

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ  
Кафедра геоэкологии и природопользования

РЕКОМЕНДОВАНО К ЗАЩИТЕ  
В ГЭК  
Заведующий кафедрой  
д.б.н., доцент  
\_\_\_\_\_ А.В. Синдирева  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
магистра

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА МИКРОКЛИМАТА ЭОЛОВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА  
И ЛИСТВЕННИЧНЫХ РЕДКОЛЕСИЙ В НАДЫМСКОМ ПРИОБЬЕ**

05.04.06 Экология и природопользование  
Магистерская программа «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнила работу  
студентка 2 курса  
очной  
формы обучения

Франк  
Кристина  
Андреевна

Научный руководитель  
д.б.н., доцент

Соромотин  
Андрей  
Владимирович

Рецензент  
к. г.-м. н., ученый секретарь ТюмНЦ  
СО РАН

Устинова  
Елена  
Валерьевна

Тюмень  
2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА I. МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ.....	7
1.1. ПОНЯТИЕ МИКРОКЛИМАТА .....	7
1.2. ОСОБЕННОСТИ МИКРОКЛИМАТА ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ .....	10
ГЛАВА II. КРАТКАЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	13
2.1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	13
2.2. КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ .....	14
2.3. ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ, ЛАНДШАФТНАЯ И ГЕОБОТАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕСЧАНОГО МАССИВА.....	17
2.4. ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ, ЛАНДШАФТНАЯ И ГЕОБОТАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЛИСТВЕННИЧНОГО РЕДКОЛЕСЬЯ.....	21
ГЛАВА III. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	23
3.1. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ .....	23
3.2. ОБЪЕМ СОБРАННОГО МАТЕРИАЛА.....	27
ГЛАВА IV. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА.....	34
4.1. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА НА ЭЛЕМЕНТАХ МЕЗОРЕЛЬЕФА ЕСТЕСТВЕННОГО ПЕСЧАНОГО МАССИВА.....	34
4.1.1. ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА .....	34
4.1.2. ОСОБЕННОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ .....	39
4.1.3. ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА .....	42
4.1.4. ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПЕСЧАНОМ МАССИВЕ.....	46
4.2. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА В РАЙОНЕ РЕДКОСТОЙНОГО ЛИСТВЕННИЧНОГО ЛЕСА.....	50
4.2.1. ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА .....	50

4.2.2. ОСОБЕННОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ .....	55
4.2.3. ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА .....	58
4.2.4. ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В РАЙОНЕ РЕДКОСТОЙНОГО ЛИСТВЕННИЧНОГО ЛЕСА .....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	65
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КООРДИНАТЫ ИЗМЕРЯЕМЫХ ТОЧЕК .....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ИЗМЕРЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ «МЕТЕОСКОПА-М» .....	72
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ «ТЕРМОВЛАГОМЕРА ПОЧВЫ TR – 46908» И «ИНФРАКРАСНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИРОМЕТРА- ТЕРМОГИГРОЕТРА СЕМ DT-8663» .....	75

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность диссертационного исследования**

Важнейшее значение для безопасного функционирования природных и природно-антропогенных экосистем имеют как общеклиматические характеристики, так и микроклиматические различия отдельных территорий. Учет микроклиматических условий является актуальным в биогеоценологических и метеорологических исследованиях, к примеру, для изучения адаптивных стратегий фитопопуляций к особенностям рельефа, и является обязательным элементом программы полевых работ. При этом, наиболее востребованными микроклиматическими факторами при оценке текущего влияния погодных условий на растительность являются тепло- и влагообеспеченность. Микроклимат северных песчаных дюн и лесов Сибири практически не изучался. Следовательно, правильная оценка климата приземных слоев, определяемая влиянием подстилающей поверхности, приобретает большое значение и свидетельствует о заметно возросшем в последнее время интересе к микроклиматическим исследованиям.

**Цель исследования** – определить особенности микроклимата на различных элементах мезорельефа естественного песчаного раздува и в антропогенно нарушенном редкостойном лиственничном лесу.

**Объекты исследования:** приземный слой атмосферы эоловых форм рельефа и естественных лиственничных редколесий Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа.

**Предмет исследования:** особенности формирования метеозлеменов микроклимата на эоловых формах рельефа и в антропогенно нарушенном лиственничном редколесье.

Исходя из указанной цели, решались следующие **задачи:**

- По литературным источникам выявить особенности формирования микроклимата естественных ландшафтов.
- Изучить физико-географические особенности района исследований.

- Подобрать наиболее приемлемые методы, приборы и режимы изучения микроклимата в естественной среде.
- Провести оценку микроклиматических особенностей различных элементов мезорельефа песчаного раздува (вершина дюны, наветренная сторона, подветренная сторона).
- Провести оценку микроклиматических особенностей различных участков лиственничного редколесья (вырубка, вырубка древостоя с минерализацией почвенного покрова, естественный лиственничник).

**Методы исследования.** При выполнении исследования использовались методы: географического районирования, картографический, статистического анализа полевых исследований и наблюдений, сравнительно-географический, методы микроклиматологии и др.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- Относительная влажность воздуха и отсутствие ветровой нагрузки имеют определяющее значение для формирования растительности в условиях раздуваемых песков.
- Наиболее благоприятное сочетание микроклиматических параметров среды (относительно высокая температура воздуха, минимальные значения скорости ветра, максимальные значения влажности) наблюдается на техногенно - нарушенном участке, поросшем лиственничным молодняком (взлетная полоса).

**Научная новизна:**

- Впервые по единой методике проведены микроклиматические наблюдения в естественных условиях песчаного раздува в лиственничном редколесье с применением универсального измерителя параметров микроклимата-«Метеоскопа-М» на нескольких смежных участках.
- Впервые выявлены особенности микроклимата приземного слоя атмосферы основных элементов мезорельефа песчаного раздува.

**Практическая значимость работы:**

- Нами показано, что с помощью «Метеоскопа-М», «Цифрового лазерного инфракрасного пирометра-гигрометра ДТ-8663», можно получить достоверные

сведения и стабильные результаты, что может служить основанием для использования этих приборов в дальнейшем при изучении метеоэлементов микроклимата в естественных условиях.

- Апробированная нами методика исследований микроклимата, может быть использована в геоэкологических исследованиях естественных экосистем.

Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены на Международной научно-практической конференции "Экосистемные услуги и менеджмент природных ресурсов" и на III Всероссийском конкурсе студенческих научных работ по арктической тематике среди организаций-участников Национального Арктического научно-образовательного консорциума.

Основными материалами для написания диссертации послужили литературные источники, фондовые материалы НИИ экологии и РИПР ТюмГУ, а также личные данные автора, собранные в период прохождения производственной практики в Надымском районе Ямало-Ненецкого АО летом 2019 года.

Личный вклад автора заключается в анализе литературы, планировании и проведении замеров параметров микроклимата, статистической обработке полученных полевых данных, формулировке защищаемых положений и выводов, написании диссертации.

# ГЛАВА I. МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

## 1.1. ПОНЯТИЕ МИКРОКЛИМАТА

Пристальное внимание в настоящее время уделяется проблеме изменения климата. Человечество обеспокоено ощутимыми климатическими изменениями, для контроля которых, во избежание глобальных проблем, в 1988 г. была учреждена Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). На сегодняшний день, организация подготовила ряд отчетов, затрагивающих сведения о климате, его вариациях, моделях и степени соответствия данным наблюдений [Семенов и др., 2015].

Наиболее значимыми и часто используемыми, служат климатические показатели у поверхности земли.

Микроклиматом называют местные особенности климата, обусловленные неоднородной структурой подстилающей поверхности и существенно меняющиеся на небольших расстояниях. Микроклимат рассматривается как климат единиц рельефа в пространственном масштабе от 10 до 100 м<sup>2</sup>, в противоположность макромасштабным климатическим процессам [Синицина и др., 1973]. Он объединяет явления, происходящие в слое воздуха, измеряемом до 1,5 - 2,0 м над поверхностью почвы, в непосредственной зависимости от узкоместных свойств деятельного слоя: микрорельефа, характера растительности и т.п. [Сапожникова, 1973]. В географическом районе с одним и тем же типом климата, могут наблюдаться существенные различия метеорологических элементов, условий тепло- и влагообмена.

Масштабы микроклиматических явлений столь сильно отличаются от масштабов общеметеорологических явлений, изучаемых сетью метеорологических станций, расположенных на расстоянии десятков километров друг от друга, что для их изучения необходимо использовать

специальную аппаратуру и иные методы исследований [Баянов, Хамидуллин, 2007].

Микроклимат характеризуется большей пространственной неоднородностью метеорологического режима и четкой связью с суточной периодичностью в притоке солнечной радиации. Он формируется под воздействием общих фоновых факторов климатообразования, характерных для данной широтной зоны и зависит от горизонтальной и вертикальной структуры ландшафта [Щербань, 1985]. Важной особенностью влияния микроклиматообразующих факторов является то, что количественные изменения метеорологических величин проявляются по-разному в различных климатических зонах, при этом значительную роль так же играют условия погоды. В пределах небольшой территории микроклиматические различия могут превышать их величину при переходе из одной климатической зоны в другую. Поэтому, одной из причин мозаичности фитоценозов является пространственная неоднородность метеорологического режима в системе воздух-поверхность-почва [Романова и др., 1983].

«Для корректной оценки микроклимата местности необходима синхронность, достаточная длительность и непрерывность метеорологических наблюдений, а также учет особенностей географической обстановки (географическое положение местности, характер подстилающей поверхности, рельеф, почвенный покров, гидрографическая сеть, растительность)» [Гольцберг, 1967 с. 53].

На первом месте, при образовании микроклиматических режимов, выступает роль подстилающей поверхности. Все процессы, которые формируют метеорологический режим на и над земной поверхностью, можно выразить через структуру радиационного и теплового балансов, а также баланса массы (углекислого газа и воды). Как результат взаимодействия энерго- и массообмена в системе воздух-поверхность-почва, рассматривается локальный метеорологический режим. Это процессы энергетического баланса на поверхности, влагообмена в воздухе и почве, теплообмена в воздухе и почве,

химических и обменных процессов в растительном покрове. Следовательно, микроклимат рассматривается как естественная реакция природных объектов на внешнее воздействие и, прежде всего, это фоновое воздушное пространство, солнечная радиация, атмосферные осадки [Дроздов и др., 1989]. Такой подход позволяет уделить внимание изложению причин и следствий, что создает основу для целенаправленного воздействия на микроклимат. Следует признать, что общим для всех мелкомасштабных режимов является факт их существования в пределах ограниченной области непосредственного взаимодействия подстилающей поверхности с атмосферой, где локальные изменения самой поверхности влияют на местную структуру радиационного теплового баланса, что вызывает заметные микроклиматические различия. Таким образом, процессы в приземном слое воздуха, в непосредственной близости к поверхности, зависят, прежде всего, от состояния этой поверхности [Романова и др., 1983].

Во время микроклиматических исследований подлежат измерению микроклиматические характеристики – температура, влажность, ветер, а также характеристики радиационного, теплового, водного и других балансов на уровне подстилающей поверхности. Задача микроклиматологии – оценка количественных различий между изучаемыми объектами и в качестве микроклиматических показателей выступают разности соответствующих метеорологических характеристик.

Успешность микроклиматологии и возможности применения сведений в практической деятельности определяется совершенством методов, использованных для получения микроклиматической информации.

Основные вопросы, которые связаны с микроклиматическими наблюдениями сводятся к следующим [Пигольцина, Зиновьева, 2010]:

- микроклиматические измерения проводятся на нескольких участках по единой методике и в одни и те же сроки;
- микроклиматические различия проявляются по-разному в течение суток, т.к. на метеорологический режим влияет ряд факторов;

- формирование режима вблизи земной поверхности происходит в процессе вертикального радиационного, тепло- и влагообмена;
- различия в микроклиматических показателях проявляются ниже общепринятого уровня измерений (2,0 м);
- для оценки достоверности различий нужно провести статистическую обработку;
- измерению подлежат метеорологические характеристики и компоненты, теплового, радиационного и водного балансов.

Основным преимуществом микроклиматических наблюдений является возможность получения больших рядов измеряемых параметров. Полученный материал должен быть представлен в наглядном и удобном для использования виде [Несмелова, Филлипова, 2006].

## 1.2. ОСОБЕННОСТИ МИКРОКЛИМАТА ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

Анализ литературных источников по микроклиматической проблематике показал, что все исследования условно можно разделить на три направления – микроклимат рабочих зон (помещений), микроклимат городской среды и микроклимат естественных ландшафтов.

Основная часть опубликованных исследований посвящена особенностям микроклимата рабочих зон, в которых приводится детальный и всесторонний анализ комплексного воздействия определенных факторов окружающей среды на активность и самочувствие человека.

В соответствии с Федеральным законом о техническом регламенте о безопасности зданий и сооружений [№348-ФЗ от 30 декабря 2009 г.] при проектировании зданий и сооружений, предназначенных для безопасного пребывания человека, обеспечение устойчивых параметров микроклимата жилых помещений является задачей первостепенной важности. В первой половине прошлого века, в совокупности с развитием массового жилищного и промышленного строительства, начались первые серьезные научные

исследования микроклимата жилых и производственных помещений [Губернский, Корневская, 1978; Измеров, 1987; Медведев, 1985].

Следующий блок публикаций посвящен особенностям формирования микроклимата в городах. Общеизвестно, что температура воздуха внутри городской застройки несколько выше, чем над окружающей сельской местностью, что ведет к образованию так называемых «островов тепла».

В настоящее время, изучению климата больших городов уделяется достаточное внимание. Явление «острова тепла» в городах известно с первой половины XIX в. и ныне повсеместно изучается во многих аспектах [Ландсберг, 1983; Матвеев, 2007; Рубинштейн, 2003; Schwarz, et al., 2012; Varentsov et al., 2014; Muller et al., 2013].

Исследования микроклимата естественных ландшафтов немногочисленны. Чаще всего исследования по изучению микроклиматических особенностей естественных ландшафтов опираются на данные метеостанций, либо используются расчетные методы [Белолобцев и др., 2011] и методы математического моделирования микроклиматических условий в зависимости от характера и свойств подстилающей поверхности на основе технологий ГИС с использованием данных дистанционного зондирования Земли [Исаков, Шкляев, 2012; Konstantinov et al., 2015].

Но подобные методические подходы по изучению микроклимата, не позволяют определить вертикальные градиенты температуры воздуха, скорости ветра и относительной влажности воздуха. Эти параметры являются отличительной особенностью приземного слоя воздуха, формирующего микроклимат, в зависимости от характера подстилающей поверхности [Konstantinov, et al., 2018].

Примером изменения вертикальных градиентов в естественных ландшафтах является изучение микроклимата на лесопастбищах, сформированных лохом узколистным в условиях Волго-Ахтубинской поймы, где показано влияние естественных насаждений лоха на микроклимат кормовых угодий [Власенко и др., 2015].

Таким образом, при изучении микроклиматических особенностей территорий необходимы многократные наблюдения и учет характера подстилающей поверхности: микрорельефа, особенностей почвенного и растительного покрова.

Выводы по главе:

1. Микроклиматом принято считать явления, происходящие в приземном слое воздуха на высоте до 1,5-2,0 м над подстилающей поверхностью и непосредственно зависящие от микрорельефа и характера растительности.
2. Все микроклиматические направления делятся на: микроклимат рабочих зон, микроклимат города и микроклимат естественных ландшафтов. Микроклимат естественных ландшафтов таежной зоны изучен недостаточно. Микроклимат приземных слоев определяется свойствами подстилающей поверхности.

## ГЛАВА II. КРАТКАЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Город Надым расположен в центральной части Ямало-Ненецкого автономного округа, на севере Западно-Сибирской равнины. Территория исследований, согласно физико-географическому районированию, находится в лесной широтно-зональной области Надымской провинции. Провинция располагается в северной тайге [Гвоздецкий, 1973]. Большая часть территории района характеризуется незначительными отметками с наибольшим понижением высот в центральной части, где расположена долина крупной реки Надым. Данное плоское заболоченное понижение соответствует Надымский низменности с высотными отметками 50–150 метров. На западе, востоке и юге имеются относительно высокие возвышенности – Полульская, Ненецкая (Надым-Пурское междуречье) и Сибирские Увалы.

Около 60 % территории подзоны занимают редкостойные леса, представленные, в основном, лиственницей и многоствольной березой. В подлеске преобладают кустарники (ольховник, карликовая береза, полярная ива). Лишь центральные части междуречий безлесны и заняты плоскими и заболоченными тундровыми ландшафтами.

На дренированных участках произрастают разряженные низкообонитетные темнохвойные леса с участием березы, по более увлажненным – лиственничные редины. Под лесами формируются торфянисто – подзолисто - элювиально-глеевые или глееватые почвы. На большей части площади провинции развиты торфяно-болотные почвы. В пределах их распространения господствуют ландшафты крупнобугристых мерзлых торфяников (с кустарничково- мохово- лишайниковой растительностью по буграм и осоково- пушицево- моховой по понижениям) и кочковатые мерзлые

кустарничково- лишайниково- моховые болота в сочетании с бугристыми торфяниками с грядово- мочажинными болотами [Атлас ЯНАО, 2004].

## 2.2. КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для описываемой территории (г. Надым), характерен субарктический континентальный климат с достаточно суровой продолжительной зимой, коротким умеренно теплым летом и поздними весенними и ранними осенними заморозками.

Формирование климата происходит под влиянием холодных северных воздушных масс, которые достигают южных границ Надымского района. Также свободно продвигаются далеко на север знойные ветры Казахстана и Средней Азии. Такие атмосферные передвижения приводят к внезапной и резкой смене циклонов и антициклонов, перепадам температуры не только от месяца к месяцу, но и от суток к суткам и даже в течение суток.

Неравномерность поступления солнечной радиации, особенности атмосферной циркуляции, открытость территории и близость холодного Карского моря объясняют суровость термического режима и резкий переход от холода к теплу и наоборот.

Основным источником тепловой энергии всех природных процессов является важнейший климатообразующий фактор - солнечная радиация. Доля прямой солнечной радиации в суммарной радиации меняется в течение года. В период с ноября по январь вклад прямой солнечной радиации незначителен. Зимой преобладает рассеянная радиация. Наиболее благоприятны условия для поступления прямой солнечной радиации летом. В годовом ходе суточных сумм прямой солнечной радиации, максимум приходится на период с апреля по июль.

На примере метеорологической станции, расположенной на территории аэропорта в городе Надым, проведем анализ изменения параметров климата за последние 10 лет наблюдений. Станция находится на высоте 19 м над уровнем

моря и имеет координаты (65,28'48" с.ш и 72,41'21" в.д). Она сохранила однородность и характерность рядов наблюдений по всем метеорологическим параметрам, репрезентативна и имеет статус «реперной климатической» [Архив погоды г. Надым].

