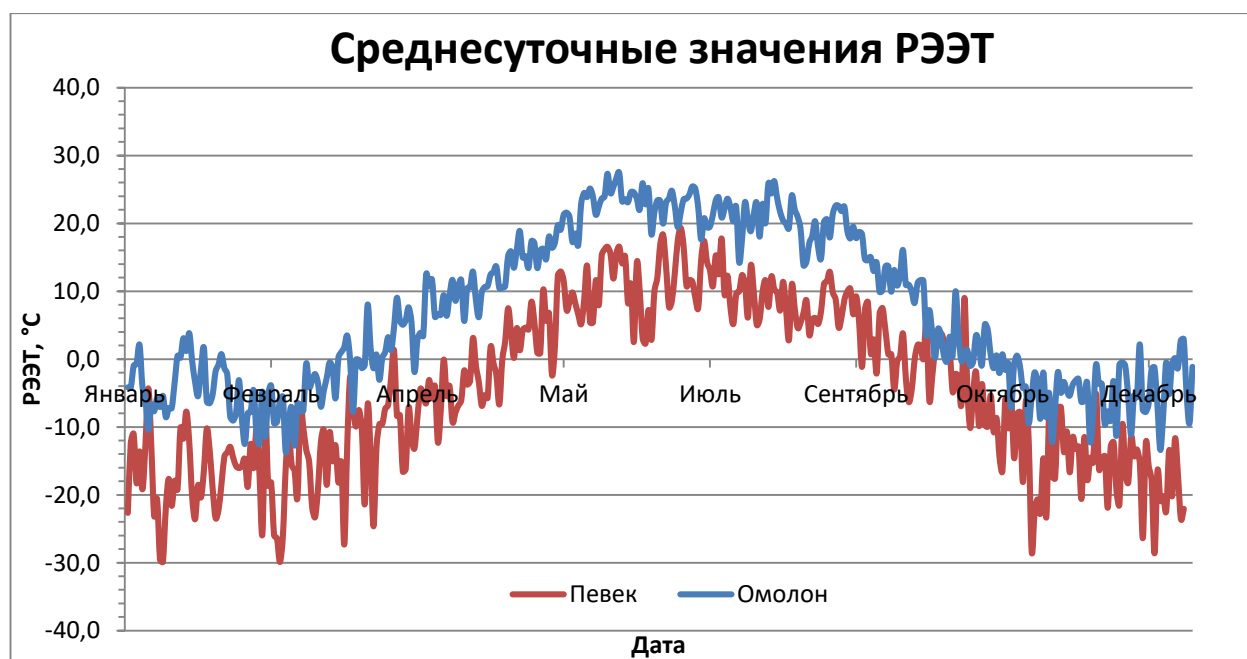


Рисунок 12 – Годовой ход среднесуточных значений индекса РЭЭТ на станциях Певек и Омолон

Из полученных графиков видно, что на станции Певек в течение года наблюдаются более жесткие погодные условия, чем на станции Омолон. На станции Омолон период с положительными эквивалентно-эффективными температурами длится дольше, и значения ЭЭТ превышают соответствующие значения на станции Певек.

В результате проведенной оценки полученных значений радиационной эквивалентно-эффективной температуры для различных регионов Чукотского полуострова, можно сделать несколько выводов:

1. В зависимости от сезонов года категории тепловых нагрузок изменяется от «умеренно холодно» в холодный период года до «тепло» в теплый период года.
2. По мере удаления от побережья значения радиационной эквивалентно-эффективной температуры возрастают, амплитуда колебаний значительных изменений не испытывает.
3. В целом, большую часть года на территории полуострова Чукотка наблюдаются дискомфортные погодные условия, что может оказывать негативное влияние на здоровье населения.

3.4 Анализ индекса эффективной температуры ET

В ходе работы были рассчитаны значения индекса эффективной температуры ET по формуле 6. На рисунке 13 показан график годового хода значений индекса ET на станции Певек, расположенной на побережье. Красным

цветом на графике показаны среднесуточные значения индекса ЕТ, а синим – среднемесячные значения индекса ЕТ.

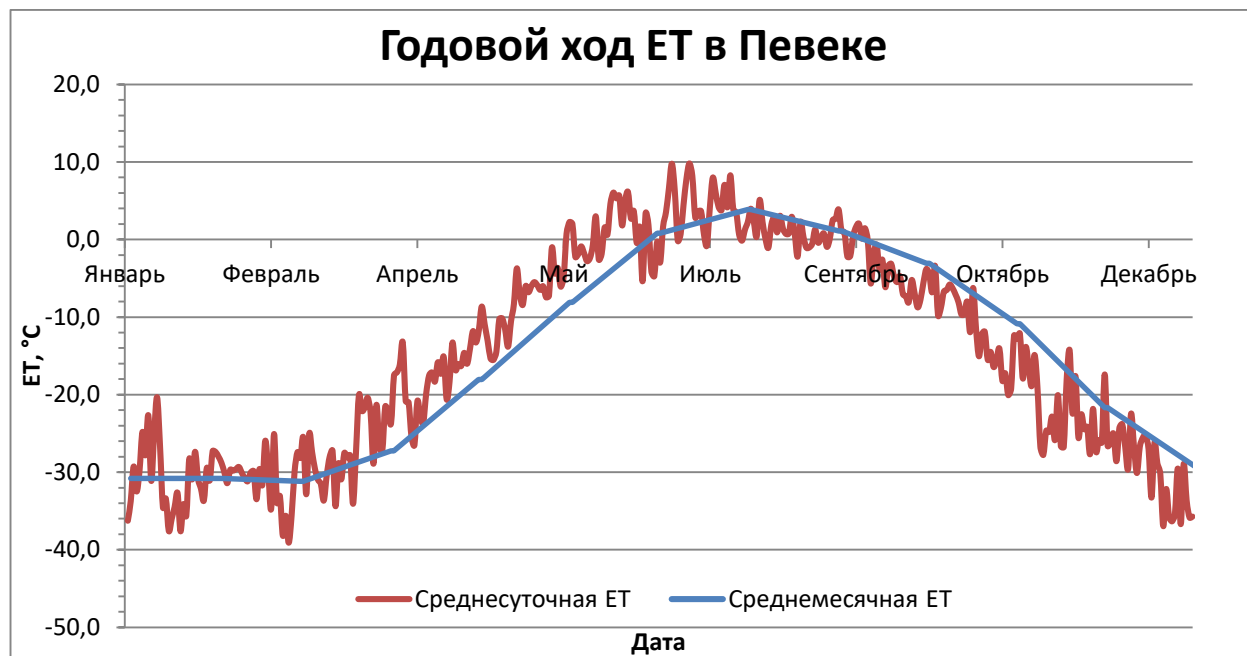


Рисунок 13 – Годовой ход индекса ЕТ на станции Певек

Из полученного графика видно, что с января по первую половину апреля, с ноября по конец декабря существует угроза обморожения, человек испытывает большую нагрузку на организм. Во второй половине апреля и октябре теплоощущения человека можно охарактеризовать как «умеренно холодно», в мае и сентябре – «умеренно прохладно». В период с июня по август теплоощущения человека описываются как «прохладно».

Среднемесячные минимальные значения индекса эффективной температуры ЕТ отмечались в феврале, и составили $-31,1^{\circ}\text{C} \pm 8,2^{\circ}\text{C}$, максимальные значения отмечались в июле и составили $3,8^{\circ}\text{C} \pm 6,5^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 14 показан график годового хода значений индекса ЕТ на станции Омолон, удаленной от побережья. Красным цветом на графике показаны

среднесуточные значения индекса ЕТ, а синим – среднемесячные значения индекса ЕТ.