За последнее десятилетие среднегодовая температура воздуха составила: -3,8 °С (здесь и далее значения климатических характеристик приняты по метеостанции «Надым»).

По усредненным данным за 10 лет, самым холодным месяцем в г. Надыме является январь. В отдельные год происходил сдвиг - самым холодным месяцем был декабрь (2016,2018 годы).

С мая температура воздуха на севере Западно-Сибирской равнины повышается - приходит теплый циклон. Самый теплый месяц- июль, однако в 30 % случаев среднемесячная температура (с 2010 по 2019 год) выше в июне. В летние месяцы средняя месячная температура воздуха не опускается ниже 9,4 °С. Абсолютный максимум среднемесячной температуры воздуха за 10 лет отмечался 14 июня 2012 года и составил 34,2 °С. Минимум температуры так же наблюдался в июне (1.06.2017) и был равен - 4,8 °С.

Продолжительность вегетационного периода определяется датами перехода средней суточной температуры через +5°С. По многолетним данным, в изучаемом районе эта дата приходится на начало июня и по конец сентября, что определяет продолжительность периода с температурой выше плюс 5 °С - 120 дней.

С первого месяца осени температура начинает понижаться, однако присутствуют дни с температурой выше 9,8 °С. В это же время отмечаются серьёзные заморозки. Например, 8 сентября 2013 года была зафиксирована самая низкая температура воздуха - 10,4 °С, но в то же время, среднемесячная температура в этот период составила 6,23 °С.

Колебания климатических условий велики из года в год и зависят, в первую очередь, от циркуляции атмосферы, изменения которой высоки в холодное время года.

Немаловажное значение вносит изменение количества выпадающих осадков по сезонам года. В зимние месяцы 2019-2020 гг., по сравнению с зимой 2018-2019 гг., сумма осадков повысилась на 23 мм.

Наибольшее количество осадков в годовом ходе приходится на июль и в среднем за 10 лет, этот показатель составляет 77,7 мм. За летние месяцы выпадает 39,7% нормы осадков, осенью – 26,9 %, зимой- 13,7 %, весной – 20,18 %. Годовой минимум осадков отмечен в феврале – 20,8 мм.

В отдельные годы распределение осадков значительно отличается от средних многолетних показателей и, в частности, зависит от погодных условий. Например, максимальное значение выпавших осадков зарегистрировано в июле 1966 и 2015 годов. Значения равны соответственно - 214 мм и 227 мм. Минимум осадков зафиксирован за последние 10 лет в январе 2010 – 7 мм. Вдобавок, в феврале 2014 и июле 2017 по 8 мм. С 1960 по 2019 минимумы зафиксированы в феврале 1985, апреле 1992 и марте 1996 по 3 мм. Так, в 2019 году выпало на 147 мм больше осадков, по сравнению с предыдущим годом, а между 2015 и 2016 разница составила 243 мм.

В летний период особенно велика изменчивость осадков. За период с 1990 г. по 2019 г. максимум количества осадков наблюдался летом в 66 % случаев.

Ещё одним важным климатическим фактором, оказывающим влияние на процессы эрозии, является ветер, скорость и направление которого, чаще всего, непостоянны.

Установлено, что в формировании песчаного рельефа существенную роль играют ветры северного, северо-восточного и западного направлений.

По данным за 10 лет максимум скорости ветра зафиксирован в апреле 2012 и 2014 годов, и равнялся - 16 м/с. Средняя скорость ветра за последнее десятилетие составила 3,2 м/с.

### 2.3. ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ, ЛАНДШАФТНАЯ И ГЕОБОТАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕСЧАНОГО МАССИВА

Одна из территорий нашего исследования находится в центральной части Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа, в 40 км к юго-востоку от г. Надым.

Это уникальнейшее место, эоловый массив, размещен на территории второй надпойменной террасы реки Надым. Аналогичные природные образования встречаются так же вблизи рек: Надым, Пур и Пякупур.

В.Н. Седых описывает песчаные массивы, как территории барханного рельефа, сформированные песчаными отложениями и оголенные от растительности. Как правило, на участках с крупно-грядовым рельефом, песчаные раздувы возникают от деятельности ветров [Седых, 2016]

Установлено, что основным фактором для развития эоловых процессов является изменение климата, а причиной, влияющей на интенсивность эоловых процессов- растительный покров [Лоботросова и др., 2018б].

Значительная часть эолового рельефа представлена в виде котловин выдувания, по периферии и поверхности которых формируются аккумулятивные формы (валы, дюнные цепи, бугры, барханы и т.д.). Техногенный рельеф местности формируется за счет присутствия сухоройных карьеров, грунтовых насыпей, трубопроводов, автодорог, промышленных площадок и такого же рода нарушений [Сизов, Лоботросова, 2016].

Климатические исследования проводились на модельной котловине выдувания, находящейся на второй надпойменной террасе вблизи устья реки Хейгияха. Площадь котловины составляет 197,3 га, периметр 6450 м. Котловина вытянута по направлению север-юг.

На поверхности изучаемого песчаного раздува распределяются четыре формы рельефа дюн: комплексные, простые параболические, периферические и дюнные валы, которые в основном формируются под действием северо-западных, северо-восточных, и юго - западных ветров (Рисунок 2.1).

В зависимости от микрогеоморфологической части песчаной дюны, она имеет склонность к зарастанию. Известно, что наибольшим изобилием растительности обладает подветренный склон песчаной дюны [Лоботросова и др., 2018а].

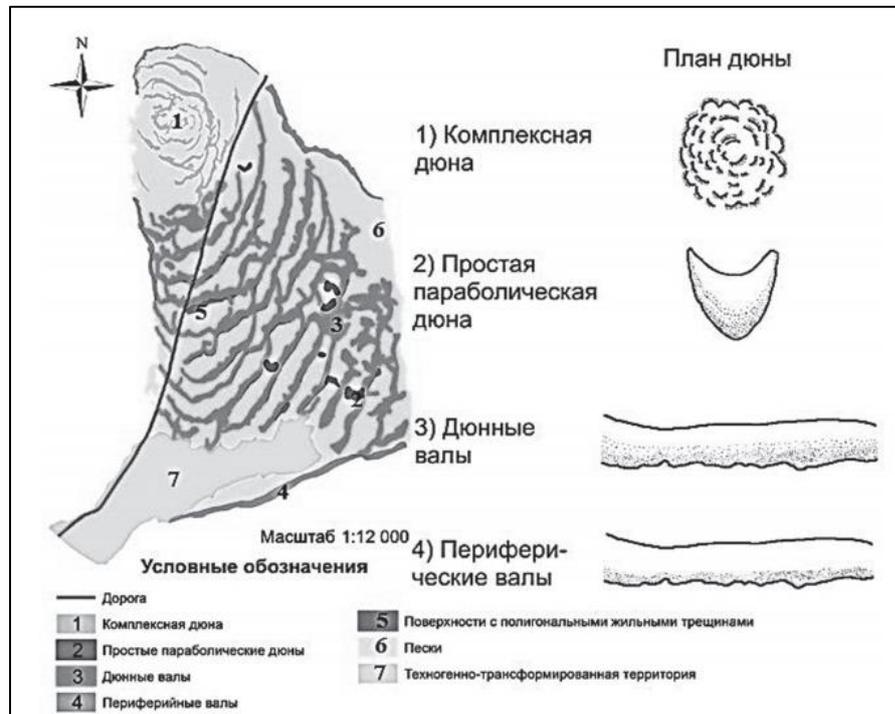


Рис. 2.1. Основные формы мезорельефа песчаного массива [Лоботросова, и др., 2018б]

Распределение растительности на территории песчаного раздува зависит от многих экологических факторов. Благодаря действию сильных ветров возникает специфический микрорельеф котловины выдувания.

Проведенные ранее исследования, позволили построить профиль нескольких зон с многообразными условиями формирования растительности. «По профилю можно выделить зоны с различными условиями формирования растительных сообществ, степенью проективного покрытия и биомассой» (Рисунок 2.2).

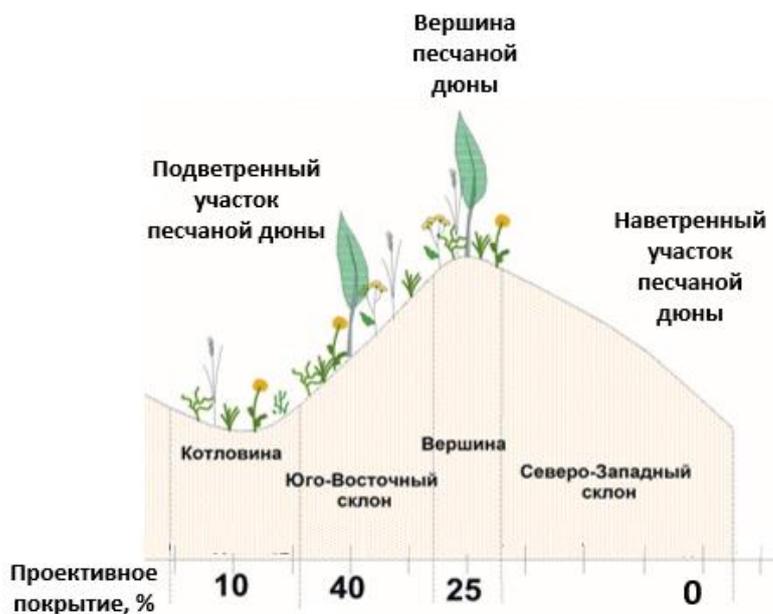


Рис. 2.2. Поперечный профиль участков исследования на песчаном раздуге [Лоботросова и др., 2018а].

Ученые определили, что из травяного покрова в котловине присутствуют пижма дваждыперистая, овсяница овечья, вейник Лангсдорфа и щавель злаколистный.

В ходе полевых работ в 2019 были разбиты 3 площадки на вершине дюны (полигон №1), на наветренном склоне песчаной дюны (полигон №2) и на подветренном участке (полигон №3), на которых регистрировались изменения климатических компонентов.

На наветренном участке песчаной дюны (полигон №2) из-за суровых условий обитания, растительность не встречается. Наиболее развиты растительные сообщества на подветренном склоне (полигон №3), где развиваются овсяннице-вейниковые сообщества с несколькими вариантами:

- на верхней части склона овсяннице-вейниковые с щавелем заколистным и пижмой дваждыперистой;
- на средней части вейниково-овсяннице-вейниковые с пижмой дваждыперистой;
- в нижней части склона вейниковые с овсянницей и пижмой дваждыперистой,

скердой чернеющей и редкими березами извилистыми; овсяннице-вейниковые с пижмой дваждыперистой и золотой розгой.

Для вершин дюн (полигон №1) характерны овсяннице-вейниковые растительные сообщества с пижмой дваждыперистой; с щавелем злаколистным и золотой розгой, в зависимости от конкретной точки на вершине.

Общеизвестно, что погода и климат оказывают огромное влияние на живые организмы. В то же время, установление степени влияния погодно-климатических условий на биогеоценотические процессы является сложной задачей, вследствие сильной изменчивости метеорологических элементов и их сочетаний в пространстве и времени. На уровне микроклимата эта изменчивость проявляется более сильно, что делает исследования режима метеорологических элементов приземного слоя атмосферы весьма трудоемкими. Кроме того, в биогеоценотических исследованиях учет микроклиматических условий является обязательной частью полевых работ [Дылис, 1974].

При оценке текущего влияния погодных условий на растительность, наиболее важными микроклиматическими факторами являются тепло- и влагообеспеченность.

Для формирования растительности необходимы комфортные природные условия – умеренная напочвенная температура и относительно повышенная влажность. Растения, при этом, выполняют важные средообразующие экологические функции. Это - изменение солнечной радиации, регулирование температуры у поверхности земли, снижение скорости ветра и повышение влажности почвы и атмосферы.

Изучение формирования растительного покрова прибрежных дюн показало, что не только сумма питательных веществ почвы являются важным абиотическим фактором, микроклимат также контролирует темп колонизации растительностью голых песков.

В целом, механизм формирования растительности на котловинах выдувания подобен процессу восстановления растительности на поверхности сухоройных карьеров, расположенных в аналогичных условиях [Коронатова, 2003]. Успешному зарастанию способствуют тяжелый гранулометрический состав молодых почв и обогащение элементами питания. Анализ периодов зарастания оголенных песков в разных природных зонах позволяет выделить схожие черты этого процесса. Но для оценки зарастания в любой зоне важно учитывать условия увлажнения, рельеф, характер окружающей растительности, площади обнажений и механический состав грунтов.

#### 2.4. ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ, ЛАНДШАФТНАЯ И ГЕОБОТАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЛИСТВЕННИЧНОГО РЕДКОЛЕСЬЯ

Второй участок нашего исследования, на территории которого проводились микроклиматические наблюдения находится в лишайниково-мохово-кустарничковом редкостойном лиственничнике на территории Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа ( $65,702623^{\circ}$  с.ш и  $71,780508^{\circ}$  в.д).

Территория расположена в бореальном поясе почв (подзолы иллювиально-железисто-гумусовые и иллювиально-гумусовые) в округе плоско-волнистых песчано-суглинистых озерно-аллювиальных равнин с интразональными болотно-тундровыми почвами (более 50 %) [Атлас ЯНАО, 2004].

Растительность в основном представлена лиственницей сибирской, которая занимает пограничное местообитание между тайгой и тундрой в зоне сплошного распространения многомерзлотных пород. Лиственница произрастает там, где другие древесные породы отсутствуют. Леса, представленные этим видом, играют важное природно-ландшафтное, средообразующее, водоохранное и водорегулирующее, почвенное значения.

Лиственница принимает значимую роль в регуляции влагооборота и стока рек, в стабилизации газового состава атмосферы [Лесная энциклопедия, 1986].

До 1954 г. на исследуемой территории участок вырубленного лиственничного редколесья использовался как взлетная полоса для легких самолетов, т. к. рядом происходило строительство железной дороги «Салехард-Игарка», которая на данный момент не используется.

Выводы по главе:

1. В формировании песчаного рельефа существенную роль играют ветры северного, северо-восточного и западного направлений с максимальными скоростями 16 м/с.
2. Образование растительности на песчаных дюнах зависит от многих экологических факторов, в особенности этот процесс подвергается воздействию микроклиматических характеристик на различных участках: вершине, подветренной и наветренной стороне песчаных дюн. В целом, для подветренных участках растительные сообщества наиболее развиты, ввиду меньших ветровых потоков.

## ГЛАВА III. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В отличие от общеметеорологических явлений, для описания которых используются метеорологические станции, для микроклиматологических исследований требуется специализированное измерительное оборудование для исследований в приземном слое воздуха до высоты 2,0-3,0 м или 10,0-15,0 м с применением специальных приборов, или иные методы наблюдений (экспедиционные или сетевые) [Сапожникова, 1950].

Особенно важное значение имеет место расположения метеостанции, по данным которой производится оценка комфортности климата. Далекое не всегда метеостанции бывают показательны для рекреационного района в целом. Следовательно, для получения репрезентативного массива значений метеозаписей об особенностях микроклимата на обширных территориях, необходимо использовать переносное оборудование.

Традиционно используют комплекс метеорологических приборов, таких как аспирационный психрометр Ассмана, термометр-пращ ртутный, ручной анемометр [Власенко и др., 2015].

В.В. Антюфеев и др. в своей работе для измерения параметров на высоте 2,0 м от почвы использовали термографы, гигрографы, максимальные и минимальные термометры, психрометры [Антюфеев и др., 2014]. Но, такие измерения на каждом участке занимают довольно долгое время и для обследования больших территорий или нескольких площадок необходимо привлекать нескольких сотрудников с индивидуальным комплектом оборудования, что не всегда получается организовать в полевых условиях.

Перед проведением исследований, мы рассмотрели все существующие приборы для измерения параметров микроклимата и выбрали из них 3 наиболее подходящих нам: «Метеоскоп-М» является одним из рациональных приборов,

который активно используется при мониторинговых исследованиях и при проведении инженерно-экологических изысканий. Это переносной измеритель, обеспечивающий определение текущих значений микроклиматических параметров и усреднение результатов измерения за выбираемый интервал времени (от 1 до 30 мин). Прибор позволяет держать в памяти процессора средние значения параметров микроклимата суммарным количеством до 2000 результатов. Прибор обеспечивает [Измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп - М»]:

- диапазон измерений температуры воздуха, начиная с - 40 и до + 85 °С ( $\pm 0,2$ );
- размах измерений относительной влажности воздуха от 3 до 97 % ( $\pm 3,0$ );
- диапазон измерений скорости воздушного потока от 0,1 до 20 м/с ( $\pm 0,05+0,5V$  в диапазоне от 0,1 до 1 м/с и  $\pm 0,1+0,5V$  в диапазоне от 1 до 20 м/с, где  $V$  – значение измеряемой скорости ветра);
- размах измерений давления воздуха от 600 до 825 мм. рт. ст. ( $\pm 1$ ).

Анализ источников по микроклиматической проблематике показал, что «Метеоскоп-М» может применяться в различных условиях: в помещениях (рабочих зонах), где проводится анализ надежных для здоровья человека условий проживания и пребывания в зданиях, в городах и на территориях естественных ландшафтов.

В 2011 году проводилась серия микроклиматических наблюдений в Игнatieвской пещере. С помощью «Метеоскопа-М» измерялось атмосферное давление, скорость ветра, относительная влажность на высотах 0,5 и 2,0 м для оценки регламента доступа посетителей в пещеру [Червяцова, 2011].

В последнее время большое наибольшее внимание посвящено исследованию городских островов тепла.

В качестве примера использования «Метеоскопа – М» в экологических исследованиях можно привести работу Воскресенской, в которой показано различие микроклиматических условий (температура и влажность воздуха) произрастания березы повислой в различных экологических районах города Йошкар-Ола [Воскресенская, 2014].

Так же рассматривался анализ параметров микроклимата в селитебной, производственной и рекреационной зонах г. Йошкар-Олы на высоте 1,5-2,0 м [Алябышева, 2019].

А.В Семакина, В.С.Вахрушев в работе «Микроклимат Ижевска» выявили зависимость показателей температуры, скорости и направления ветра, и атмосферного давления в 11 точках на территории города, так же с использованием «Метеоскопа -М» [Семакина, Вахрушев, 2018].

С помощью «Метеоскопа-М» была проведена оценка метеорологических условий г. Сарань с учетом районирования селитебной зоны [Сакиев и др., 2015].

Исследования естественных ландшафтов «Метеоскопом-М» очень малочисленны. Измерения, в основном проводятся с использованием других метеорологических приборов.

Вторым прибором, который применялся нами для оценки состояния микроклимата, являлся переносной прибор «Инфракрасный многофункциональный пирометр-термогигрометр СЕМ DT-8663 с лазерным целеуказателем DT-8862». Он используется для измерения температуры окружающей среды (в нашем случае поверхность песка и проективного растительного покрытия), относительной влажности и температуры точки росы (град. С°), за счет специально оборудованных встроенных инфракрасных датчиков температуры и влажности [Пирометр с индикацией точки росы модели DT-8663].

Прибор позволяет измерить значения:

- температуры воздуха в диапазоне от -50 до 380 °С

(± 3,5 при температуре ниже 20 °С)

(±1,5 свыше 20 °С)

- Относительной влажности воздуха - от 0 до 100% (±3,5% если измерения попадают в промежуток от 20 до 80 %)

-температуру точки росы в пределах от -30 до 100 °С

Удобным элементом данного прибора является встроенная подсветка-зеленая, желтая и красная, цвет которой меняется в зависимости от результата измерения.

Термовлагомер почвы TR - 46908, внесенный в государственный реестр средств измерений, использовался в нашей работе для измерения температуры почвы на поверхности и на глубине 20 см. Границы измерения температур этого прибора – от -5 до +50 °С. ( $\pm 1$ ) [Инструкция по эксплуатации измерителя влажности почвы TR 46908]. Соответственно его отличительной или отрицательной стороной является применение только в летнее время на данной территории.

Вдобавок в данном приборе имеется функция автоматической температурной компенсации.

Прибор был задействован в измерении температуры и влажности почвы с произведенным устройством объемного уплотнения почвы для получения более точных результатов [Киреев, Коваль, 2015].

Для определения значимости параметров, измеренных с помощью «Метеоскопа-М» на участках в естественном лиственном лесу были определены значения вариации. Коэффициент вариации показывает степень колеблемости признака относительно среднего значения. Если показатель вариации  $V < 10\%$ , то вариация считается слабой. Если  $V$  находится в промежутке от 10 до 25% - величина свидетельствует о среднем значении вариации. Если  $V > 25\%$  - вариация сильная [Лакин, 1990].

Результаты показали, что для скорости ветра, коэффициент вариации принимает высокие значения - вариация сильная. Следовательно, полученных измерений с помощью «Метеоскопа-М» на участке естественного лиственного редколесья недостаточно для получения объективных результатов исследования (Таблица 3.1)

Значение коэффициента вариации измеренных параметров микроклимата  
«Метеоскопом-М» в естественном лиственничнике

Параметр	Температура воздуха				Относительная влажность воздуха				Скорость ветра			
	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м
Вырубка	17,8	20,0	19,6	20,2	21,4	22,6	<b>25,2</b>	24,4	<b>65,9</b>	<b>71,4</b>	<b>81,8</b>	<b>42,2</b>
Взлетная полоса	17,7	19,2	19,4	19,3	25,5	25,0	<b>26,4</b>	<b>27,3</b>	<b>48,2</b>	<b>46,0</b>	<b>63,3</b>	<b>69,9</b>
Зона контроля	16,6	16,5	14,5	15,5	19,5	19,2	20,8	19,5	<b>93,0</b>	<b>50,3</b>	<b>66,0</b>	<b>66,7</b>

### 3.2. ОБЪЕМ СОБРАННОГО МАТЕРИАЛА

Летом 2019 года были организованы 2 экспедиции. Местом проведения 1 полевой работы был выбран песчаный раздув близ города Надым. Летом того же года вторая экспедиция проходила на северо-западе от Надыма в районе бывшей взлетно-посадочной полосы в естественном лиственничном редколесье (Рисунок 3.1) (Приложение 1).

В 1 исследовании для наблюдения за параметрами микроклимата на песчаной дюне и проведения замеров на выбранных формах микрорельефа подбирались ровные площадки размером 10x10 м, на которых отмечались 5 равноудаленных друг от друга точек и производились измерения при помощи:

- измерителя параметров микроклимата «Метеоскоп-М» в 5-ти кратной повторности для каждой высоты, на высотах 0,5 м, 1,0 м, 1,5 м и 2,0 м температура воздуха (град. С°), относительная влажность воздуха (%), скорость ветра (м/с).

- «Инфракрасного многофункционального пирометра-термогигрометра СЕМ DT-8663 с лазерным целеуказателем DT-8862». Измерялась температура поверхности, точка росы и влажность воздуха для 5 точек
- влагомера для почвы 46908 производства TR di Turoni проводились измерения температуры поверхности песка в 5 точках каждого полигона.

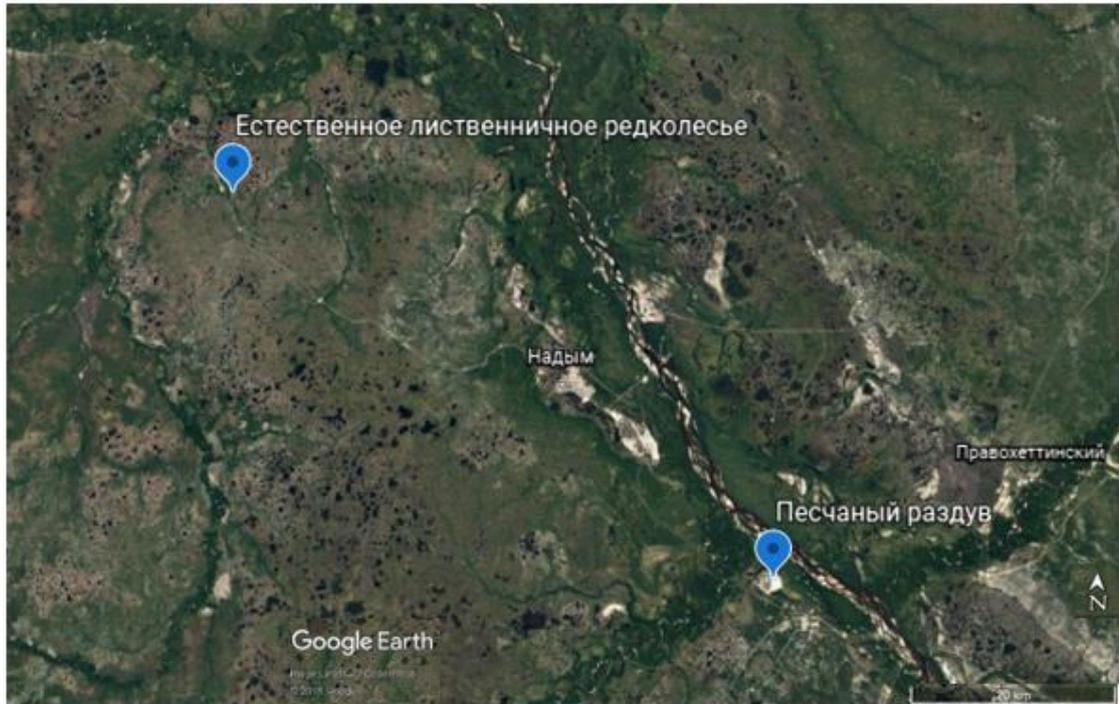


Рис. 3.1. Схема расположения объектов исследования в Надымском районе Ямало-Ненецкого автономного округа (Google Earth Pro)

На рисунке 3.2. слева представлены несколько стадий формирования массива эоловых песков. Под цифрой 1 указаны участки мелкобугристого эолового рельефа, сформированные под действием юго-западных ветров. Вторая стадия - образование аккумулятивных песчаных валов, на третьей - формируются песчаные карьеры и т.д. [Зыкина и др., 2017]

Для установления зависимостей между учтенными параметрами микроклимата мы использовали данные с трех площадок, полагая, что характер связей должен отражать, в первую очередь, мезорельефные особенности территории (Рисунок 3.2 - справа).

На рисунке 3.3 представлены выбранные 3 участка различающиеся растительным покровом - вершина дюны (полигон №1), наветренный склон дюны (полигон №2) и подветренный склон дюны (полигон №3). Наблюдения включали синхронные измерения параметров микроклимата через каждые 3 часа в первые 2 дня исследования и через 6 часов в остальные дни. Общее количество измерений: 1740 (Приложение 2).

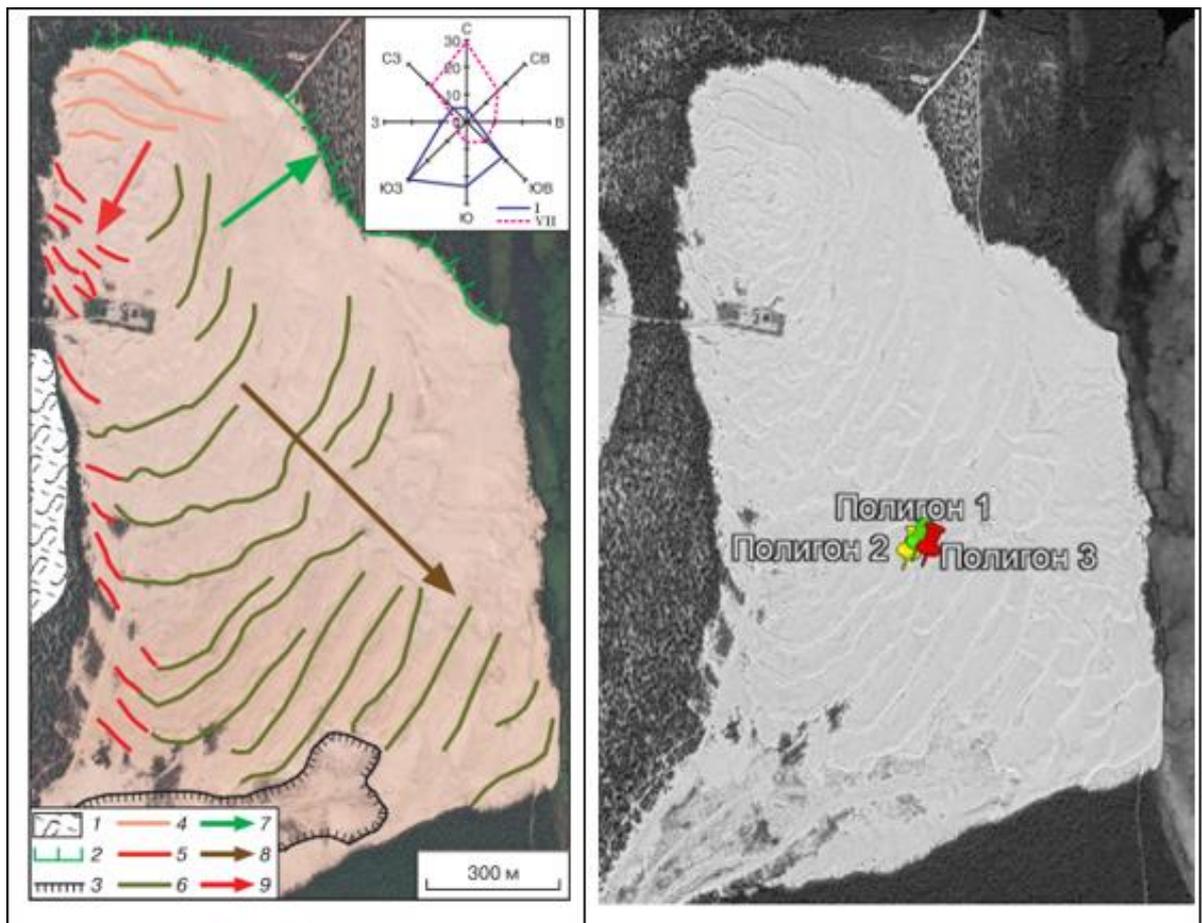


Рис. 3.2. Справа представлена карта-схема расположения метеорологических площадок на естественном песчаном массиве близ г. Надыма.

Слева – схематическое представление микрорельефа массива эоловых песков

[Зыкина и др., 2017]



Рис. 3.3. Участки исследования на естественном песчаном раздуде.

Полигон №1 – вершина дюны, полигон №2 – наветренный участок песчаной дюны, полигон №3 – подветренный участок.

(фото автора)

На рисунке 3.4. показан процесс измерения микроклиматических параметров на высотах: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м с использованием «Метеоскопа-М».

На 2 территории летнего полевого исследования микроклиматические измерения проводились в лесотундре Западной Сибири в лишайниково-мохово-кустарничковом редкостойном лиственничнике на территории Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа ( $65,702623^\circ$  с.ш и  $71,780508^\circ$  в.д) 15 августа 2019 года на трех участках с однотипной (однородной) подстилающей поверхностью на уровне мезорельефа размером 300x50 м (Рисунок 3.5):



Рис. 3.4. Проведение микроклиматических измерений с помощью «Метеоскопа-М» на полигоне №1 (вершине дюны) и №3 (подветренной стороне песчаной дюны) на высотах 1,0 и 2,0 м соответственно  
(фото Г.О. Жарского)

- естественное лиственничное редколесье с возрастом древостоя 220 лет ("контрольная зона" на Рисунке 3.6);
- техногенно нарушенный участок (вырубка древостоя и минерализация почвенного покрова), поросший лиственничным молодняком, представляющий собой старую взлетно-посадочную полосу для легких самолётов типа АН-2, используемую до 1954 года ("взлетная полоса" на Рисунке 3.6);
- участок вырубленного лиственничного редколесья, с сохраненным лишайниковым покровом ("зона вырубки" на Рисунке 3.6).

Для организации измерений на каждом участке были выделены на местности по восемь учетных площадок (Рисунок 3.5). Для снижения влияния макроклимата на результаты измерений, микроклиматические изменения проводились методом транссект "контрольная зона" – "взлетная полоса" – "зона вырубки" с минимальными временными различиями между зонами.



Рис. 3.5. Схема расположения участков измерения параметров микроклимата в естественном лиственничном редколесье (Google Earth Pro, составлено автором)



Рис.3.6. Участки исследования: «Зона вырубki», «Взлетная полоса» и «Контрольная зона» (фото автора)

Статистическая обработка массива полученных данных была выполнена в программе Statistica 6.0 (“StatSoft Inc.”) и Microsoft Excel 2016.

Выводы по главе:

1. Для проведения микроклиматических исследований на участках песчаного раздува и естественного лиственныйного редколесья использовались приборы: «Метеоскоп-М», «Инфракрасный многофункциональный пирометр-термогигрометр СЕМ DT-8663 с лазерным целеуказателем DT-8862», «Термовлагомер почвы TR – 46908».
2. Измеренных данных параметра скорости ветра, полученных с помощью «Метеоскопа-М» недостаточно для получения объективных результатов микроклиматического исследования.

## ГЛАВА IV. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА

### 4.1. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА НА ЭЛЕМЕНТАХ МЕЗОРЕЛЬЕФА ЕСТЕСТВЕННОГО ПЕСЧАНОГО МАССИВА

Микроклимат естественного песчаного массива, в совокупности с физико-географическими факторами, в основном формируется под действием ветра. Климатические условия на данной территории существенно препятствуют закреплению растительности, поэтому для выявления наиболее благоприятных условий для формирования растительности на элементах мезорельефа был проведен сравнительный анализ трех близкорасположенных участков - вершина дюны (полигон №1), наветренная (полигон №2) и подветренная (полигон №3) стороны песчаной дюны.

#### 4.1.1. ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

Значительная роль среди абиотических экологических факторов принадлежит температуре, так как она влияет не только на физические процессы в биосфере Земли (турбулентный обмен, испарение влаги), но и на биохимические и физиологические процессы в живых системах (фотосинтез, дыхание, водный обмен).

На песчаных раздувах, которые являются уникальным природным образованием, наиболее заметна ограничивающая роль в развитии живых организмов, поскольку здесь присутствуют высокие температуры воздуха, низкие значения влаги и наблюдается своеобразный ландшафт, который в высоких значениях служит отражателем солнечной радиации. Вследствие изменчивости температуры воздуха во времени и пространстве, ее характеристики довольно разнообразны.

Важное значение для температурного режима подстилающей поверхности имеет суточный ход температуры воздуха. В суточном ходе на трех полигонах песчаного раздува на разных горизонтах наблюдений высокие

значения температуры наблюдаются приблизительно в период с 8:00 до 20:00, а минимальные значения – с 24:00 до 5:00 местного гражданского времени (Рисунок 4.1). Это объясняется тем, что в утренние часы температура воздуха растет быстрее (во времени), далее рост температуры замедляется, и ее самое высокое значение наблюдается в 12:00 - 14:00 часов. Затем, температура начинает снижаться, сначала медленно, потом до конца солнца быстро и ночью, после захода, земля и воздух выхолаживаются - продолжается постепенное снижение температуры.

На полигоне №3 (подветренная сторона дюны) максимум был отмечен в 8:00 и составил 33,9 °С; Минимальное значение всего комплекса наблюдений также зафиксировано на полигоне № 3 в 2:00 (Рисунок 4.1). В целом, полигон № 3, расположенный на подветренной стороне дюны, прогревается быстрее и до более высоких температур, нежели полигоны №1 и №2 (вершина и наветренная сторона дюны соответственно).

В характере колебаний температуры в течение суток прослеживается дифференциация значений температуры, ставшей следствием адвекции тепла и холода. За время наших наблюдений межсуточная изменчивость, в среднем составляет 8,0 -12,6 °С (с 8,4 до 12,3 °С на полигоне №1; с 7 до 12,6 °С на полигоне №2 и с 8,4 °С до 13,0 °С на полигоне №3; Наибольшие колебания отмечены на полигоне №2. Для анализа взяты средние данные по всем высотам измерений – от 0,5 до 2,0 м.

Кроме того, амплитуда суточного хода максимально выражена у поверхности земли при небольших скоростях ветра и отсутствии облачности. Наличие облачности приводит к уменьшению температуры воздуха вследствие уменьшения поступления солнечной радиации.

Выяснено, что в дневное время приземный двухметровый слой воздуха сильней прогревается на подветренной стороне (полигон №3).