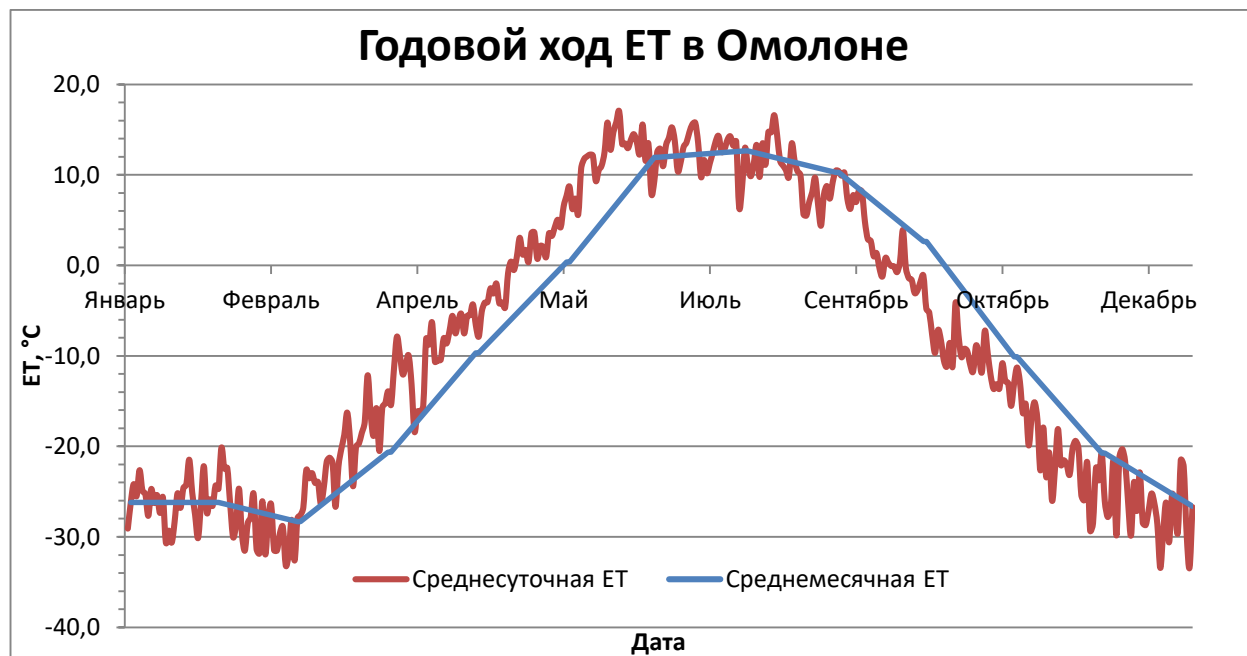


Рисунок 14 – Годовой ход индекса ЕТ на станции Омолон

Из полученного графика видно, что с января по первую половину апреля, с ноября по конец декабря существует угроза обморожения, человек испытывает большую нагрузку на организм. Во второй половине апреля и октябре теплоощущения человека можно охарактеризовать как «умеренно холодно», в мае и сентябре – «умеренно прохладно». В период с июня по август теплоощущения человека описываются как «прохладно» и «умеренно тепло».

Среднемесячные минимальные значения индекса эффективной температуры ЕТ отмечались в феврале, и составили $-28,3^{\circ}\text{C} \pm 5,6^{\circ}\text{C}$, максимальные значения отмечались в июле и составили $12,7^{\circ}\text{C} \pm 3,1^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 15 показаны графики годового хода среднесуточных значений индекса ЕТ на исследуемых станциях. Красным цветом на графике показаны

среднесуточные значения индекса ЕТ на станции Певек, а синим – среднемесячные значения индекса ЕТ на станции Омолон.

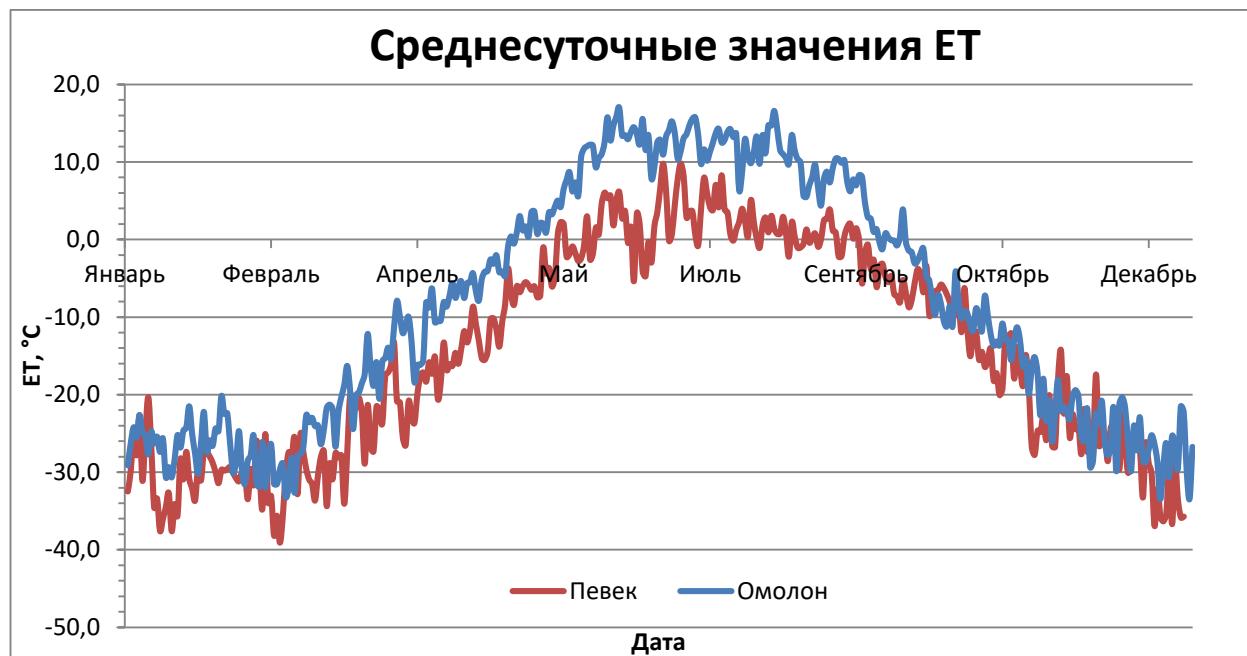


Рисунок 15 – Годовой ход среднесуточных значений индекса ЕТ на станциях Певек и Омолон

Из полученных графиков видно, что на станции Певек в течение года наблюдаются более жесткие погодные условия, чем на станции Омолон. На станции Омолон период с положительными эквивалентно-эффективными температурами длится дольше, и значения ЭЭТ превышают соответствующие значения на станции Певек. Разница между значениями эффективной температуры ЕТ на рассматриваемых станциях в холодный период года уменьшается по сравнению с теплым периодом года.

В результате проведенной оценки полученных значений индекса эффективной температуры ЕТ для различных регионов Чукотского полуострова, можно сделать несколько выводов:

1. В зависимости от сезонов года категории тепловых нагрузок изменяется от «начинается угроза обморожения» в холодный период года до «умеренно тепло» в теплый период года.
2. По мере удаления от побережья значения индекса эффективной температуры ЕТ в теплый период года возрастают, амплитуда колебаний значений индекса эффективной температуры ЕТ возрастает.
3. В целом, большую часть года на территории полуострова Чукотка наблюдаются дискомфортные погодные условия, что может оказывать негативное влияние на здоровье населения.

3.5 Анализ эффективной температуры воздуха (по Р. Сидману)

В ходе работы были рассчитаны значения эффективной температуры воздуха (по Р. Сидману) по формуле 7. На рисунке 16 показан график годового хода значений эффективной температуры воздуха ($T_{эф}$) на станции Певек, расположенной на побережье. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения эффективной температуры, а синим – среднемесячные значения эффективной температуры.