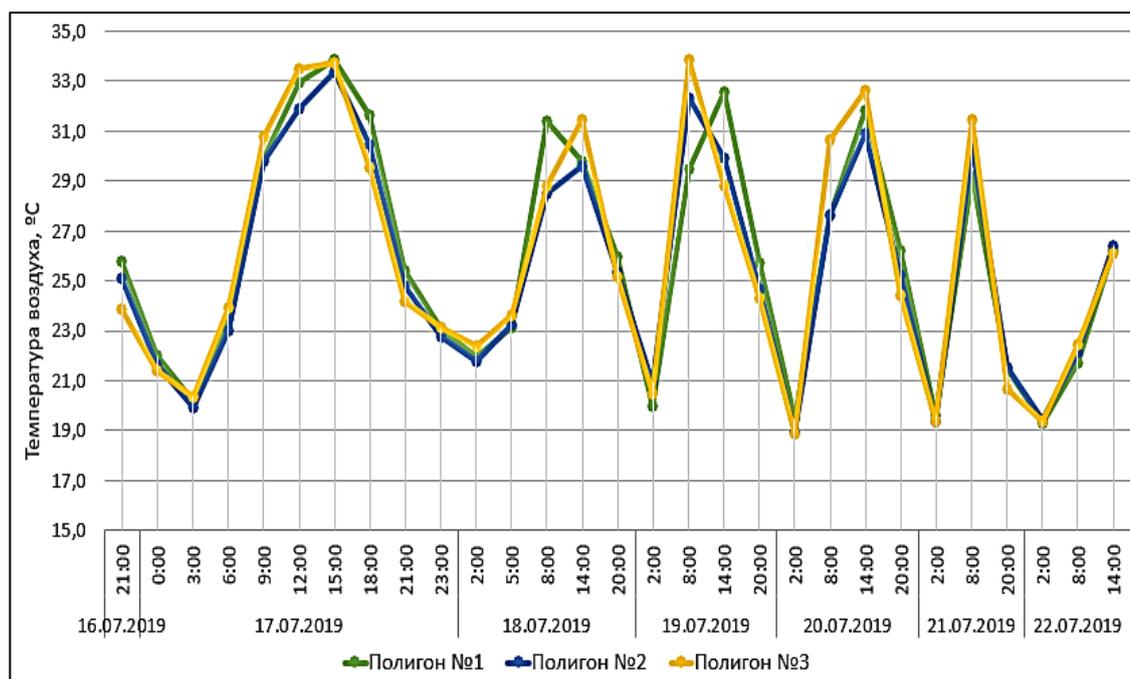


Рис. 4.1. Суточный ход температуры воздуха на песчаном раздуве в период с 16 по 22 июля 2019 года по средним значениям на высотах от 0,5 до 2,0 м (составлено автором)

Так же, по данным экспериментальных наблюдений были определены значения вертикальных градиентов температуры. Они меняются в широких пределах при переходе от слоя к слою, и при смене времени суток меняют знак.

Для статистического анализа измерений температуры воздуха в двухметровом слое выбран коэффициент, наиболее полно отражающий зависимость и изменение изучаемого параметра, в нашем случае- температуры воздуха на трех полигонах песчаного раздува от исследуемых факторов. Другими словами, коэффициент детерминации -  $R^2$  показывает, какая доля дисперсии результативного признака объясняется влиянием объясняющих переменных. Как правило,  $R^2$  находится в пределах от 0 до 1. Чем ближе его значения к 1, тем более связан результат с другими величинами.  $R^2$  может принимать и отрицательные значения, но это происходит в случае неправильно выбранной модели.

Оценка регрессионных моделей температуры воздуха на участке песчаного раздува показала, что коэффициент детерминации  $R^2$  на вершине

дюны (полигон №1) = 0,95 (Рисунок 4.2). Это указывает на высокую точность подбора уравнения регрессии. Для подветренного (полигон №3) и наветренного (полигон №2) участков песчаной дюны значение показателя соответственно равны:  $R^2=0,79$  и  $R^2=0,65$  (Рисунок 4.2).

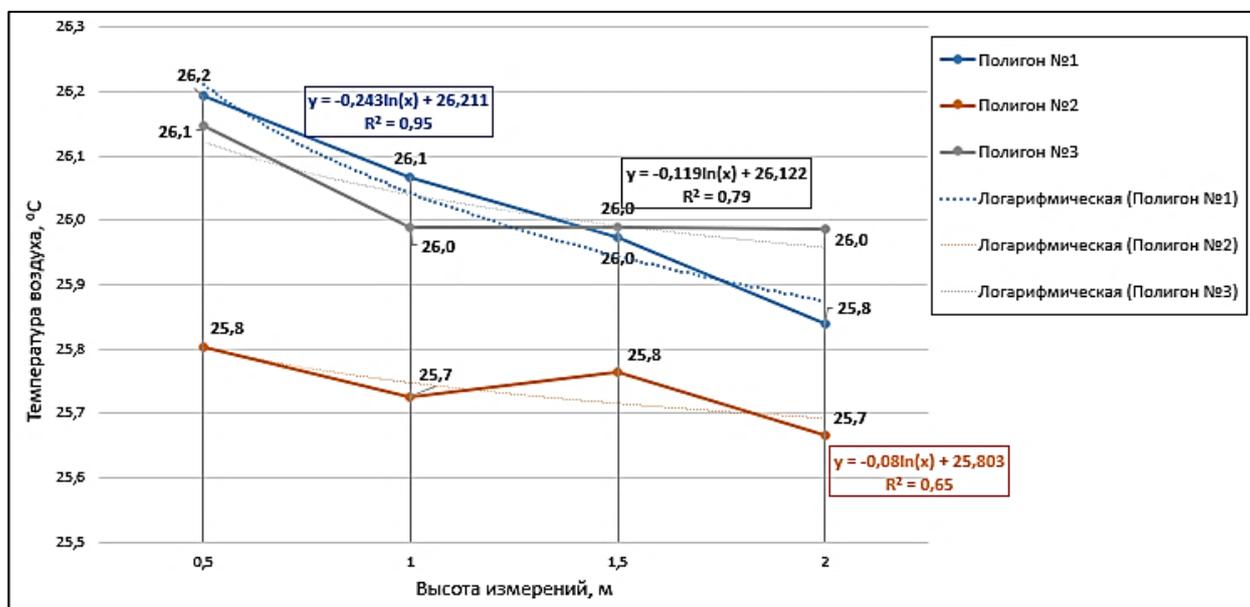


Рис. 4.2. Динамика температуры воздуха за весь период наблюдений на вершине дюны (полигон № 1), на наветренном участке (полигон № 2) и на подветренной стороне (полигон № 3) (составлено автором)

Анализ температуры воздуха, зафиксированной на различных высотах всех трех полигонов, выявил небольшие достоверные различия между ними (Рисунок 4.3).

Низкие значения медианы на высотах от 0,5 до 2,0 м устанавливаются преимущественно на полигоне №3 – подветренной стороне песчаной дюны.

Среднее значение температуры воздуха на полигоне №1 на всех высотах чуть ниже значения медианы, а на полигоне №3 наблюдается обратная картина – значения медианы ниже. На полигоне №2 эти показатели принимают равные значения. Таким образом, основная часть массива данных на полигоне №3 сосредоточена в более низком ярусе температурных значений.

Наибольшая разница между значениями на верхнем и нижнем уровне отмечена на полигоне №1 ( $\Delta t = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). На полигонах №2 и №3 значения температуры снижаются незначительно ( $\Delta t = 0,1^\circ\text{C}$ ).

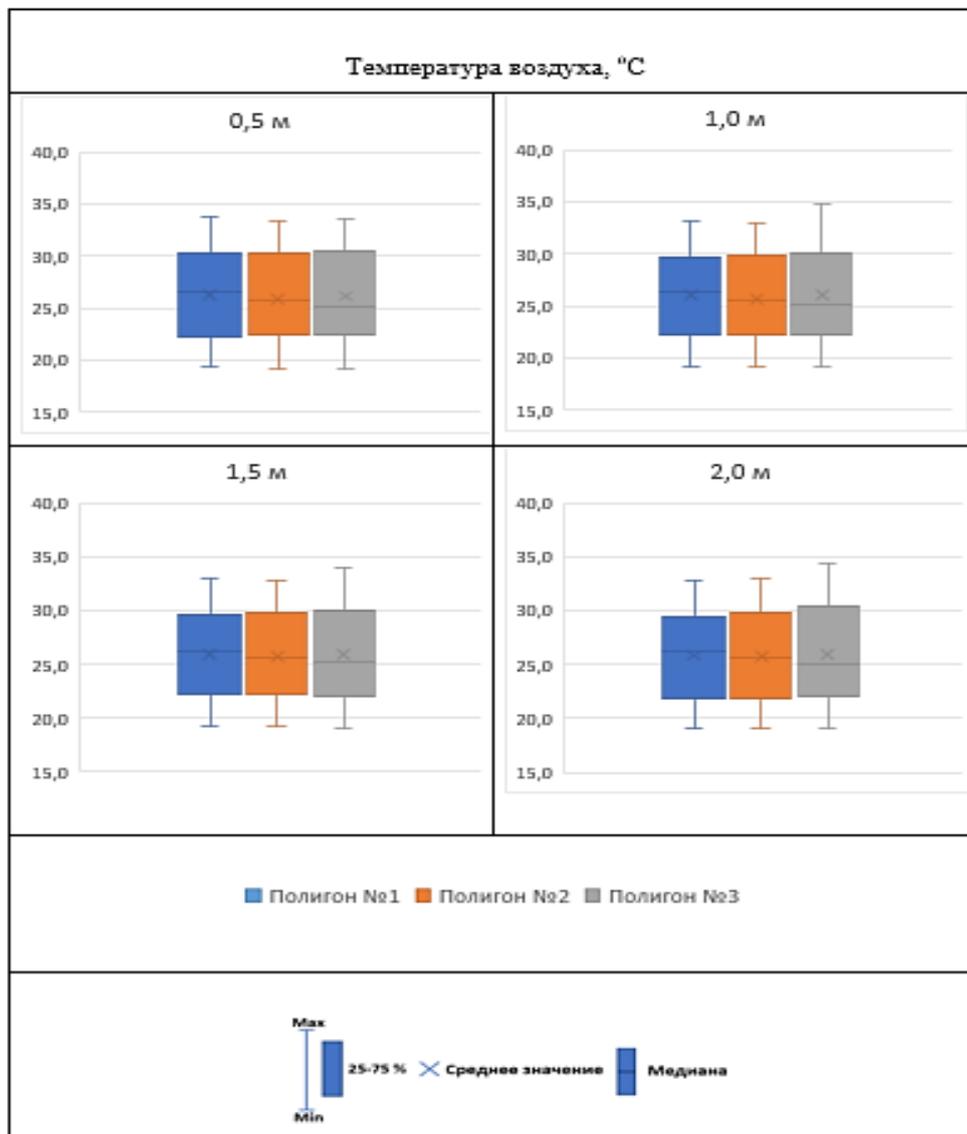


Рис. 4.3. Статистические характеристики температуры воздуха на различных высотах в период с 16 по 22 июля 2019 г. на участках песчаного раздува (составлено автором)

Температура воздуха на всех уровнях полигона №1 в среднем оказалась немного выше по сравнению с остальными полигонами. По всем высотам отмечается следующая закономерность: значения температуры воздуха

уменьшаются в ряду: вершина дюны (полигон №1) – наветренная сторона (полигон №2) – подветренная сторона (полигон №3).

#### 4.1.2. ОСОБЕННОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ

Относительная влажность воздуха приземного слоя является информативным микроклиматическим показателем, как правило, имеющим высокие колебания в суточном ходе. Высокие значения относительной влажности фиксируются в ночные, вечерние и утренние часы, где значения держатся на уровне 60-90%, в отличие от дневного времени, в котором регистрируются довольно низкие значения влажности воздуха (Рисунок 4.4).

Наибольшие значения влажности воздуха в ночные и утренние часы характерны для полигона №2. Оценка распределения показателей относительной влажности воздуха на трех полигонах показала, что наименьшие значения влажности в дневное время преобладает на полигоне №3.

Среднесуточная влажность за весь период наблюдений составила 57,4% на вершине дюны (полигон №1), а на наветренном (полигон №2) и подветренном (полигон №3) склонах 58,2 % и 58,9 % соответственно. Между всеми полигонами наблюдается незначительные колебания, от 64,4 до 62,3 % по данным измерений (Рисунок 4.4).

Результаты измерений относительной влажности воздуха на выбранных уровнях высот на полигонах раздува представлены на рисунке 4.5. На наветренной (Полигон №2) и на подветренной стороне (Полигон №3) отмечается наиболее резкое снижение значений относительной влажности с повышением высоты. Особенно выражена эта тенденция на подветренном участке (полигон №3). На вершине дюны (Полигон №1) относительная влажность воздуха на всех уровнях практически не меняется (Рисунок 4.5).

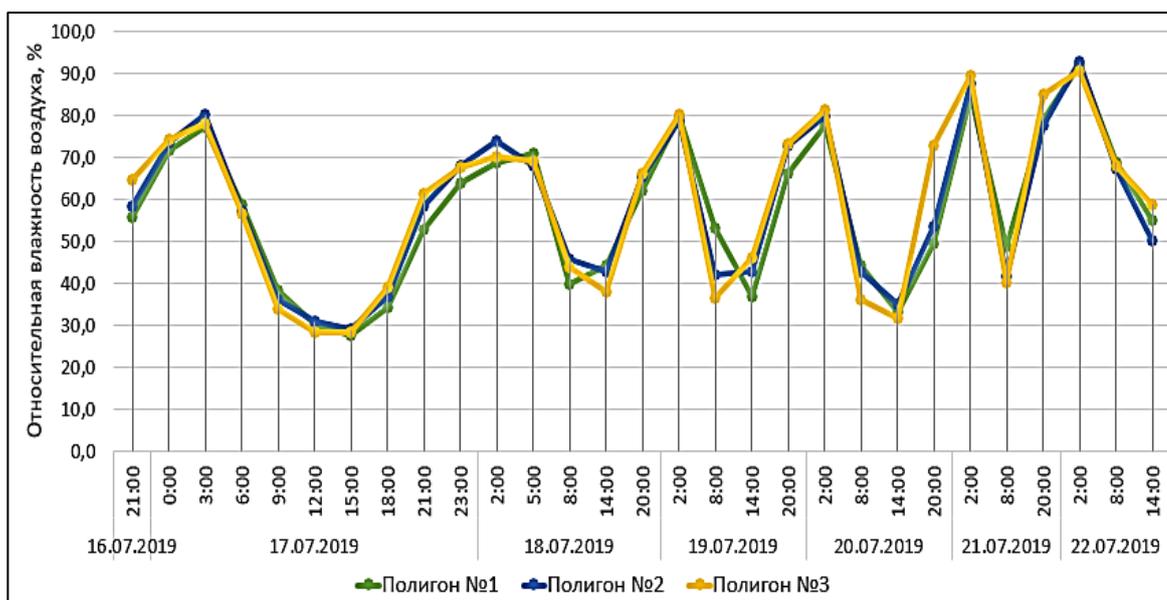


Рис. 4.4. Суточный ход относительной влажности воздуха на участках песчаного раздува в период с 16 по 22 июля 2019 года по средним значениям на высотах от 0,5 до 2,0 м (составлено автором)

Относительная влажность воздуха на участке подветренной стороны, была приблизительно на 3 % выше, чем на вершине дюны. Разница значений между вершиной дюны и наветренной стороной была меньше - около 2%. На полигоне №3 коэффициент детерминации  $R^2$  принимает значение 0,52, что обуславливает низкую точность подбора уравнения регрессии для данного случая. Для полигона №2 (наветренный склон песчаной дюны) значение несколько выше  $R^2=0,73$ . Коэффициент на полигоне №1 принимает высокую функциональную зависимость,  $R^2=0,88$  (Рисунок 4.5).

Влажность воздуха является одним из важнейших абиотических факторов, обеспечивающих благоприятное существование растений. Известно, что они подвергаются действию неблагоприятных факторов окружающей среды, естественного и антропогенного происхождения. Стрессорами естественного происхождения являются - недостаток влаги, экстремальные температуры (высокие и низкие), степень освещенности, ультрафиолетовая радиация и др.

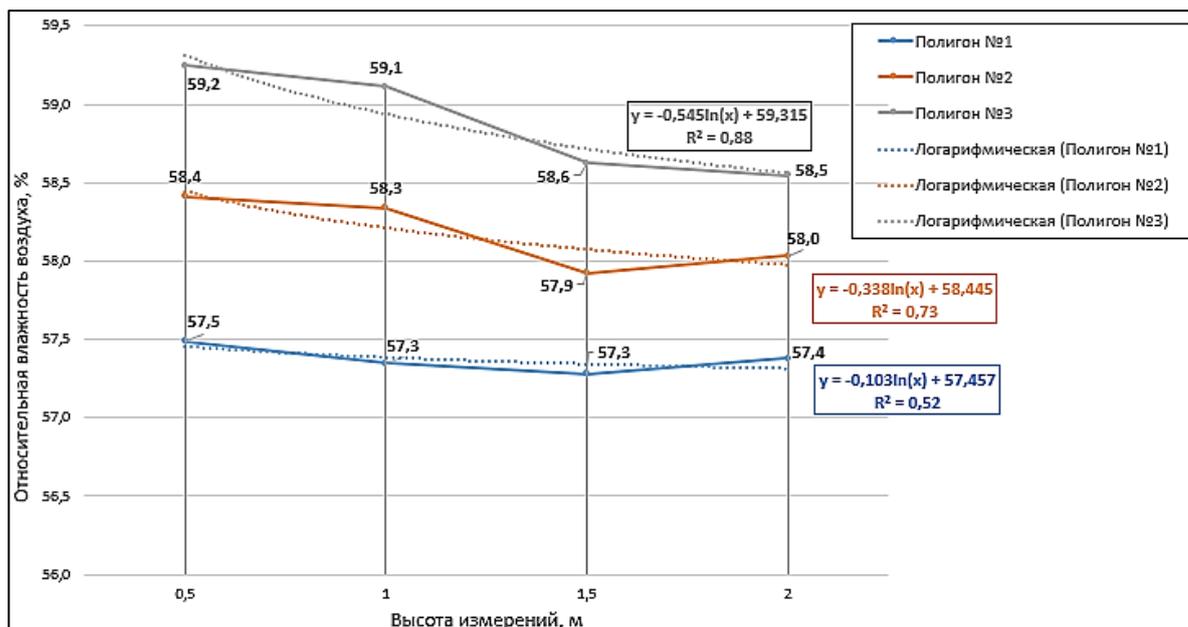


Рис. 4.5. Изменение значений относительной влажности воздуха на различных высотах измерений на вершине дюны (полигон № 1), на наветренном участке (полигон №2) и на подветренной стороне (полигон №3)  
(составлено автором)

В периоды максимального повышения относительной влажности в ночные часы, происходит охлаждение теплого влажного воздуха до определенной температуры, которая называется точкой росы. На участках, где произошло охлаждение температуры, характерно образование конденсата. Отчетливое проявление этого процесса было отмечено 17 июля в 3:00. Значения точки росы в тот период составили 20,12 °С (Приложение 3).

Анализ статистических показателей относительной влажности воздуха показал, что медианы на полигоне №3 принимают значения на всех высотах выше средних арифметических, и превышают аналогичный показатель для двух других зон (Рисунок 4.6). На всех уровнях, минимальные значения медиан относительной влажности отмечаются на полигоне №1. Значения относительной влажности воздуха уменьшаются в ряду подветренная сторона (полигон №3) – наветренная сторона (полигон №2) – вершина дюны (полигон №1). Это распределение объясняется тем, что влажность воздуха в приземном

слое находится в сильной зависимости от скорости ветра и его турбулентности [Соломатов, 2014].