Рисунок 16 – Годовой ход эффективной температуры воздуха ($T_{эф}$) на станции Певек

Из полученного графика видно, что в холодный период года (с января по апрель и с октября по декабрь) одетый по погоде человек заметно снижает риск получения обморожения, но в отдельные дни вероятность обморожения открытых участков кожи присутствует. В теплый период года (с мая по сентябрь) человек существенной нагрузки на организм не испытывает.

Среднемесячные минимальные значения эффективной температуры воздуха ($T_{эф}$) отмечались в январе, и составили $-23,4^{\circ}\text{C} \pm 6,1^{\circ}\text{C}$, максимальные значения отмечались в июле и составили $11,1^{\circ}\text{C} \pm 5,2^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 17 показан график годового хода значений эффективной температуры воздуха ($T_{эф}$) на станции Омолон, удаленной от побережья. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения эффективной температуры, а синим — среднемесячные значения эффективной температуры.

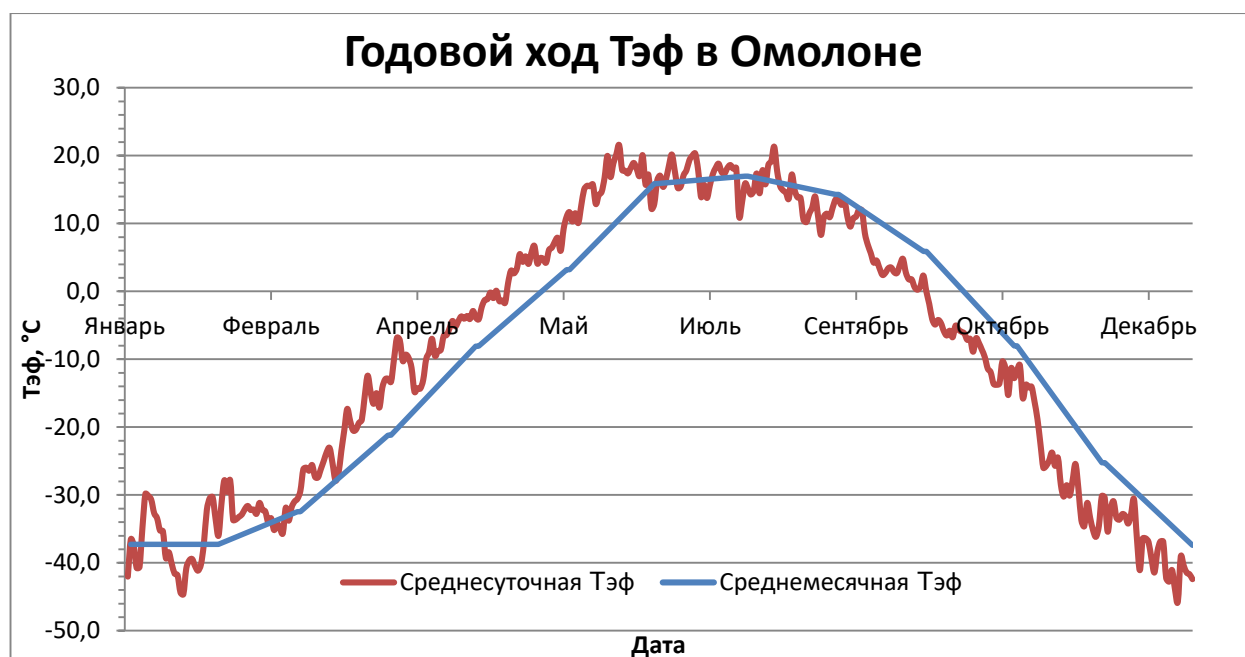


Рисунок 17 – Годовой ход эффективной температуры воздуха ($T_{эф}$) на станции Омолон

Из полученного графика видно, что в период с января по февраль и с ноября по декабрь существует высокая вероятность обморожения открытых участков кожи после непродолжительного нахождения на улице. С февраля по май и с октября по ноябрь одетый по погоде человек заметно снижает риск получения обморожения. В теплый период года (с мая по сентябрь) человек существенной нагрузки на организм не испытывает.

Среднемесячные минимальные значения эффективной температуры воздуха ($T_{эф}$) отмечались в январе, и составили $-32,3^{\circ}\text{C} \pm 8,3^{\circ}\text{C}$, максимальные значения отмечались в июле и составили $17,0^{\circ}\text{C} \pm 3,2^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 18 показаны графики годового хода среднесуточных значений эффективной температуры воздуха ($T_{эф}$) на исследуемых станциях. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения эффективной температуры на станции Певек, а синим – среднемесячные значения эффективной температуры на станции Омолон.

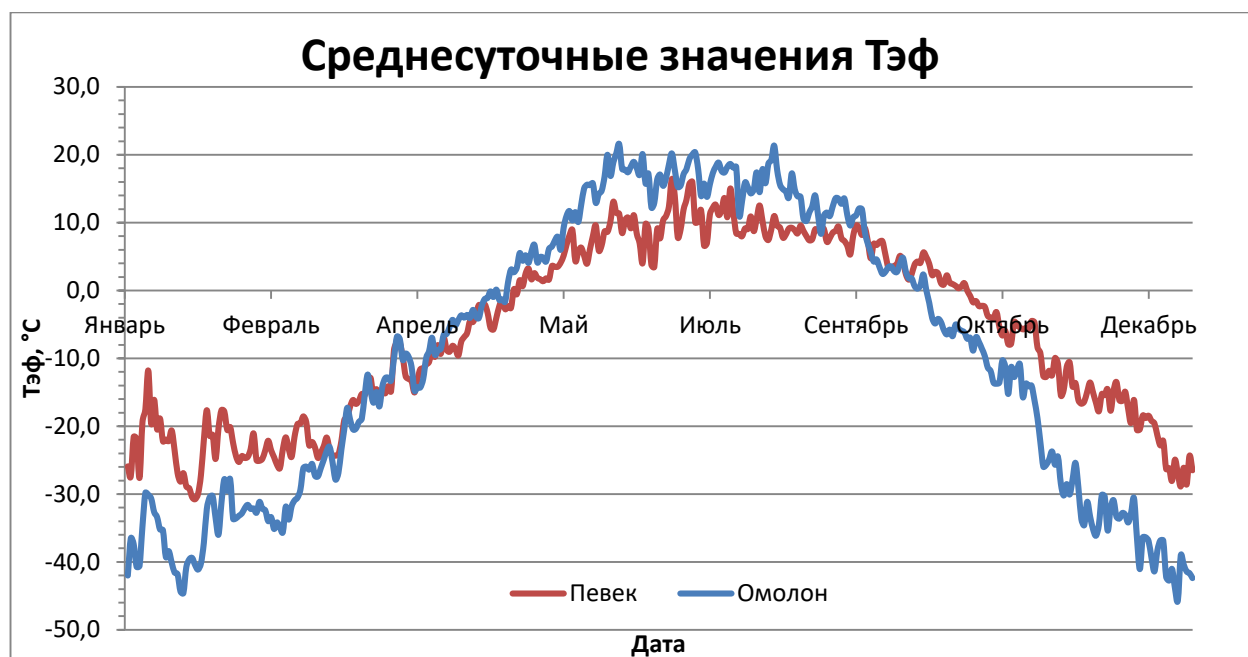


Рисунок 18 – Годовой ход среднесуточных значений эффективной температуры воздуха ($T_{эф}$) на станциях Певек и Омолон

Из полученных графиков видно, что на станции Омолон в холодный период года наблюдаются более жесткие погодные условия, чем на станции Певек. На станции Омолон период с положительными значениями эффективной температуры воздуха длится дольше, и значения $T_{эф}$ превышают соответствующие значения на станции Певек. Внутригодовые колебания значений эффективной температуры увеличиваются при движении от океана, что и наблюдается в случае с рассматриваемыми станциями.