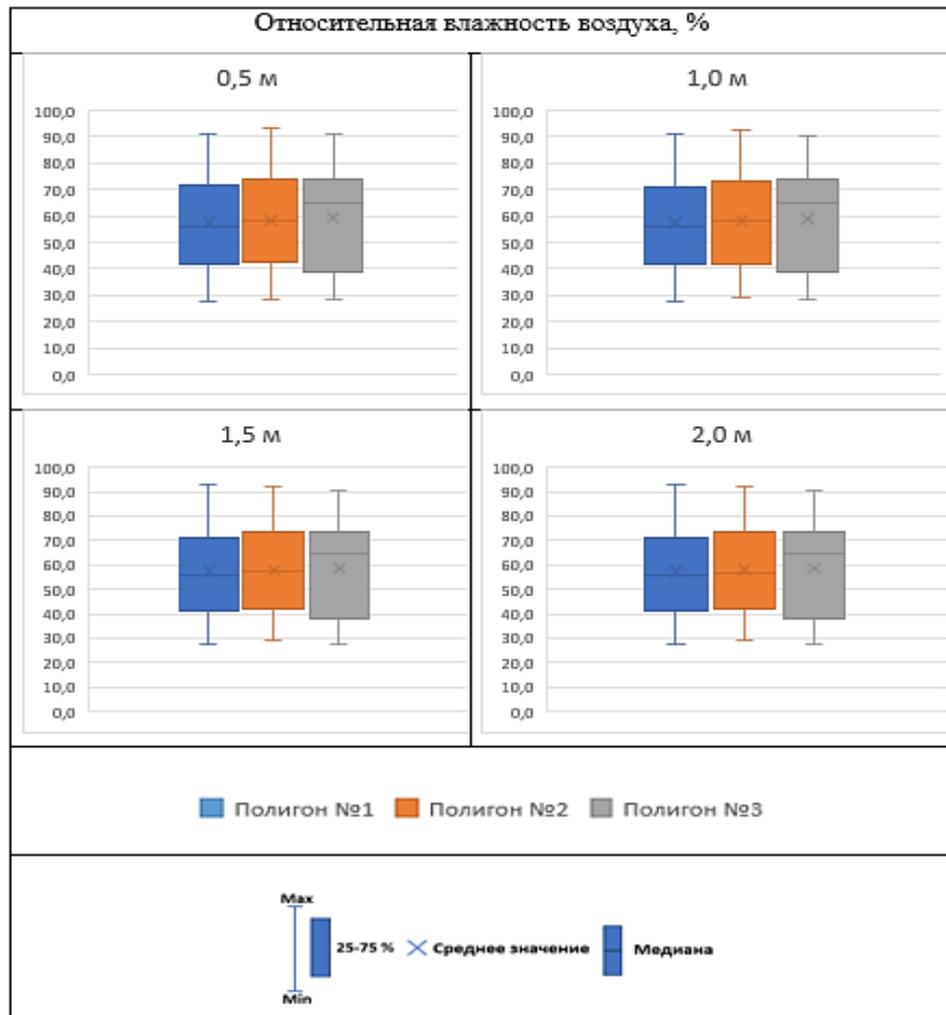


Рис. 4.6. Статистические характеристики относительной влажности воздуха на различных высотах в период с 16 по 22 июля 2019 г. на участках песчаного раздува (составлено автором)

#### 4.1.3. ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА

В приземном слое ни один из метеорологических элементов не обладает столь высокой изменчивостью во времени и пространстве, как скорость ветра. Данные по ветровому режиму играют важную роль при изучении микроклимата, т. к. их незначительное колебание оказывает существенное влияние на микроклиматические характеристики в приземном слое воздуха.

В течение суток колебания значений скорости ветра проявляют себя по-разному. В летний период времени эти колебания имеют более серьезный характер по причине значительного прогрева воздуха днем. Как следствие увеличивается неустойчивость атмосферы и скорость ветра днем увеличивается в несколько раз, по сравнению с ночной.

Изменения скорости ветра в течении суток показывают, что за весь период наблюдений средняя скорость ветра в двухметровом слое, принимала значения в пределах от 1,3 до 2,0 м/с.

Данные измерений скорости ветра в период с 16 по 22 июля 2019 года указывают на значительные вариации параметра на всех трех полигонах песчаного раздува. Преимущественно низкие колебания скорости ветра отмечаются на подветренном участке песчаной дюны – полигоне №3 за весь период наблюдений.

Большие среднесуточные значения скорости ветра отмечены на полигоне №2 – наветренной стороне песчаной дюны, по сравнению с вершиной дюны – полигоном №1. В некоторые периоды времени, а именно в дневное время (14:00) значения скорости ветра на полигоне №1 принимают большие значения, по сравнению с наветренной стороной дюны (полигон №2) (Рисунок 4.7).

Анализ полученных результатов, в целом, показал максимальные внутрисуточные различия в период с 15:00 до 18:00. Это, в первую очередь объясняется различиями характеристик подстилающей поверхности, влияющие на степень прогрева атмосферного воздуха в часы максимальной солнечной инсоляции.

Результаты измерений скоростей ветра на площадках песчаного раздува на нескольких уровнях высот представлены на рисунке 4.8.

В приземном слое воздуха значения скорости ветра зависят от шероховатости поверхности изучаемого участка. Очевидно, что с повышением высоты влияние поверхности ослабевает и происходит повышение скорости ветра (Рисунок 4.8). Но, часто фиксируется отклонение полученных значений от нормы скоростей, характерных для определённого участка местности.

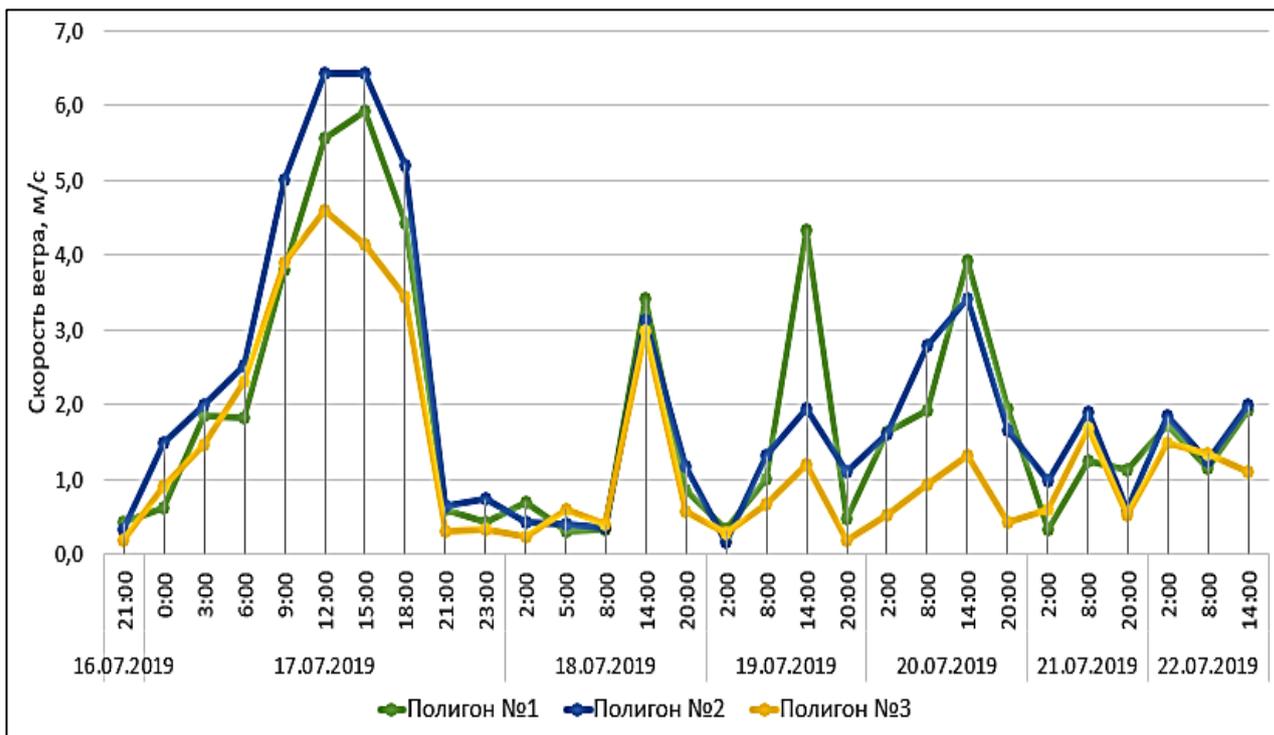


Рис. 4.7. Суточный ход скорости ветра на участках песчаного раздува в период с 16 по 22 июля 2019 года по средним значениям на высотах от 0,5 до 2,0 м (составлено автором)

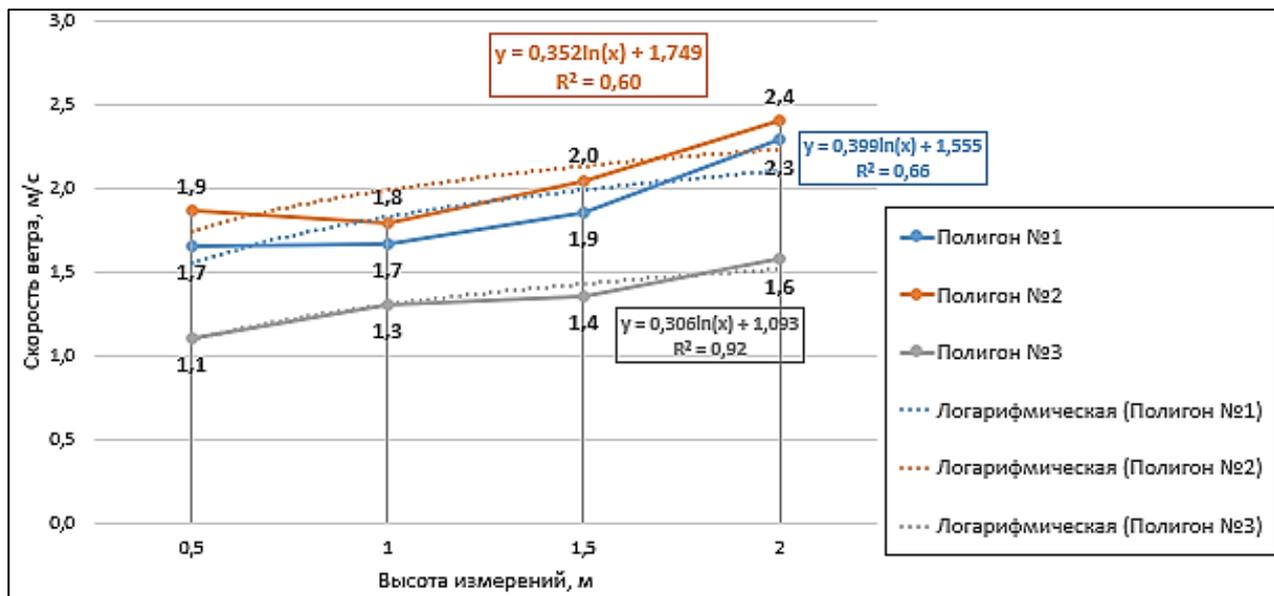


Рис. 4.8. Изменение значений скорости ветра на вершине дюны (полигон №1), на наветренном участке (полигон №2) и на подветренной стороне (полигон №3) (составлено автором)

На подветренной стороне песчаной дюны (полигон №3) величина достоверности аппроксимации равняется 0,92, что указывает на хорошее совпадение расчетной прямой с исходными данными и наиболее точное качество модели. На наветренной стороне и вершине дюны величина  $R^2$  составила 0,66 и 0,61 соответственно (Рисунок 4.8).

По нашим наблюдениям наиболее характерны различия распределения скорости ветра на всех участках анализа.

На полигоне №2 (наветренной стороне дюны), медианы значений скорости ветра на измеряемых уровнях высот принимают значения выше, по сравнению с медианами полигона №1 и полигона №3. Среднеарифметическое значение выборки на всех уровнях имеет более высокое значение, в сопоставлении с показателями медианы (Рисунок 4.9).

Максимальные значения всех статистических показателей этого параметра зафиксированы на высоте 2,0 м от поверхности на вершине дюны – до 9 м/с (Рисунок 4.9). Отмечаются значительно меньшие значения скорости ветра на подветренном участке (не более 5,0 м/с, среднем – от 1,1 до 1,6 м/с с повышением высоты).

По данным метеостанции г. Надым, в это время преобладают ветры, дующие с востока. Их повторяемость составила 34 % от всего массива наблюдений. В 20 % случаев отмечен безветровой режим. Преимущественно, больше всего штилей наблюдается в ночное время [Архив погоды в г.Надым].

В результате анализа в период с 16 по 22 июля установлено, что значения скорости ветра снижаются в ряду: наветренная сторона (полигон №2) > вершина дюны (полигон №1) > подветренная сторона (полигон №3).

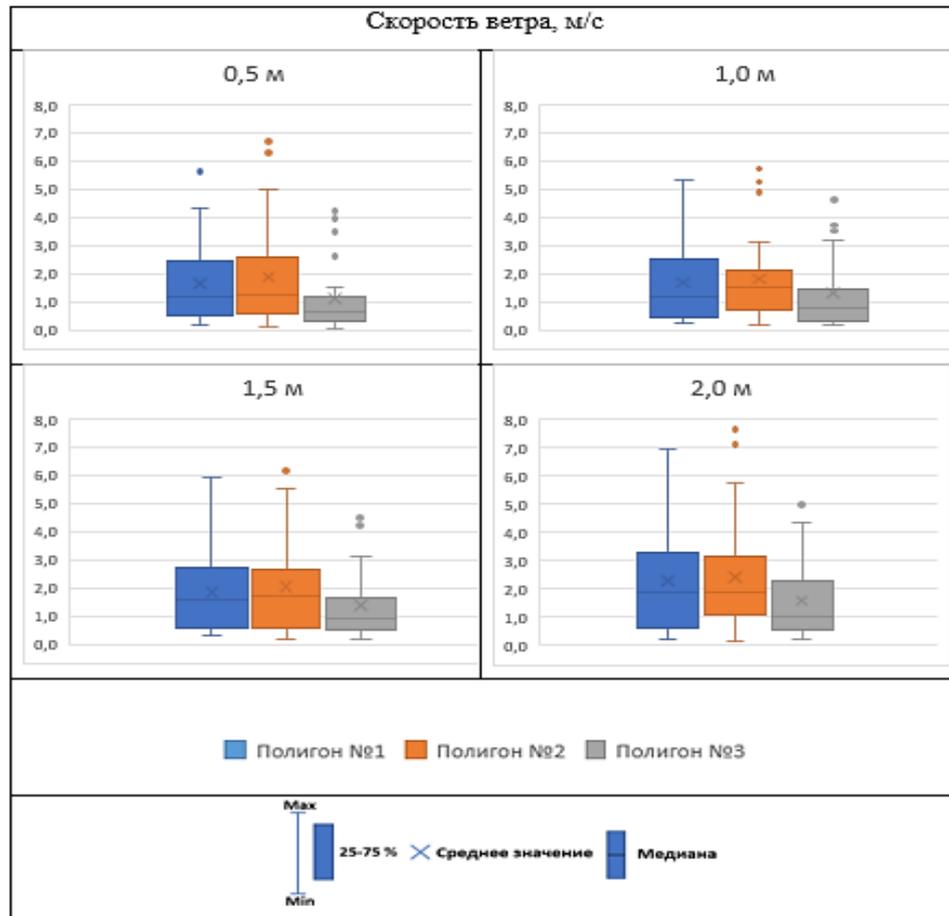


Рис. 4.9. Статистические характеристики скорости ветра на различных высотах в период с 16 по 22 июля 2019 г. на песчаном раздуве (составлено автором)

#### 4.1.4. ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПЕСЧАНОМ МАССИВЕ

За период наблюдений с 16 по 22 июля были проанализированы основные микроклиматические параметры, такие как температура воздуха, относительная влажность воздуха и скорость ветра. Они могут быть либо взаимосвязаны между собой, либо независимы. Как правило, связь между ними носит статистический характер.

Для полученных значений температуры, относительной влажности воздуха и скорости ветра на высоте от 0,5 до 2,0 м был проведен корреляционный анализ. Основная задача корреляционного анализа -

установить тесноту связи между выбранными признаками, которая проявляется в увеличении или уменьшении одной переменной в зависимости от другой. Для установления такой взаимосвязи используется коэффициент корреляции, значения которого расположены в пределах от -1 до 1. При отсутствии связи коэффициент принимает нулевое значение.

Массив метеорологических данных был обработан в программе Statistica 6.0 ("StatSoft Inc."). Конечный итог вычислений коэффициентов корреляции между парами метеорологических параметров для полигона №1, полигона №2 и полигона №3 приведены в таблицах 4.1, 4.2 и 4.3 соответственно.

В результате анализа выявлена существенная связь большинства параметров на всех уровнях измерений. В частности, Знак «-» свидетельствует о том, что большие значения температуры воздуха соответствуют меньшим значениям относительной влажности воздуха, что характеризует обратную направленность параметров.

Коэффициенты между значениями относительной влажности воздуха и скорости ветра так же говорят об обратной зависимости между величинами.

Коэффициент корреляции температуры и влажности воздуха расположен в промежутке от -0.95 до -0.97. Более сильная связь отмечена на полигоне №1. Между относительной влажностью и скоростью ветра меньшие коэффициенты корреляции отмечены на полигоне №3.

Знак «+» означает, что большие значения температуры воздуха соответствуют большим значениям влажности и наоборот, малые значения температуры воздуха соответствуют малым значениям скорости ветра.

Для всех полученных матриц коэффициентов корреляции, при уровне  $p < 0,05$ , наблюдается высокая значимость параметров.

Показана высокая взаимосвязь температуры воздуха на всех высотах измерений (0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 м) на вершине дюны, наветренной стороне и подветренной. Такая же высокая связь параметров характерна и для относительной влажности воздуха.

На вершине дюны (полигон №1) для скорости ветра характерна так же

высокая зависимость, но на всех уровнях, значения коррелируют по-разному между собой, а наименьшая связь отмечена между высотами 0,5 и 2,0 м.

Высокая отрицательная корреляционная связь между параметрами относительной влажности и скоростью ветра отмечается на высоте 1,5 м на полигоне №1 (Таблица 4.1).