В результате проведенной оценки полученных значений эффективной температуры воздуха ($T_{эф}$) для различных регионов Чукотского полуострова, можно сделать несколько выводов:

1. В зависимости от сезонов года категории комфортности условий изменяется от «вероятность обморожения открытых участков кожи» в холодный период года до относительно комфортных условий в теплый период года.

2. По мере удаления от побережья значения эффективной температуры воздуха ($T_{эф}$) в теплый период года возрастают, амплитуда колебаний значений эффективной температуры возрастает.

3. В целом, большую часть года на территории полуострова Чукотка наблюдаются дискомфортные погодные условия, что может оказывать негативное влияние на здоровье населения.

3.6 Анализ индекса патогенности метеорологической ситуации I (по В.Г. Бокша)

В ходе работы были рассчитаны значения индекса патогенности метеорологической ситуации I (по В.Г. Бокша) по формуле 8. На рисунке 19 показан график годового хода значений индекса патогенности (I) на станции Певек, расположенной на побережье. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения индекса патогенности, а синим – среднемесячные значения индекса патогенности.

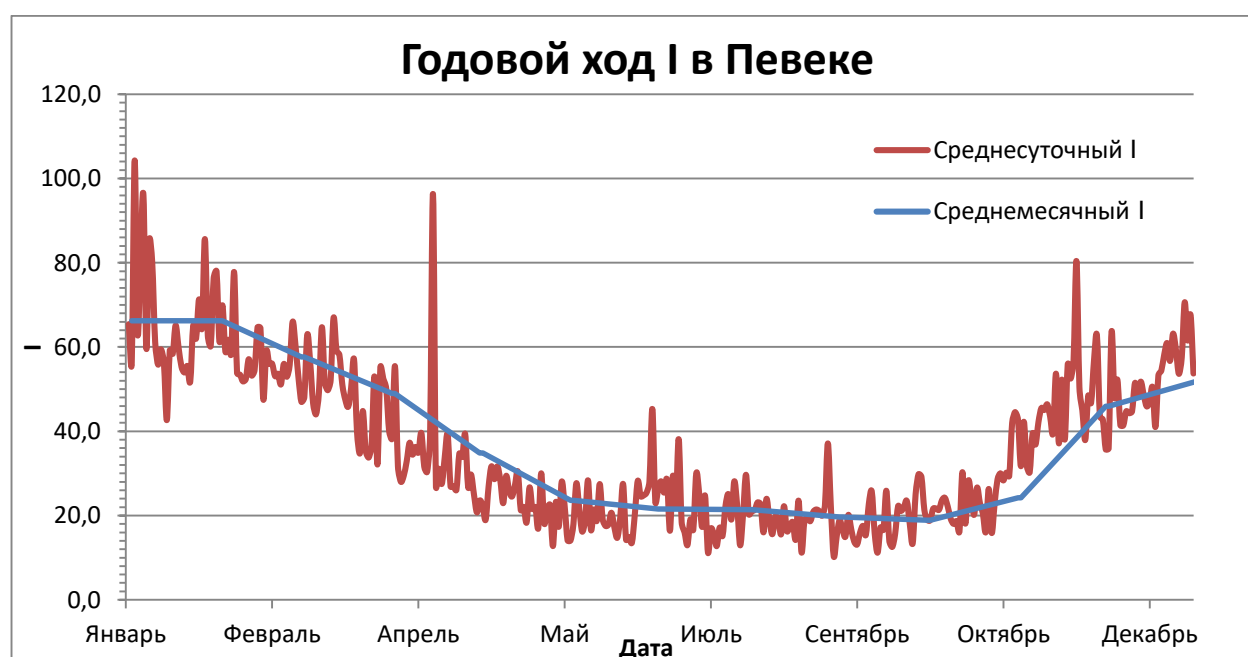


Рисунок 19 – Годовой ход индекса патогенности метеорологической ситуации (I)
на станции Певек

Из полученного графика видно, что с мая по октябрь погодные условия оцениваются как «оптимальные» и «слабораздражающие», в отдельные дни наблюдаются повышения значения индекса патогенности до значений превышающих уровень слабораздражающих условий. В остальную часть года погодные условия оцениваются как «сильно раздражающие» и «острые». Это связано с большими скоростями ветра и высокой относительной влажностью.

Среднемесячные минимальные значения индекса патогенности I отмечались в сентябре, и составили $18,1 \pm 8,2$, максимальные значения отмечались в январе и составили $66,2 \pm 20,5$, в отдельные дни наблюдались повышения значения индекса патогенности до значений равных 100.

На рисунке 20 показан график годового хода значений индекса патогенности (I) на станции Омолон, удаленной от побережья. Красным цветом на графике показаны среднесуточные значения индекса патогенности, а синим – среднемесячные значения индекса патогенности.

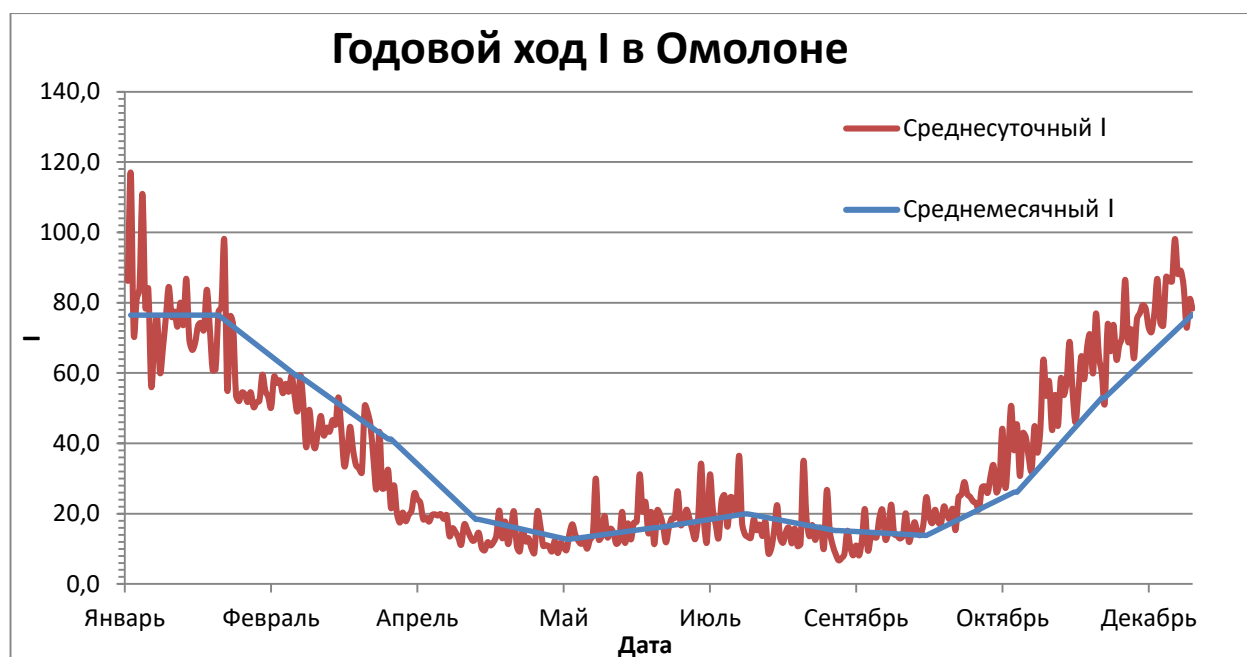


Рисунок 20 – Годовой ход индекса патогенности метеорологической ситуации (I) на станции Омолон

Из полученного графика видно, что с апреля по октябрь погодные условия оцениваются как «оптимальные» и «слабораздражающие», в отдельные дни наблюдаются повешения значения индекса патогенности до значений превышающих уровень умеренно раздражающих условий. В остальную часть года погодные условия оцениваются как «сильно раздражающие» и «острые». Это связано с большими скоростями ветра и высокой относительной влажностью.

Среднемесячные минимальные значения индекса патогенности I отмечались в мае, и составили $12,7 \pm 5,3$, максимальные значения отмечались в январе и составили $76,5 \pm 20,2$, в отдельные дни наблюдались повышания значения индекса патогенности до значений превышающих уровень 100.

На рисунке 21 показаны графики годового хода среднесуточных значений индекса патогенности (I) на исследуемых станциях. Красным цветом на графике

показаны среднесуточные значения индекса патогенности на станции Певек, а синим – среднемесячные значения индекса патогенности на станции Омолон.

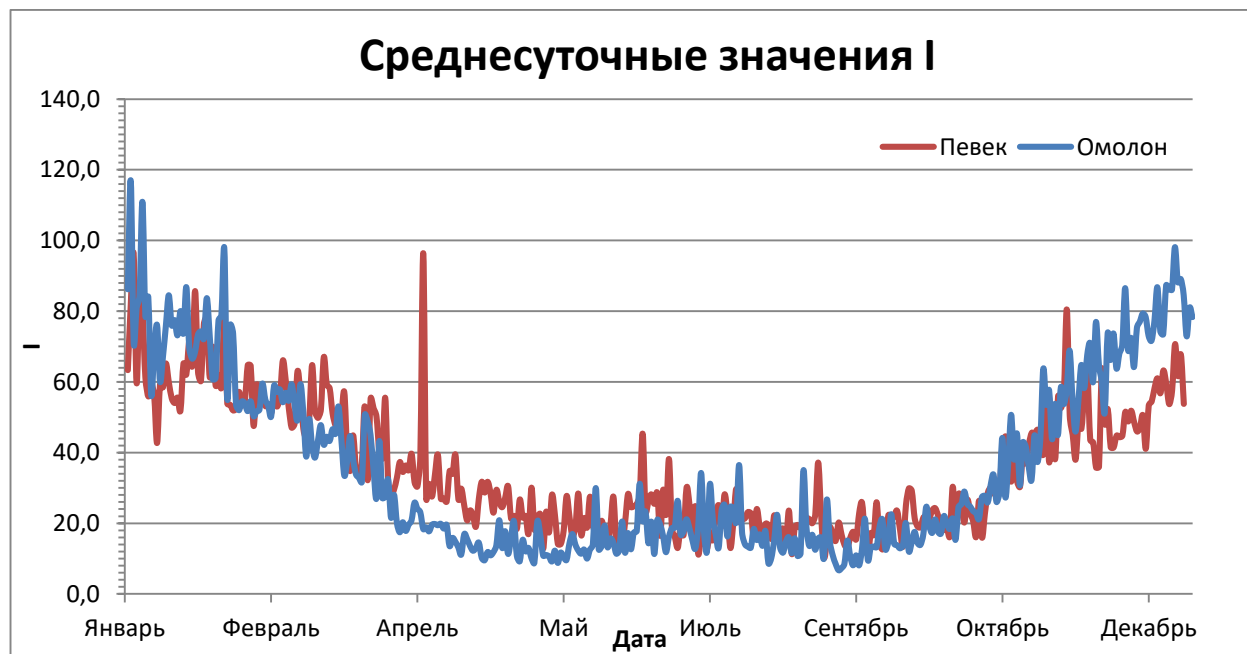


Рисунок 21 – Годовой ход среднесуточных значений индекса патогенности метеорологической ситуации (I) на станциях Певек и Омолон

Из полученных графиков видно, что годовой ход индекса патогенности I на рассматриваемых станциях идентичен. На станции Омолон в холодный период года значения индекса патогенности превышают соответствующие значения на станции Певек. На станции Омолон наблюдается большая амплитуда значений индекса I и период с комфортными погодными условиями длится дольше, чем на станции Певек.

В результате проведенной оценки полученных значений индекса патогенности I для различных регионов Чукотского полуострова, можно сделать несколько выводов:

1. В зависимости от сезонов года погодные условия изменяются от «комфортных» в теплый период года до «острых» с холодный период года.
2. Большую часть года на территории полуострова Чукотка наблюдаются дискомфортные погодные условия, обусловленные наиболее активной циркуляцией в зимний период времени, а также увеличением континентальности климата при движении от побережья. Перечисленные условия могут оказывать негативное влияние на самочувствие и здоровье населения.

3.7 Анализ тепловотерь органами дыхания человека без учета влияния ветра

В ходе работы были рассчитаны тепловотери органами дыхания человека без учета влияния ветра по формулам 10-12. На рисунке 22 показан график годового хода тепловотерь органами дыхания человека без учета влияния ветра (Q_L) в состоянии покоя на станции Певек, расположенной на побережье. Красным цветом на графике показаны среднесуточные тепловотери органами дыхания, а синим – среднемесячные тепловотери органами дыхания.

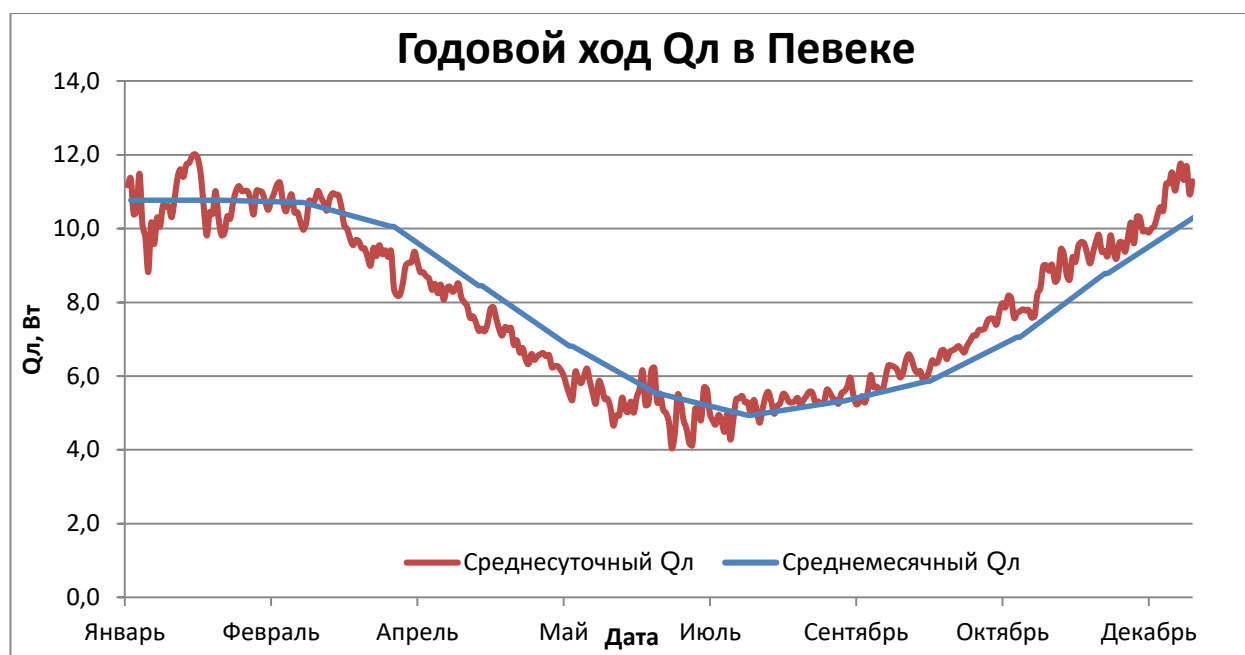


Рисунок 22 – Годовой ход теплопотерь органами дыхания человека без учета влияния ветра ($Q_{\text{л}}$) на станции Певек

Из полученного графика видно, что в холодный период года теплопотери органами дыхания человека в состоянии покоя превышают теплопотери в теплый период года в 2-3 раза, что связано с низкими температурами воздуха. В течение всего года $Q_{\text{л}}$ принимают оптимальные значения. При выполнении работы легкой и средней тяжести значения $Q_{\text{л}}$ увеличиваются в 1,5 и 2 раза соответственно. В холодный период года при выполнении физической нагрузки теплопотери за счет дыхания могут привести к заметному переохлаждению.