Таблица 4.1

Матрица коэффициентов корреляции между значениями параметров микроклимата на вершине дюны (полигон №1)

Параметр		Температура воздуха				Относительная влажность воздуха				Скорость ветра			
		0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м
Температура воздуха	0,5 м	1,00	0,99	0,99	0,99	-0,97	-0,97	-0,97	-0,97	0,65	0,66	0,70	0,65
	1,0 м		1,00	0,99	0,99	-0,97	-0,97	-0,97	-0,97	0,62	0,64	0,68	0,63
	1,5 м			1,00	0,99	-0,97	-0,97	-0,96	-0,97	0,64	0,66	0,68	0,63
	2,0 м				1,00	-0,96	-0,96	-0,96	-0,96	0,62	0,64	0,67	0,61
Относительная влажность воздуха	0,5 м					1,00	0,99	0,99	0,99	-0,69	-0,70	-0,73	-0,69
	1,0 м						1,00	0,99	0,99	-0,67	-0,68	-0,71	-0,68
	1,5 м							1,00	0,99	-0,67	-0,68	-0,71	-0,68
	2,0 м								1,00	-0,68	-0,68	-0,71	-0,68
Скорость ветра	0,5 м									1,00	0,96	0,92	0,86
	1,0 м										1,00	0,97	0,94
	1,5 м											1,00	0,96
	2,0 м												1,00

Примечание: при  $P < 0,05$

На полигоне №2 (наветренном склоне песчаной дюны) высокая связь между скоростью ветра и относительной влажностью воздуха зафиксирована на высоте 0,5 м. Остальные значения между параметрами, принимают приблизительно такие же значения, как на полигоне №1 (вершине дюны) (Таблица 4.2).

На подветренном склоне песчаной дюны (полигон №3) коэффициент корреляции относительной влажности воздуха между высотами 0,5 и 2,0 м принимает высокую отрицательную связь, в отличие от положительного направления на других уровнях высот.

Матрица коэффициентов корреляции между значениями параметров микроклимата на наветренном склоне песчаной дюны (полигон №2)

Параметр		Температура воздуха				Относительная влажность воздуха				Скорость ветра			
		0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м
Температура воздуха	0,5 м	1,00	0,99	0,99	0,99	-0,96	-0,96	-0,95	-0,95	0,68	0,60	0,61	0,58
	1,0 м		1,00	0,99	0,99	-0,96	-0,96	-0,96	-0,96	0,68	0,60	0,62	0,58
	1,5 м			1,00	0,99	-0,95	-0,95	-0,95	-0,95	0,66	0,57	0,60	0,56
	2,0 м				1,00	-0,95	-0,95	-0,95	-0,95	0,66	0,58	0,60	0,56
Относительная влажность воздуха	0,5 м					1,00	0,99	0,99	0,99	-0,73	-0,65	-0,68	-0,64
	1,0 м						1,00	0,99	0,99	-0,72	-0,64	-0,67	-0,64
	1,5 м							1,00	0,99	-0,73	-0,64	-0,67	-0,63
	2,0 м								1,00	-0,72	-0,64	-0,67	-0,63
Скорость ветра	0,5 м									1,00	0,97	0,97	0,96
	1,0 м										1,00	0,97	0,97
	1,5 м											1,00	0,98
	2,0 м												1,00

Примечание: при  $P < 0,05$

Средняя положительная корреляционная связь между температурой воздуха и скоростью ветра имеет более низкую зависимость для скорости ветра на высоте 1,5 м.

Так же более низкая связь коэффициентов для скорости ветра отмечена на высоте 1,5 м между значениями скорости ветра и влажности воздуха.

В противоположность полигону №2, максимальная коррелируемость для скорости ветра характерна для высоты 1,5 м (Таблица 4.3).

Как видно из табл., взаимосвязь скорости ветра между собой на разных высотах приблизительно одинакова.

С усилением ветра повышается турбулентность, и, следовательно, увеличивается теплообмен между температурой и воздухом, поэтому между температурой и скоростью ветра на полигоне №3 отмечается более низкая связь, в сравнении с другими полигонами.

При оценке совокупности полученных корреляционных взаимосвязей микроклиматических параметров между всеми полигонами можно говорить о том, что на полигоне №3, расположенном на подветренной стороне дюны складываются наиболее благоприятные для растений условия в приземном слое

воздуха – относительная влажность в двухметровом слое значительно связана с температурой и меньше всего зависит от скорости ветра, по сравнению с другими полигонами.

Таблица 4.3

Матрица коэффициентов корреляции между значениями параметров микроклимата на площадке подветренного склона (Полигон №3)

Параметр		Температура воздуха				Относительная влажность воздуха				Скорость ветра			
		0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м
Температура воздуха	0,5 м	1,00	0,99	0,99	0,99	-0,97	-0,97	-0,97	-0,97	0,59	0,58	0,54	0,62
	1,0 м		1,00	0,99	0,99	-0,96	-0,96	-0,96	-0,96	0,57	0,55	0,52	0,57
	1,5 м			1,00	0,99	-0,97	-0,96	-0,96	-0,96	0,56	0,54	0,50	0,56
	2,0 м				1,00	-0,97	-0,96	-0,96	-0,96	0,56	0,54	0,51	0,54
Относительная влажность воздуха	0,5 м					1,00	0,99	0,99	-0,97	-0,63	-0,63	-0,60	-0,63
	1,0 м						1,00	0,99	0,99	-0,64	-0,64	-0,60	-0,63
	1,5 м							1,00	0,99	-0,64	-0,64	-0,60	-0,63
	2,0 м								1,00	-0,63	-0,63	-0,60	-0,62
Скорость ветра	0,5 м									1,00	0,98	0,97	0,92
	1,0 м										1,00	0,97	0,92
	1,5 м											1,00	0,89
	2,0 м												1,00

Примечание: при  $P < 0,05$

## 4.2. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА В РАЙОНЕ РЕДКОСТОЙНОГО ЛИСТВЕННИЧНОГО ЛЕСА

Проведены исследования микроклиматических условий на участках в естественном лиственничном редколесье – «вырубке», вырубке древостоя с минерализацией почвенного покрова («взлетная полоса»), естественном лиственничнике («контрольная зона»).

### 4.2.1. ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

Вертикальный профиль температуры воздуха на участке «взлетной полосы» характеризуется почти неизменными значениями на всех высотах, а на

участках « зона вырубki» и «контрольной зоны» — понижением значений температуры воздуха с высотой, что может быть связано как с влиянием внешних источников тепла, так и с микроклиматическими особенностями: более открытой местностью на участках и различной степенью освещенности летом в дневные часы (Рисунок 4.10).

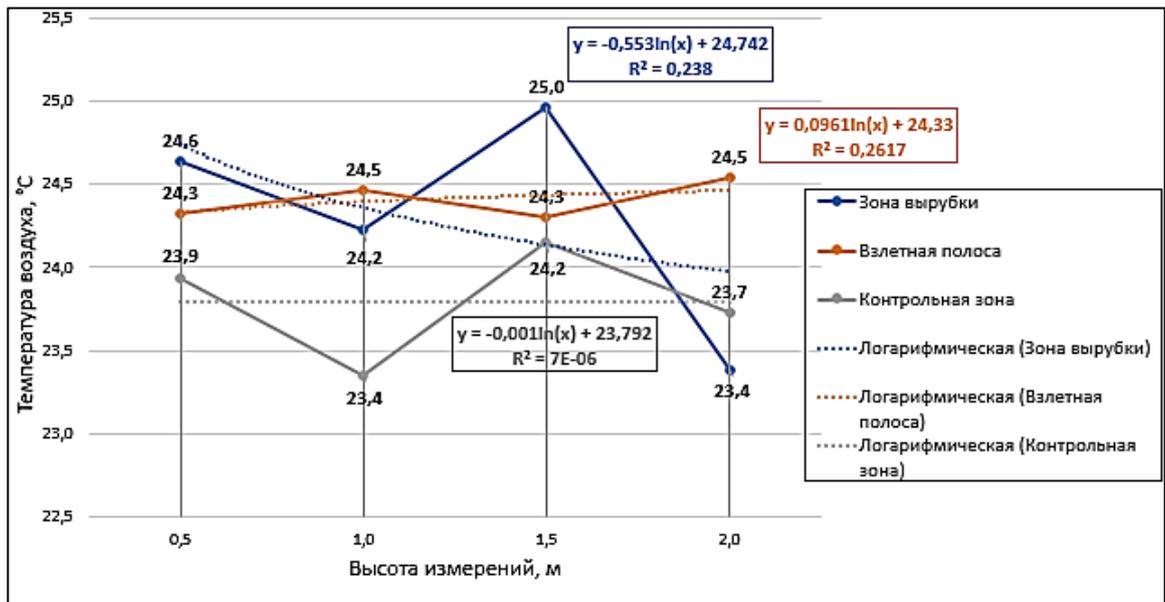


Рис. 4.10. Статистические характеристики температуры воздуха на участках естественного лиственничного редколесья (составлено автором)

Установлено, ненамного более резкое понижение температуры с высотой на участке взлетной полосы, в сравнении с зоной вырубki. На участке контрольной зоны высотное распределение температуры сохраняется на всех уровнях высот.

Коэффициент детерминации  $R^2$  на участках естественного лиственничного редколесья указывает на плохое качество подобранной модели. Более высокое значение, среди всех полученных результатов характерно для участка взлетной полосы,  $R^2=0,26$ . Самое низкое значение отмечено в естественном лиственничнике («контрольная зона»).

На рисунке 4.11 в результате анализа полученных данных видно, что в

среднем на всех уровнях высот, по 8 точкам, на которых проводились измерения, температура на участке взлетной полосы оказалась выше, чем на участках вырубки и контрольной зоны.

В естественном насаждении ("контрольная зона") медианы температур воздуха на всех высотах принимают меньшие значения, близкие к уровню квартиля 25 %, по сравнению со средним арифметическим значением. На "взлётной полосе" и в "зоне вырубки" медианы температур либо превышают средние арифметические, либо соответствуют им (Рисунок 4.11). Температура воздуха на взлетной полосе в среднем оказалась выше остальных и варьировала от 24,3 °С до 24,5 °С.

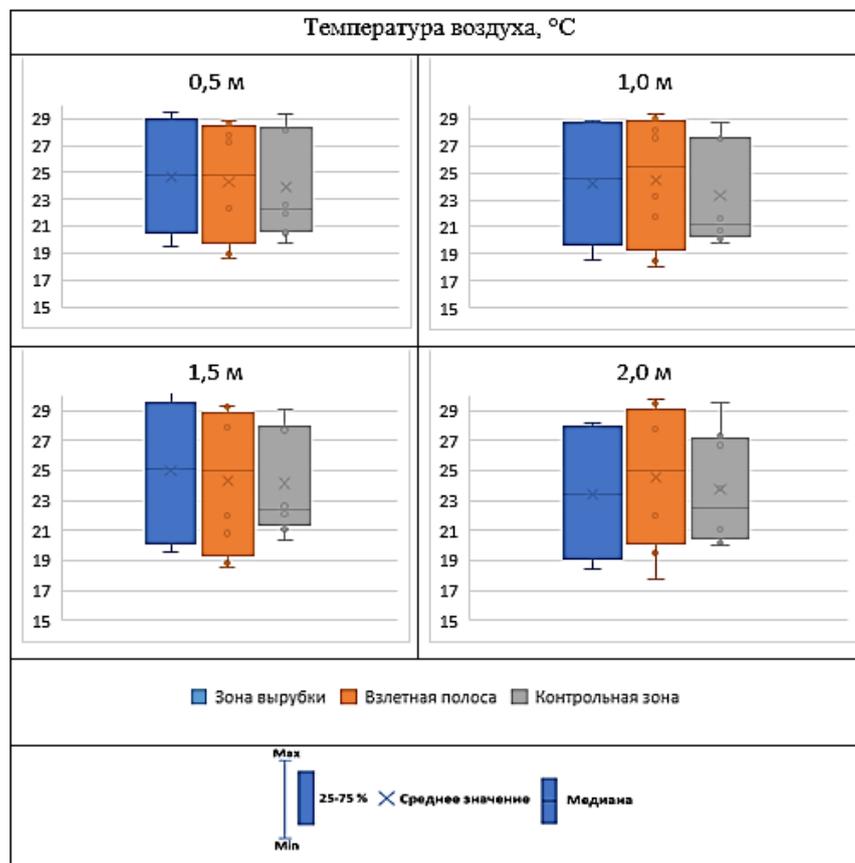


Рис. 4.11. Статистические характеристики температуры воздуха на различных высотах в период с 16 по 22 июля 2019 г. (составлено автором)

Значения температуры воздуха уменьшаются в ряду "взлетная полоса»» "зона вырубки»» "контрольная зона".

На большей части земного шара в последнее время интенсивно проводятся наблюдения за характеристиками изменения климата, а именно, его потепления, которое в основном изучается по результатам измерений температуры воздуха на уровне двух метров. Для более подробных исследований подключают и другие климатические показатели, такие как температура поверхности почвы и грунта на разных глубинах. Данные, получаемые в ходе исследований, имеют широкое применение в строительстве, сельском хозяйстве и других отраслях, связанных с деятельностью человека.

По результатам измерения температуры почвы на поверхности и на глубине 20 см, в среднем по 8 точкам наблюдений, выяснено, что медианы на участке взлетной полосы принимают значения выше медиан на других участках. На поверхности эта разница более существенна. С глубиной значения температуры постепенно выравниваются. Практически на всех измеряемых участках среднее значение превышает значения медиан, что говорит о большем сосредоточении параметра в более низком температурном режиме (Рисунок 4.12).

Как видно из графиков, термическое влияние поверхности ослабевает с глубиной, но т. к. горизонт 20 см расположен достаточно близко к поверхности почвы, различия незначительны.

Значения температуры на поверхности повышаются в ряду: «Контрольная зона» - «Зона вырубki» - «Взлетная полоса». На глубине 20 см распределение происходит иначе: «Зона вырубki» - «Контрольная зона» - «Взлетная полоса» (Рисунок 4.12).

В процессе исследования по одновременным измерениям температуры почвы на 8 точках каждого участка методом транссект, на этих участках обнаружены микроклиматические различия (не более 7 °С и 2 °С на поверхности и глубине 20 см соответственно).

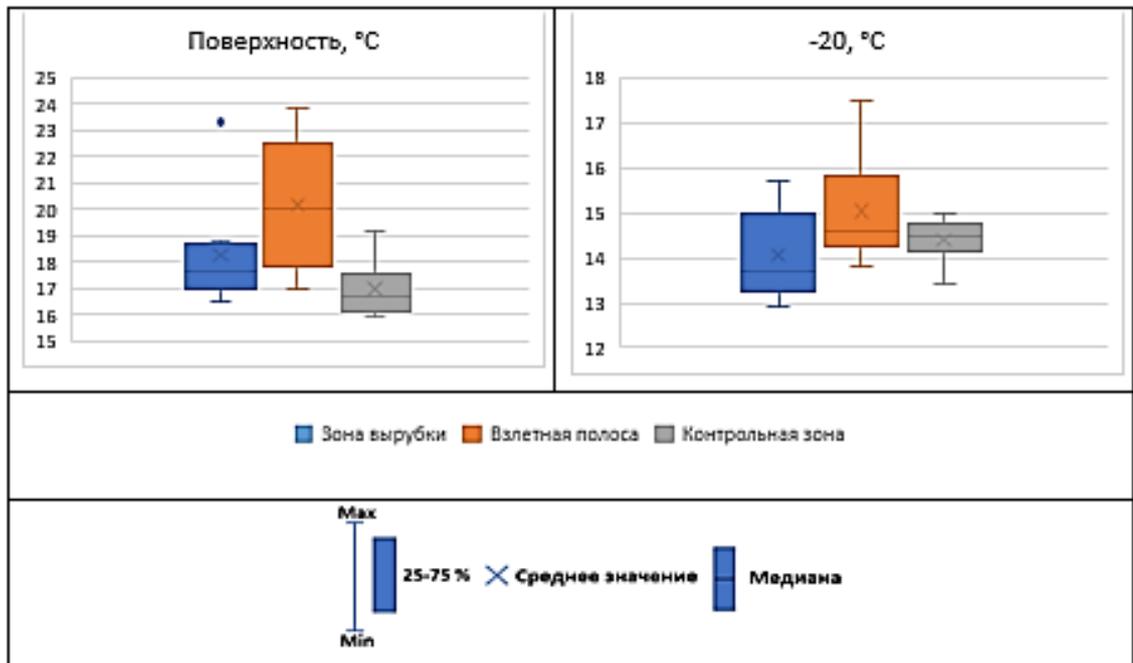


Рис. 4.12. Температура почвы на поверхности и на глубине 20 см на участках в естественном лиственный редколесье (составлено автором)

По всей видимости, причиной этих различий является неоднородная освещенность измерительных площадок днем, неодинаковость почвенного профиля и растительного покрова на участке.

Этой же причиной обусловлены различия в температуре при движении вдоль участков. Т.к измерения проводили в один день, значение температуры менялось благодаря более сильному прогреванию в послеобеденное время (Рисунок 4.13).

Из результатов микроклиматических наблюдений следует вывод о характере связи между температурой почвы и микроклиматическими параметрами в приземном слое. Теплообмен между приповерхностными слоями почвы и приземным слоем, в целом, является индикатором климатической устойчивости рассматриваемой территории.

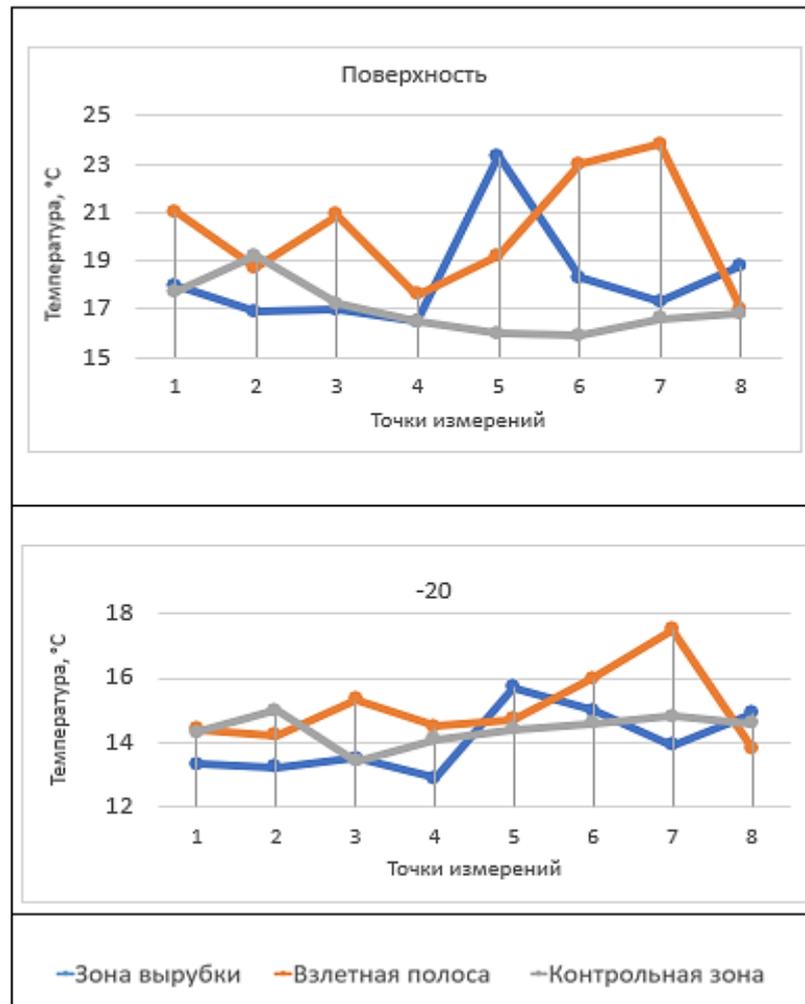


Рис. 4.13. Распределение температуры на поверхности и на глубине 20 см на 8 точках измерений в естественном лиственном лесу (составлено автором)

#### 4.2.2. ОСОБЕННОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ

Результаты анализа данных, полученных в естественном лиственном редколесье, показали, что высокие значения относительной влажности воздуха, взятые в среднем по 8 точкам измерений на участках 300x50 м, зафиксированы в зоне вырубki с минерализацией почвенного покрова (взлетная полоса). Так же на этом участке происходит наиболее резкое понижение относительной влажности воздуха с повышением высоты.