Среднемесячные минимальные значения теплопотерь органами дыхания человека без учета влияния ветра ($Q_{\text{л}}$) в состоянии покоя отмечались в июле, и составили $4,9 \text{ Вт} \pm 1,2 \text{ Вт}$, максимальные значения отмечались в январе и составили $10,8 \text{ Вт} \pm 1,9 \text{ Вт}$.

На рисунке 23 показан график годового хода теплопотерь органами дыхания человека без учета влияния ветра ($Q_{\text{л}}$) на станции Омолон, удаленной от побережья.

Красным цветом на графике показаны среднесуточные теплотери органами дыхания, а синим – среднемесячные теплотери органами дыхания.



Рисунок 23 – Годовой ход теплотерей органами дыхания человека без учета влияния ветра (Q_l) на станции Омолон

Из полученного графика видно, что в холодный период года теплотери органами дыхания человека в состоянии покоя превышают теплотери в теплый период года в 3-3,5 раза, что связано с низкими температурами воздуха. В течение всего года Q_l принимают оптимальные значения. При выполнении работы легкой и средней тяжести значения Q_l увеличиваются в 1,5 и 2 раза соответственно. В холодный период года при выполнении физической нагрузки теплотери за счет дыхания могут привести к заметному переохлаждению.

Среднемесячные минимальные значения теплотерей органами дыхания человека без учета влияния ветра (Q_l) в состоянии покоя отмечались в июле, и составили $3,7 \text{ Вт} \pm 1,1 \text{ Вт}$, максимальные значения отмечались в декабре и составили $12,4 \text{ Вт} \pm 1,0 \text{ Вт}$.

На рисунке 24 показаны графики годового хода среднесуточных тепловпотерь органами дыхания человека без учета влияния ветра ($Q_{\text{л}}$) в состоянии покоя на исследуемых станциях. Красным цветом на графике показаны среднесуточные тепловпотери органами дыхания на станции Певек, а синим – среднемесячные тепловпотери органами дыхания на станции Омолон.

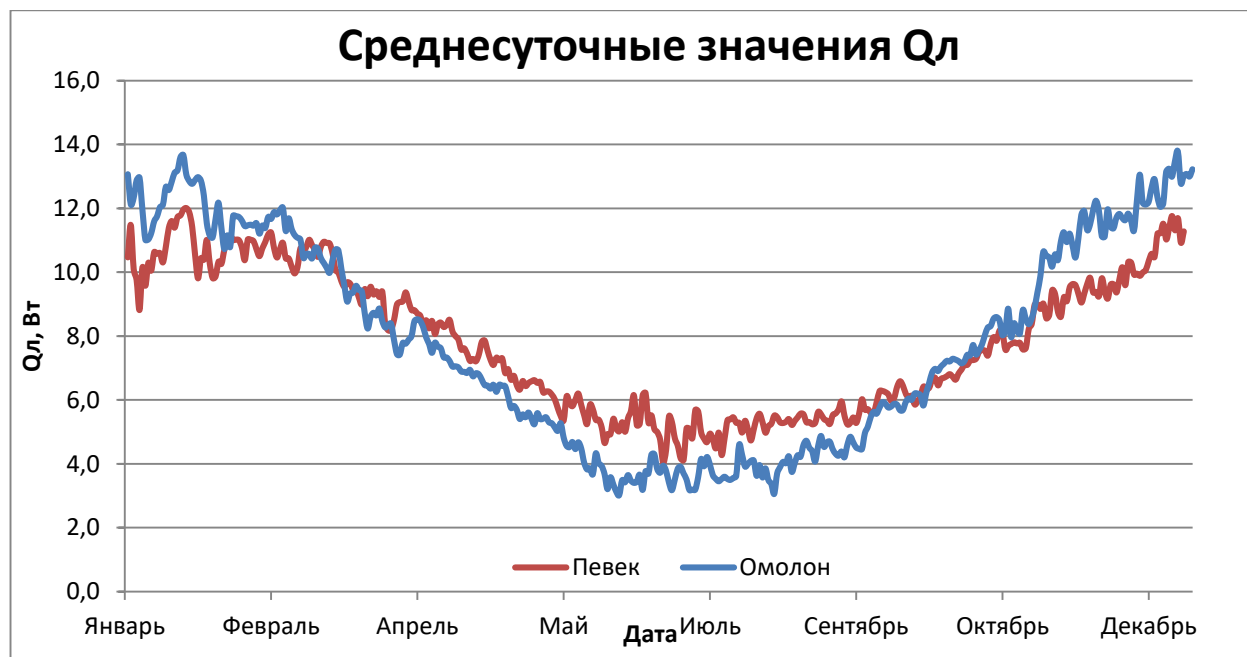


Рисунок 24 – Годовой ход среднесуточных тепловпотерь органами дыхания человека без учета влияния ветра ($Q_{\text{л}}$) на станциях Певек и Омолон

Из полученных графиков видно, что годовой ход тепловпотерь органами дыхания человека на рассматриваемых станциях идентичен. На станции Омолон в холодный период года значения тепловпотерь превышают соответствующие значения на станции Певек. На станции Омолон наблюдается большая амплитуда значений $Q_{\text{л}}$ и период с меньшими тепловпотерями органами дыхания длится дольше, чем на станции Певек, что связано с большими температурами в теплый период года.

В результате проведенной оценки полученных значений теплопотерь органами дыхания человека без учета влияния ветра ($Q_{\text{л}}$) для различных регионов Чукотского полуострова, можно сделать несколько выводов:

1. В течение всего года теплопотери органами дыхания человека в состоянии покоя принимают «оптимальные» значения. При выполнении легкой работы и работы средней тяжести теплопотери изменяются от «оптимальных» в теплый период года до «может приводить к заметному охлаждению» в холодный период года.
2. Большую часть года на территории полуострова Чукотка наблюдаются дискомфортные погодные условия. Увеличение теплопотерь органами дыхания человека, обусловленное низкими температурами, может привести к заметному охлаждению организма человека.

3.8 Анализ теплопотерь органами дыхания человека с учетом влияния ветра

В ходе работы были рассчитаны теплопотери органами дыхания человека с учетом влияния ветра по формулам 13-15. На рисунке 25 показан график годового хода теплопотерь органами дыхания человека с учетом влияния ветра ($Q_{\text{в}}$) в состоянии покоя на станции Певек, расположенной на побережье. Красным цветом на графике показаны среднесуточные теплопотери органами дыхания, а синим – среднемесячные теплопотери органами дыхания.

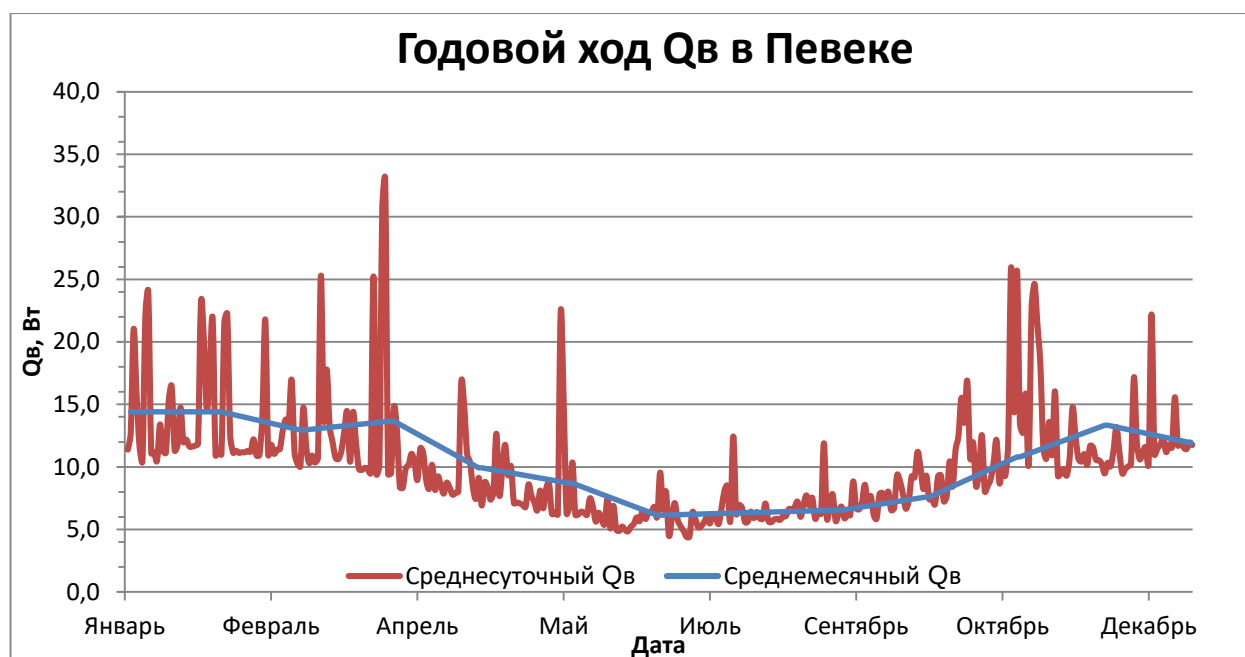


Рисунок 25 – Годовой ход теплопотерь органами дыхания человека с учетом влияния ветра (Q_v) на станции Певек

Из полученного графика видно, что в холодный период года средние значения теплопотерь органами дыхания человека в состоянии покоя превышают теплопотери в теплый период года в 2-3 раза, что связано с низкими температурами воздуха и большими скоростями ветра. В течение всего года средние значения Q_v принимают оптимальные значения, но при рассмотрении среднесуточных значений видно, что теплопотери органами дыхания могут привести к заметному охлаждению организма. При выполнении работы легкой и средней тяжести значения Q_v увеличиваются в 1,5 и 2 раза соответственно. В холодный период года при выполнении физической нагрузки теплопотери за счет дыхания могут привести к переохлаждению организма человека.

Среднемесячные минимальные значения теплопотерь органами дыхания человека с учетом влияния ветра (Q_v) в состоянии покоя отмечались в июне, и составили $6,1 \text{ Вт} \pm 2,8 \text{ Вт}$, максимальные значения отмечались в январе и составили $14,4 \text{ Вт} \pm 8,7 \text{ Вт}$.

На рисунке 26 показан график годового хода теплопотерь органами дыхания человека с учетом влияния ветра (Q_v) в состоянии покоя на станции Омолон, удаленной от побережья. Красным цветом на графике показаны среднесуточные теплопотери органами дыхания, а синим – среднемесячные теплопотери органами дыхания.

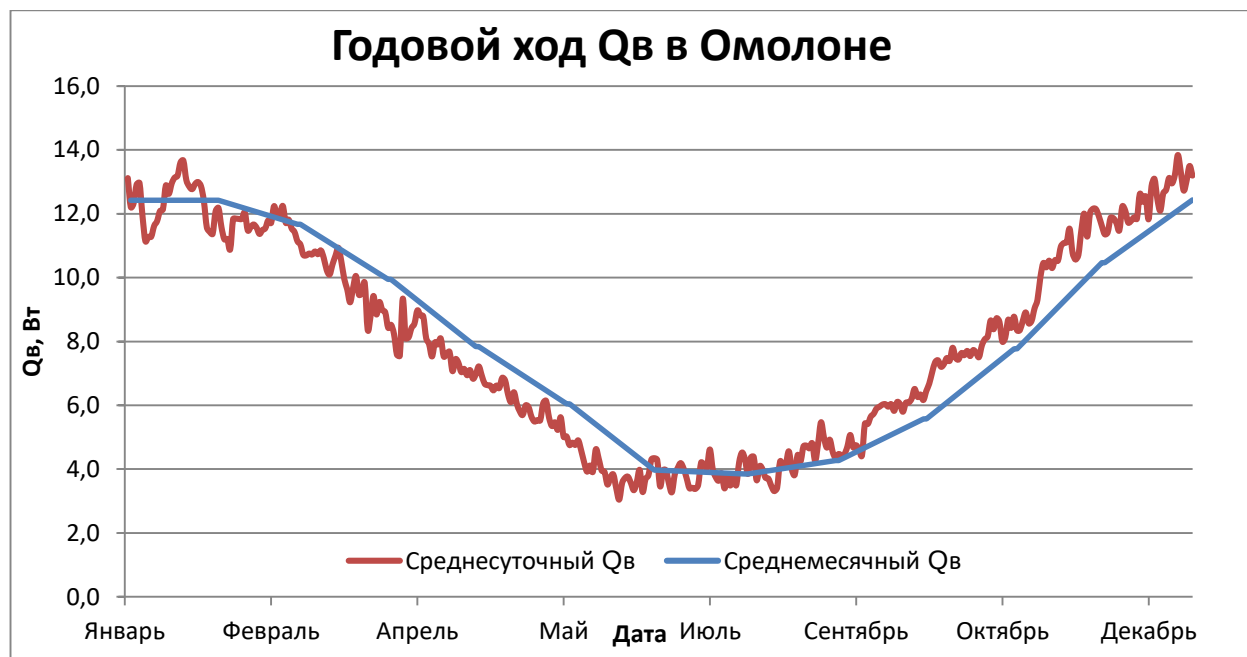


Рисунок 26 – Годовой ход теплопотерь органами дыхания человека с учетом влияния ветра (Q_v) на станции Омолон

Из полученного графика видно, что в холодный период года средние значения теплопотерь органами дыхания человека в состоянии покоя превышают теплопотери в теплый период года в 3-3,5 раза, что связано с низкими температурами воздуха и большими скоростями ветра. В течение всего года средние значения Q_v принимают оптимальные значения, но при рассмотрении среднесуточных значений видно, что теплопотери органами дыхания могут привести к заметному охлаждению организма. При выполнении работы легкой и средней тяжести значения Q_v увеличиваются в 1,5 и 2 раза соответственно. В холодный период года при

выполнении физической нагрузки теплотери за счет дыхания могут привести к переохлаждению организма человека.

Среднемесячные минимальные значения теплотерь органами дыхания человека с учетом влияния ветра (Q_v) в состоянии покоя отмечались в июле, и составили $3,8 \text{ Вт} \pm 1,9 \text{ Вт}$, максимальные значения отмечались в январе и составили $12,4 \text{ Вт} \pm 1,6 \text{ Вт}$.

На рисунке 27 показаны графики годового хода среднесуточных теплотерь органами дыхания человека с учетом влияния ветра (Q_v) в состоянии покоя на исследуемых станциях. Красным цветом на графике показаны среднесуточные теплотери органами дыхания на станции Певек, а синим – среднемесячные теплотери органами дыхания на станции Омолон.