Относительная влажность на участке «контрольной зоны» несколько выше и приблизительно, на уровне 1,5-2,0 м имеет пересечения с значениями, зафиксированными в зоне вырубki.

Коэффициент достоверности аппроксимации или коэффициент детерминации указывает на правильно подобранную модель на участке взлетной полосы, где  $R^2$  принимает значение, равное 0,99. На контрольной зоне эта связь чуть слабее,  $R^2=0,69$ . Коэффициент детерминации на участке зоны вырубki близок к 0, что характеризует отсутствие связи между переменными регрессионной модели ( $R^2=0,0054$ ), а значит вместо нее следует использовать другую модель (Рисунок 4.14).

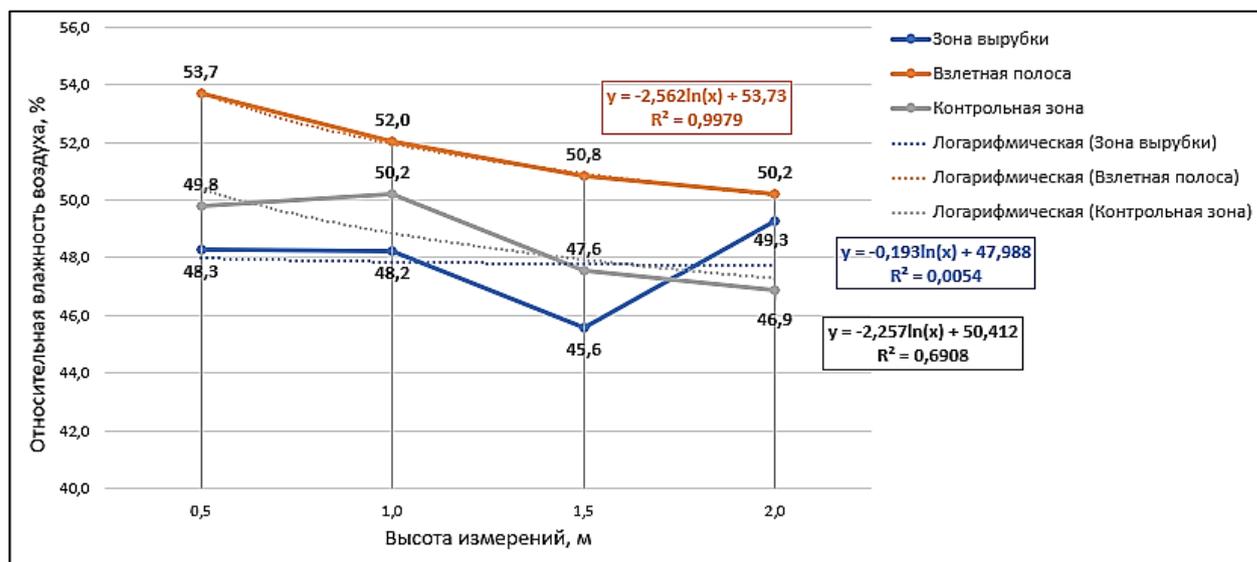


Рис. 4.14. Статистические характеристики относительной влажности воздуха на участках естественного лиственного редколесья (составлено автором)

Анализ статистических показателей относительной влажности воздуха выявил, что медианы в "контрольной зоне" принимают значения на всех высотах выше средних арифметических, и превышают аналогичный показатель для двух других зон (Рисунок 4.15). До высоты 1,5 м минимальные значения медиан относительной влажности отмечаются в "зоне вырубki". На уровне 2,0

м наблюдается стабилизация в зоне вырубке и вырубке, с минерализацией почвенного покрова.

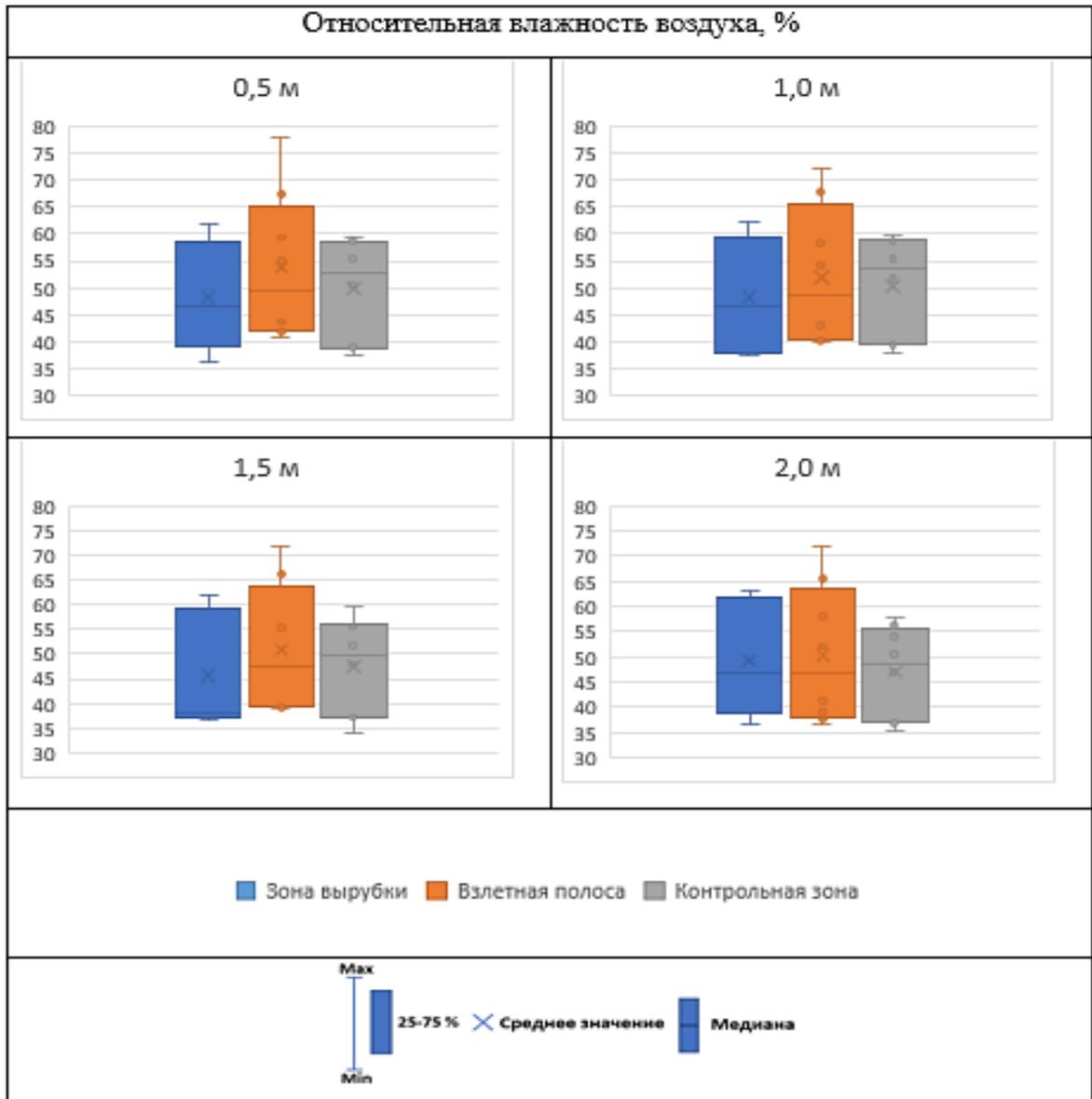


Рис. 4.15. Статистические характеристики относительной влажности воздуха на различных высотах 15 августа 2019 г. в естественном лиственничном редколесье (составлено автором)

По результатам анализа выяснено, что значения относительной влажности воздуха уменьшаются в ряду "контрольная зона»> "взлетная полоса»> "зона вырубке".

### 4.2.3. ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА

Интенсивность ослабления ветра с приближением к деятельной поверхности зависит от шероховатости поверхности почвы или растительного покрова, а также от интенсивности турбулентного обмена в приземном слое. «Вследствие турбулентного перемешивания отдельные частицы воздуха, имеющие определенную скорость, направленные вдоль земной поверхности, спускаются вниз и передают часть своей скорости нижележащему воздуху, наоборот - нижние частички, потерявшие направленную скорость, проникают вверх и там уменьшают скорость ветра в верхних слоях» [Сапожникова, 1950].

Результатом регрессионного анализа скорости ветра в естественном лиственныйном лесу служат коэффициенты детерминации, описывающие значимость модели. По данным, полученным в ходе микроклиматического исследования территорий, выяснено, что высокую значимость модель имеет на участке взлетной полосы:  $R^2 = 0,97$ . Для участка контрольной зоны,  $R^2$  принимает значение 0,76. Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,57$ , отмеченный на участке «зона вырубki» сравнительно ниже, чем на ранее описанных участках и относится к модели приемлемого качества (Рисунок 4.16).

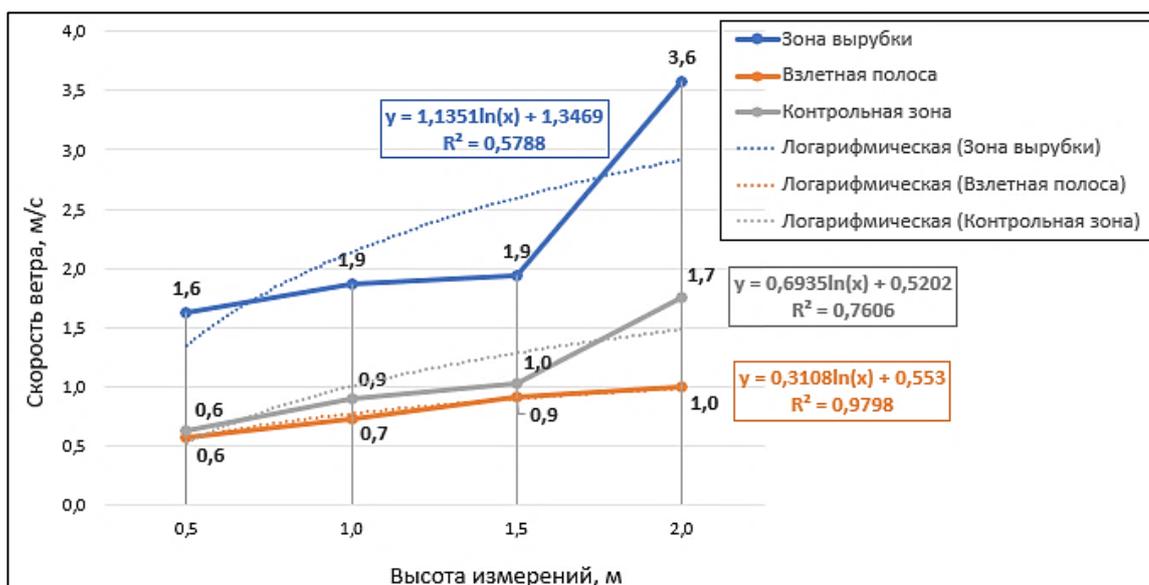


Рис. 4.16. Статистические характеристики скорости ветра на участках естественного лиственныйного редколесья (составлено автором)

По нашим наблюдениям над естественным лиственничным редколесьем, техногенно нарушенным участком, поросшим лиственничным молодняком и участком вырубленного лиственничного редколесья наиболее очевидны различия распределения скорости ветра. Максимальные значения всех статистических показателей этого параметра зафиксированы на высоте 2,0 м от поверхности в "зоне вырубki" - до 6 м/с (Рисунок 4.17). Можно отметить значительно меньшие значения скорости на участке «взлетной полосы» (не более 2,12 м/с, среднем - от 0,6 м/с до 1,0 м/с с повышением высоты), где сформировался молодой лиственнично-березовый лес.

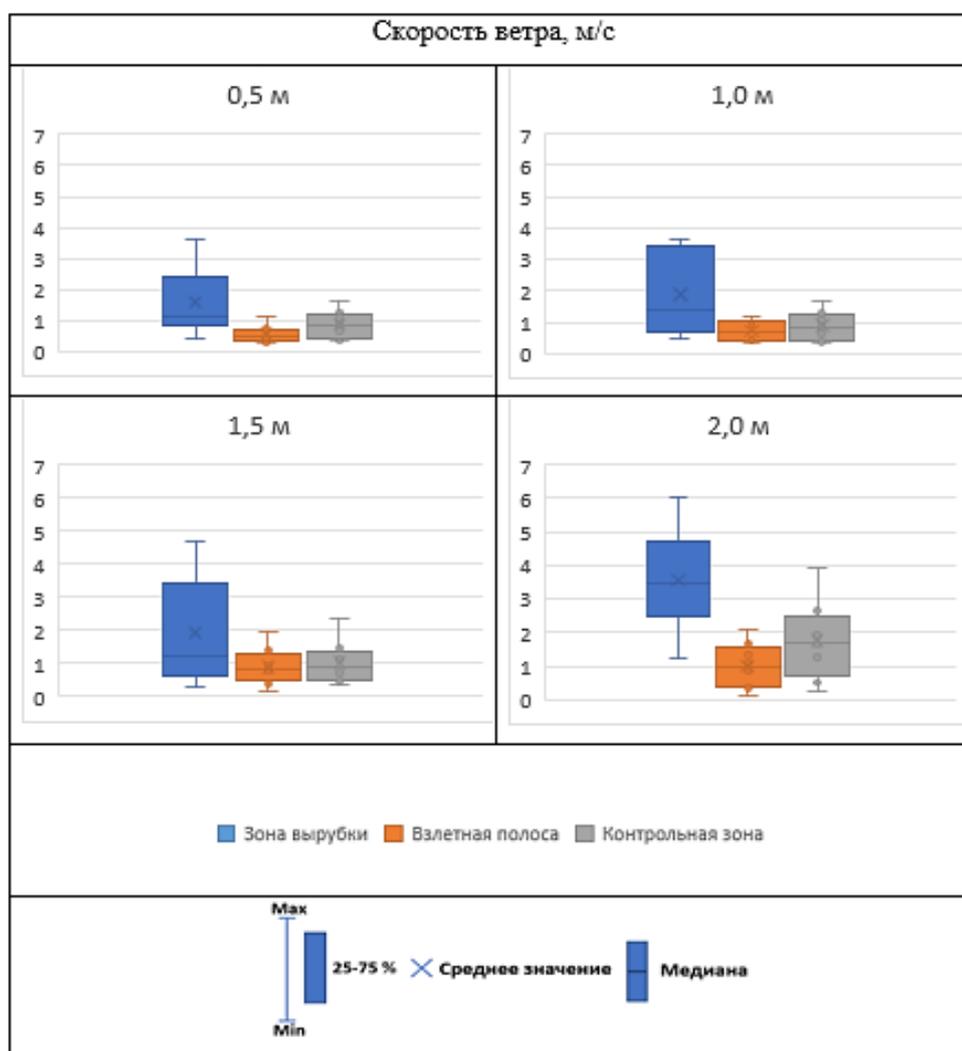


Рис. 4.17. Статистические характеристики скорости ветра на различных высотах 15 августа 2019 г. в естественном лиственничном редколесье (составлено автором)

Медианы на всех высотах измерений на участке «зона вырубki» принимают значительно большие значения, чем на «контрольной зоне» и на «взлетной полосе» (Рисунок 4.17).

Полученные значения скорости ветра снижаются в ряду "зона вырубki»> "контрольная зона»> "взлетная полоса".

#### 4.2.4. ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В РАЙОНЕ РЕДКОСТОЙНОГО ЛИСТВЕННИЧНОГО ЛЕСА

По результатам корреляционного анализа, выявлен характер зависимостей на участках с различной степенью шероховатости поверхности и проективного покрытия - вырубке, вырубке древостоя с минерализацией почвенного покрова и в естественном лиственничнике на исследуемых уровнях высот.

Оценка результатов математической обработки данных производится с применением обычного уровня значимости  $P < 0,05$ , который обычно применяется в научных исследованиях.

В целом, на каждом участке значения коэффициентов корреляции различны по модулю и значимости.

На всех участках измерений наблюдается высокая обратная корреляционная связь между значениями температуры и влажности воздуха, т.е. чем выше температура воздуха, тем меньше значения относительной влажности. На участке вырубki между значениями относительной влажности и температуры на высоте 1,5 корреляционная зависимость слабей, чем на других высотах.

Температура воздуха на двух метрах очень сильно коррелирует сама с собой, т. к. температура воздуха в более высоких слоях воздуха формируется благодаря нижележащим слоям.

По большей части, относительная влажность воздуха как бы формирует сама себя, т. к. идет процесс испарения и транспирации растений и на каждом

уровне относительная влажность воздуха формирует столб влажности, который коррелирует между собой на разных высотах.

На вырубке, измеренные значения скорости ветра на разных высотах имеют маленькую зависимость друг от друга, особенно ближе к поверхности почвы, однако более сильная взаимосвязь скорости ветра проявляется на высотах 0,5 и 1,5 метра (Таблица 4.4).

Таблица 4.4

Матрица коэффициентов корреляции между значениями параметров микроклимата в «Зона вырубки»

Параметр		Температура воздуха				Относительная влажность воздуха				Скорость ветра			
		0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м
Температура воздуха	0,5 м	1,00	0,97	0,99	0,98	-0,96	-0,96	-0,82	-0,97	-0,11	-0,59	-0,29	0,30
	1,0 м		1,00	0,98	0,99	-0,94	-0,96	-0,76	-0,98	-0,06	-0,76	-0,20	-0,30
	1,5 м			1,00	0,98	-0,96	-0,97	-0,78	-0,99	-0,13	-0,64	-0,32	0,33
	2,0 м				1,00	-0,96	-0,98	-0,73	-0,97	-0,04	-0,71	-0,18	0,34
Относительная влажность воздуха	0,5 м					1,00	0,99	0,72	0,97	-0,04	0,57	0,25	-0,24
	1,0 м						1,00	0,66	0,98	-0,04	0,64	0,20	-0,30
	1,5 м							1,00	0,74	0,20	0,36	0,36	-0,42
	2,0 м								1,00	0,03	0,66	0,27	-0,35
Скорость ветра	0,5 м									1,00	0,03	0,81	0,06
	1,0 м										1,00	-0,09	-0,44
	1,5 м											1,00	0,20
	2,0 м												1,00

Примечание: при  $P < 0,05$

На участке взлетной полосы в результате анализа влажности воздуха на разных уровнях между собой, меньшая связь влажности воздуха обнаружена на уровне 2, 0 м, по сравнению с другими высотами.