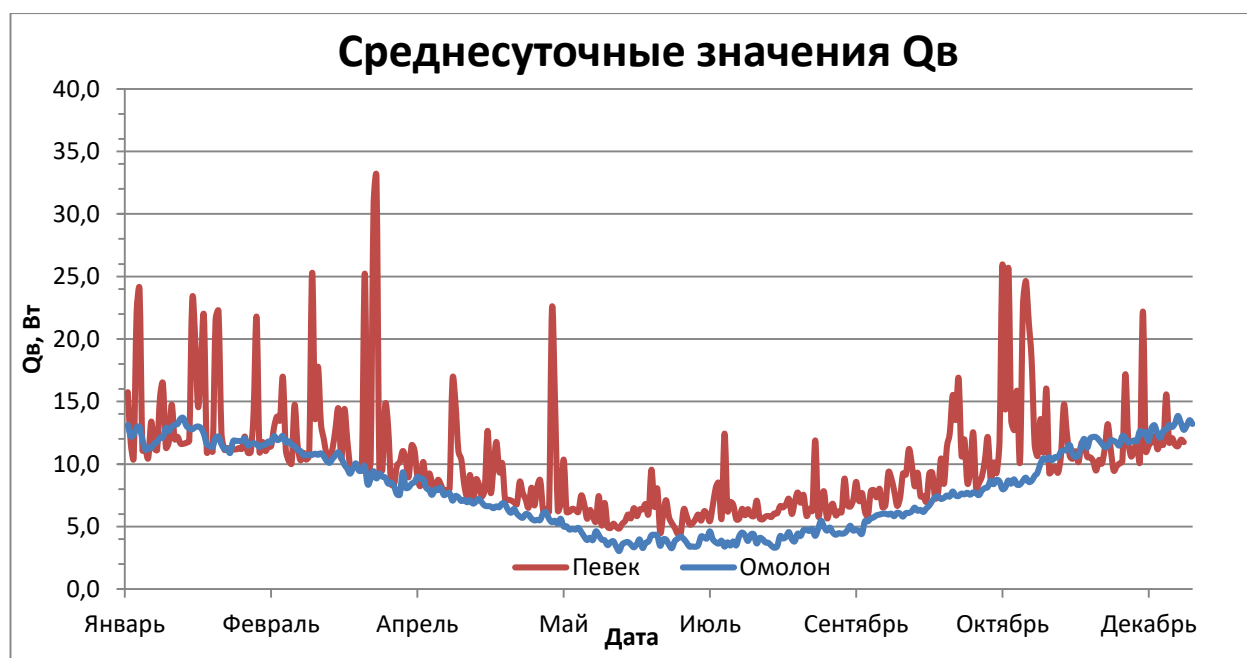


Рисунок 27 – Годовой ход среднесуточных теплотерь органами дыхания человека с учетом влияния ветра (Q_v) на станциях Певек и Омолон

Из полученных графиков видно, что годовой ход теплопотерь органами дыхания человека на рассматриваемых станциях идентичен: в теплый период года наблюдаются минимальные значения, а в холодный период года – максимальные. На станции Певек в течение всего года наблюдаются существенные колебания теплопотерь органами дыхания человека. Это вызвано большими скоростями ветра, обусловленных прибрежным расположением станции.

В результате проведенной оценки полученных значений теплопотерь органами дыхания человека с учетом влияния ветра (Q_v) для различных регионов Чукотского полуострова, можно сделать несколько выводов:

1. В течение всего года теплопотери органами дыхания человека в состоянии покоя изменяются от «оптимальных» до «возможно переохлаждение организма». При выполнении легкой работы и работы средней тяжести теплопотери изменяются от «оптимальных» в теплый период года до «может приводить к заметному охлаждению» в холодный период года.
2. Большую часть года на территории полуострова Чукотка наблюдаются дискомфортные погодные условия. Увеличение теплопотерь органами дыхания человека, обусловленное большими скоростями ветра и низкими температурами, может привести к заметному охлаждению организма человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования было сделано следующее:

1. изучены основные климатические характеристики атмосферы полуострова Чукотка;
2. рассчитаны биометеорологические индексы и затраты тепла на дыхание для станций Певек и Омолон с 2015 по 2020 гг.;
3. построены и проанализированы графики годового хода следующих параметров: ЭТ, ЭЭТ, РЭЭТ, ЕТ, $T_{эф}$, I, $Q_{л}$ и $Q_{в}$.

В ходе исследования было выявлено, что наиболее комфортные условия на Чукотском полуострове наблюдаются в теплый период года с мая-июня по август-сентябрь. Это обусловлено относительно высокой температурой воздуха в данный период и отсутствием резких перепадов метеопараметров. С мая по сентябрь отмечается наибольшее количество приходящей солнечной радиации, что так же положительно влияет на комфортность условий проживания.

Наиболее дискомфортные условия наблюдаются в холодный период года, особенно опасным считается период с ноября по февраль. Это обусловлено низкими температурами воздуха, высокой влажностью и сильными ветрами. В зимний период наблюдается высокая вероятность обморожения и самые низкие значения эффективных температур.

В ходе работы так же была изучена пространственная изменчивость исследуемых параметров. В холодный период года на всей площади исследуемой территории наблюдаются крайне неблагоприятные условия. Наименее острыми по степени воздействия погоды на организм человека являются прибрежные районы Чукотки, а наиболее острыми – континентальные районы. В теплый период года

наиболее благоприятные условия для человека наблюдаются в континентальных районах исследуемого региона, а менее благоприятные условия наблюдаются в прибрежных районах.

При изучении тепловых потерь за счет дыхания в различных условиях было обнаружено, что в холодный период года на всей территории Чукотского полуострова присутствует вероятность получения переохлаждения, которая увеличивается при выполнении работы различной тяжести. В теплый период года наблюдаются оптимальные погодные условия. Пространственная изменчивость параметров $Q_{\text{л}}$ и $Q_{\text{в}}$ связана с большими скоростями ветра в прибрежных районах, что приводит к увеличению тепловых потерь за счет дыхания в указанных районах.

Из всего выше сказанного следует, что на полуострове Чукотка наблюдаются дискомфортные для человека погодные условия в холодный период года, а в теплый период – число дней с комфортными условиями невелико. В зимний период менее острые условия наблюдаются в прибрежных районах, а наиболее комфортные условия в летний период – в удаленных от побережья районах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самойлова Г. С. Чукотский Автономный Округ. Большая российская энциклопедия – М.: 2004-2017.
2. Голубчиков Ю. Чукотка. Журнал «География» № 18. 2004.
3. Осипов Ю.С. Чукотское нагорье. Большая российская энциклопедия – М.: 2004-2017.
4. Полянская Е.А. Синоптические процессы Восточной Сибири и Дальнего Востока. Учебное пособие, 1 часть. – Саратов, 2011.
5. Яковлев М.Ю., Салтыкова М.М., Банченко А.Д., Федичкина Т.П., Нагорнев С.Н., Худов В.В., Балакаева А.В., Бобровницкий И.П. Основные механизмы, обуславливающие развитие метеотропных реакций. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 10, 2018, с. 187-192.
6. Диханова З. А., Мухаметжанова З. Т., Исакова А. К., Алтаева Б. Ж., Мукашева Б. Г. Влияние климата на организм человека. Гигиена труда и медицинская экология. №1 (54), 2017.
7. Головина Е.Г. Оценка биометеорологического режима атмосферы. Учебное пособие. РГГМУ. – СПб: 2018, 32 с.
8. Курс лекций по биометеорологии. Российский государственный гидрометеорологический университет [электронный ресурс]
<https://ecoimpact-ple.com/en/categories/157.html>
9. Ткачук С.В. Сравнительный анализ биоклиматических индексов для прогноза с использованием мезомасштабной модели. Ученые записки № 20. Метеорология. 2013, с. 109-118.
10. Андреев С.С. Биоклиматические показатели (индексы). Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. № 4. 2007, с. 109-110.

11. Головина Е. Г., Русанов В. И. Некоторые вопросы биометеорологии. СПб, 1993, 90 с.
12. Официальный сайт ФГБУ «Чукотское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [электронный ресурс] <http://chukotmeteo.ru/index.php>
13. Архив метеорологической информации [электронный ресурс] www.rp5.ru