Коррелируемость скорости ветра между собой принимает низкие значения на всех уровнях, особенно между высотами 1,5 и 0,5 м.

Относительная влажность положительно связана со скоростью ветра на уровне 0,5 м.

Следовательно, на участке «взлетной полосы» складываются наиболее благоприятные условия влажности, не зависящие от скорости ветра.

По большей части, благодаря увеличению значения скорости ветра с высотой, связь между температурой и скоростью становится незначительной. Положительная взаимосвязь этого отношения на взлетной полосе и контрольной зоне проявляется на всех высотах, за исключением 0,5 м (Таблицы 4.5, 4.6). На участке вырубки между параметрами температуры и скорости ветра высокая связь отмечается на высоте 1,0 м = - 0,76 и -0,71. В целом связь по всем высотам между этими параметрами низкая и отрицательная, но на высоте 2,0 м она принимает положительные значения.

Таблица 4.5

Матрица коэффициентов корреляции между значениями параметров микроклимата на вырубке с минерализацией почвенного покрова «Взлетная полоса»

Параметр	Температура воздуха				Относительная влажность воздуха				Скорость ветра				
	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	
Температура воздуха	0,5 м	1,00	0,99	0,99	0,99	-0,96	-0,99	-0,99	-0,98	-0,23	0,29	0,41	0,13
	1,0 м		1,00	0,99	0,99	-0,97	-0,99	-0,98	-0,97	-0,26	0,22	0,41	-0,07
	1,5 м			1,00	0,99	-0,95	-0,98	-0,97	-0,96	-0,31	0,31	0,38	0,04
	2,0 м				1,00	-0,96	-0,98	-0,99	-0,99	-0,21	0,25	0,43	0,08
Относительная влажность воздуха	0,5 м				1,00	0,99	0,98	0,97	0,26	-0,10	-0,48	-0,04	
	1,0 м					1,00	0,99	0,97	0,26	-0,20	-0,42	-0,07	
	1,5 м						1,00	0,99	0,23	-0,18	-0,52	-0,13	
	2,0 м							1,00	0,12	-0,16	-0,55	-0,17	
Скорость ветра	0,5 м								1,00	-0,21	0,01	0,46	
	1,0 м									1,00	-0,40	0,34	
	1,5 м										1,00	0,30	
	2,0 м											1,00	

Примечание: при  $P < 0,05$

На участке контрольной зоны температура чуть меньше коррелирует сама с собой на высоте 2,0 м.

Относительная влажность воздуха имеет низкую положительную связь со скоростью ветра на всех высотах, за исключением 0,5 м.

Скорость ветра на высотах 0,5 и 2 метра имеет отрицательную направленность (Таблица 4.6).

Матрица коэффициентов корреляции между значениями параметров микроклимата на участке естественного лиственничника «Контрольная зона»

Параметр		Температура воздуха				Относительная влажность воздуха				Скорость ветра			
		0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м
Температура воздуха	0,5 м	1,00	0,99	0,99	0,94	-0,97	-0,98	-0,97	-0,97	0,17	-0,31	-0,07	0,05
	1,0 м		1,00	0,99	0,94	-0,97	-0,99	-0,97	-0,97	0,20	-0,29	-0,01	0,07
	1,5 м			1,00	0,93	-0,95	-0,97	-0,96	-0,96	0,17	-0,32	-0,09	0,09
	2,0 м				1,00	-0,96	-0,96	-0,94	-0,95	0,41	-0,31	-0,02	-0,25
Относительная влажность воздуха	0,5 м					1,00	0,99	0,98	0,98	-0,22	0,36	0,01	0,08
	1,0 м						1,00	0,98	0,99	-0,21	0,36	-0,02	0,02
	1,5 м							1,00	0,98	-0,15	0,37	0,08	-0,01
	2,0 м								1,00	-0,13	0,47	0,04	0,04
Скорость ветра	0,5 м									1,00	0,41	0,39	-0,53
	1,0 м										1,00	0,42	0,27
	1,5 м											1,00	0,17
	2,0 м												1,00

Примечание: при  $P < 0,05$

На рассматриваемых участках в ходе анализа выявлена связь между основными микроклиматическими параметрами и температурой почвы и обнаружены различия, которые обусловлены ландшафтной неоднородностью участков, (разной степенью освещенности, характером подстилающей поверхности, с обогревающим влиянием растительности и т.д.

Выводы по главе:

1. Статистическая обработка результатов показала, что характер расположения исследуемых полигонов влияет на микроклиматические особенности в приземном слое воздуха. Выявлено, что температуры воздуха уменьшаются в ряду: вершина дюны (полигон №1) - наветренная сторона (полигон №2) - подветренная сторона (полигон №3). Максимальные значения относительной влажности зафиксированы на полигоне №3 (подветренной стороне дюны). Низкие значения влажности - на вершине дюны (полигон №1). Распределение скорости ветра складывается следующим образом: значения снижаются в ряду: наветренная сторона (полигон №2) – вершина дюны (полигон №1) – подветренная сторона (полигон №3).

Корреляционный анализ параметров микроклимата на высотах, от 0,5 до 2,0 м показывает высокую достоверную связь между параметрами на высотах между собой. В целом, наиболее благоприятные условия для растительности складываются на полигоне №3 (подветренной стороне песчаной дюны), т.к. ветровой поток не влияет на распределение относительной влажности.

2. На участке естественного лиственничного редколесья 15 августа 2019 г. ситуация складывалась следующим образом: значения температуры воздуха уменьшаются в ряду "взлетная полоса»> "зона вырубki»> "контрольная зона".

3. По результатам анализа выяснено, что значения относительной влажности воздуха повышаются в ряду «зона вырубki" <<"взлетная полоса" <<"контрольная зона".

4. В распределении скорости ветра, высокие значения отмечены в «зоне вырубki», низкие – на участке «взлетной полосы».

5. Корреляционный анализ между параметрами микроклимата на высотах показывает высокий уровень зависимости температуры воздуха и относительной влажности между собой. Обобщая, можно сделать вывод о наиболее устойчивом и благоприятном микроклимате на участке «взлетной полосы».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микроклимат отдельных территорий в большей части формируется и зависит от характера подстилающей поверхности. Изучив особенности микроклимата двух территорий естественного ландшафта, расположенных в подзоне сереной тайги Западной Сибири, мы определили, как проявляют себя основные микроклиматические параметры на участках с различной подстилающей поверхностью. Основные выводы по работе:

1. Изучение микроклиматических особенностей основных элементов мезорельефа песчаного раздува показало, что относительная влажность воздуха имеет определяющее значение для растительности в условиях раздуваемых песков на подветренных элементах мезорельефа, принимает максимальные значения и формируется независимо от скорости ветра.
2. Наиболее благоприятное сочетание микроклиматических параметров среды (высокая температура воздуха, минимальные значения скорости ветра, максимальная влажность) наблюдается на техногенно нарушенном участке («взлетная полоса»), поросшем лиственничным молодняком.
3. Микроклимат естественных ландшафтов таежной зоны изучен недостаточно. Микроклимат приземных слоев, определяется свойствами подстилающей поверхности.
4. В формировании песчаного рельефа существенную роль играют ветры северного, северо-восточного и западного направлений с максимальными скоростями 16 м/с.
5. Выбранный нами прибор, «Метеоскоп-М», который ранее не применялся для измерения микроклимата естественных ландшафтов полностью соответствует всем требованиям методики, но полученных измерений недостаточно для достоверного определения микроклиматических особенностей и для получения объективных результатов об изучаемой территории.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Konstantinov P., Varentsov M., Esau I., A high density urban temperature network deployed in several cities of Eurasian Arctic // *Environmental Research Letters*, N 7, 13, 2918.
2. Konstantinov P., Grishchenko M., Varentsov M., Mapping urban heat islands of arctic cities using combined data on field measurements and satellite images based on the example of the city of Apatity (Murmansk Oblast) *Izv. Atmos. Ocean Phy.* 2015 51 992–8.
3. Muller C., Chapman L., Grimmond C., Young D., Cai X., Sensors and the city: a review of urban meteorological networks *Int. J. Climatol.* 2013,33 1585–600.
4. Schwarz N., Schlink U., Franck U., Großmann K., Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators—an application for the city of Leipzig (Germany) *Ecol. Indic.* 2012, 18 693–704.
5. Varentsov M., Konstantinov P., Samsonov T., and Repina I., Investigation of the urban heat island phenomenon during polar night based on experimental measurements and remote sensing of Norilsk city (in Russian) *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 2014,11 329–37.
6. Алябышева Е.А., Анализ параметров микроклимата в различных функциональных зонах г. Йошкар-Олы// *Современные проблемы медицины и естественных наук*. Выпуск 8,2019, С. 264-264.
7. Архив погоды г. Надым: [сайт] URL: [https://rp5.ru/Погода\\_в\\_Надыме\\_\(аэропорт\)](https://rp5.ru/Погода_в_Надыме_(аэропорт)) (Дата обращения:17.03.2020).
8. Антюфеев В.В., Казимирова Р.Н., Евтушенко А.П. Агроклиматические, микроклиматические и почвенные условия в приморской полосе Южного берега Крыма. Теоретические основы и практические рекомендации для рационального размещения растений при реконструкции насаждений. – Ялта, 2014. – 88 с.
9. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. 2004. Омск: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004, 303 с.

10. Баянов И.М., Хамидуллин И.Р. О возможности управления микроклиматом // Управление большими системами. Выпуск 19. М.: ИПУ РАН. 2007. С. 218-237.
11. Белолобцев А.И., Джандаги Н., Удовиченко С.Н. Микроклиматические различия характеристик снежного покрова в условиях сложного рельефа // Известия ТСХА. Выпуск 4. 2011. С.13-23.
12. Власенко М. В., Вдовенко А. В., В. В. Лепеско. Роль насаждений лоха в изменении микроклимата и повышении экологической комфортности пастбищ Волго-Ахтубинской поймы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2015. - № 2 (38). - С. 90-95.
13. Воскресенская О.Л. Влияние ультрафиолетовой радиации и параметров микроклимата на содержание пигментов в листьях березы повислой, произрастающей в условиях города / О.Л. Воскресенская, В.С. Воскресенский, Е.В. Сарбаева, О.А. Ягдарова // Вестник Удмуртского университета. Серия биология. Науки о земле. – 2014. – Вып. 3. – С. 39-45
14. Гвоздецкий Н.А. Физико-географическое районирование Тюменской области. М.: Изд.-во Московского университета, 1973. 244 с.
15. Гольцберг И.А. Использование морфометрических показателей рельефа для характеристики микроклимата. В: Микроклимат СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 285 с.
16. Губернский Ю.Д., Корневская Е.И. Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий. М., Медицина, 1978, 192 с.
17. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышев Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Я.К., Школьный В.П. Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.
18. Дылис Н.В. Программа и методика биогеоценологических исследований // - М.: Наука, 1974. М.: Наука, 1974. 404 с.
19. Зыкина В.С., Зыкин В.С., Вольвах А.О., Овчинников И.Ю., Сизов О.С., Соромотин А.В., Строение, криогенные образования и условия

- формирования верхнечетвертичных отложений Надымского Приобья //Журнал «Криосфера Земли», 2017, т. XXI, № 6, С. 14–25.
20. Измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп - М». [Электронный ресурс] – <http://www.gidrometpribors.ru/tech/meteoskop-m-re-mp.pdf> [дата обращения 16.05.2020].
  21. Инструкция по эксплуатации измерителя влажности почвы TR 46908. [Электронный ресурс] - <http://agria-group.ru/wp-content/uploads/2016/10/Руководство-влажомер-почвы-TR-46908.pdf> [дата обращения 29.04.2020].
  22. Исаков С.В., Шкляев В.А. Оценка поступления солнечной радиации на естественные поверхности с применением геоинформационных систем // Географический вестник 2012, 1(20). С 72-80.
  23. Измеров В.Ф. Руководство по гигиене труда. М, Медицина, 1987, 368 с.
  24. Киреев И.М., Коваль З.М. Экспресс-метод и средства определения влажности почвы// «Информационные технологии и приборы в АПК» «АГРОИНФО-2015»: сб. науч. докл. VI Международной научно-практической конференции «АГРОИНФО 2015», г. Новосибирск. В 2 ч. Ч.1. – Новосибирск: ГНУ СибФТИ аграрных проблем, 2015. – С. 217-224.
  25. Коронатова Н.Г. Особенности и условия восстановления почвенно-растительного покрова на карьерах Западной Сибири // Вестник Томского гос. ун-та. Приложение №7. Томск, 2003. С. 135-141.
  26. Лакин Г.Ф. Биометрия. Учебное пособие для биол. спец. вузов, 4-е изд., перераб. И доп.-М.: Высшая школа, 1990.-352 с
  27. Ландсберг Г.Е. Климат города. Л.: Гидрометеиздат, 1983, 248 с.
  28. Лесная энциклопедия /Лиственничные леса / М.: Сов. энциклопедия, 1986. Т. 2. 631 с.
  29. Лоботросова С.А., Соромотин А.В., Сизов О.С., Сафонов Ю.С. Растительные сообщества эоловых форм рельефа северной тайги Западной Сибири и рекомендации к рекультивации оголенных песков //Человек и север: Антропология, археология, экология: Материалы всероссийской

научной конференции, г. Тюмень, 2-6 апреля 2018 г. Тюмень: ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, 2018. Вып. 4. С. 532-533 (а).

30. Лоботросова С.А., Сафонов Ю.С., Соромотин А.В., Сизов О.С., Роль мезорельефа в зарастании естественных песчаных дюн в подзоне северной тайги Западной Сибири//Актуальные вопросы биогеографии: Материалы Международной конференции, г. Санкт- Петербург, 9-12 октября 2018 г. Санкт-Петербургский государственный университет. С. 242-244 (б).
31. Матвеев, Л. Т. Влияние большого города на метеорологический режим / Л. Т. Матвеев // Изв. РАН. Сер. геогр. 2007. № 4. С. 97–102.
32. Медведев В.И. Физиологические механизмы оптимизации деятельности. Л., Наука, 1985, 136 с.
33. Несмелова Е.И., Филлипова М.Г., Микроклиматология, МГУ, 2006 г. 186 с.
34. Пигольцина Г.Б., Зиновьева Н.А. Микроклиматическое районирование территории проведения зимних олимпийских игр "Сочи-2014"//Общество. Среда. Развитие. 2010. № 1 (14). С. 165-170.
35. Пирометр с индикацией точки росы модели DT-8663. [Электронный ресурс] – <http://www.vseinstrumenti.ru/instruction/sem-dt-8663-481820-747537.pdf> [дата обращения 29.04.2020]
36. Романова Е.Н., Мосолова Г.И., Берсенева И.А. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства. Л.: ГИМИЗ, 1983 г. 245 с.
37. Рубинштейн, К. Г. Оценка изменения температуры воздуха и количества осадков в крупных городах (на примере Москвы и Нью-Йорка) / К. Г. Рубинштейн, А. С. Гинзбург // Метеорология и гидрология. 2003. № 2. С. 29–38.
38. Сакиев К.З., Мухаметжанова З.Т., Ибраева Л.К., Шадетова А.Ж., Алтаева Б.Ж. Оценка метеорологических условий города сарань // Медицина и экология, 2015, 3. – С. 48-50.
39. Сапожникова С.А. Микроклимат и местный климат // Л.: Гидрометеоиздат, 1950 г. 241 с.

40. Седых В.Н. Раздувы – пустыни севера//Журнал «Интерэкспо Гео-Сибирь». Общие и комплексные проблемы естественных и точных наук. Изд-во ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий». № 3. Том 3. 2016. С. 110-115.
41. Семенов Е.К., Соколихина Н.Н., Тудрий К.О., Щенин М.В. Синоптические механизмы зимнего потепления в Арктике // Метеорология и гидрология. 2015. № 9. С. 20–30.
42. Семакина А.В., Вахрушев В.С., Микроклимат города Ижевска//Экология городской среды: история, современность, и перспективы: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, г. Астрахань, 25-26 октября 2018 г. ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный университет». С. 84-87.
43. Сизов О.С., Лоботросова С.А. Особенности восстановления растительности в пределах участков развеваемых песков северотаежной подзоны Западной Сибири // Криосфера Земли. 2016. Т. 20. № 3. С. 3-13.
44. Синицина Н.И., Гольцберг И.А., Струнников Э.А. Агроклиматология // Ленинград. Гидрометеиздат, 1973. – 344 с.
45. Соломатов А.С. Влияние потепления климата на изменение температурного режима морей арктического региона // Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата: сб. тезисов Всероссийской конференции с международным участием / сост. С.В. Рябченко; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: ИД САФУ, 2014, С. 19.
46. Червяцова О.Я., Исследования микроклимата Игнatieвской пещеры//Спелеология и спелестология: ФБУ «Заповедник «Шульган-Таш», 2011 г. Набережночелнинский государственный педагогический университет. С. 39-46.
47. Щербань М.И. Микроклиматология. Вища шк. Головное изд-во, 1985.224 с.
48. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1

Координаты измеряемых точек на полигонах естественного песчаного раздува в  
Надымском районе ЯНАО с 16 по 22 июля 2019 года

Участок	-	1 точка	2 точка	3 точка	4 точка	5 точка
Полигон №1	N	65°21'18.0"	65°21'17.2"	65°21'17.5"	65°21'18.0"	65°21'17.6"
	E	72°57'59.4"	72°57'57.8"	72°57'57.1"	72°57'57.6"	72°57'52.8"
Полигон №2	N	65°21'18.2"	65°21'18.4"	65°21'18.8"	65°21'18.5"	65°21'18.4"
	E	72°57'59.6"	72°57'58.9"	72°57'59.3"	72°58'00.0"	72°57'59.5"
Полигон №3	N	65°21'17.8"	65°21'17.7"	65°21'18.2"	65°21'18.3"	65°21'18.0"
	E	72°58'00.7"	72°58'01.6"	72°58'01.9"	72°58'01.6"	72°58'01.5"

Таблица 2

Координаты крайних измеряемых точек на трех участках в естественном  
лиственничном редколесье в Надымском районе ЯНАО 15 августа 2019 года

Участок	-	1 точка измерения	8 точка измерения
Зона вырубки	N	65°42'06.0"	65°42'14.0"
	E	71°46'38.4"	71°46'54.1"
Взлетная полоса	N	65°42'05.2"	65°42'13.1"
	E	71°46'41.6"	71°46'58.4"
Контрольная зона	N	65°42'03.8"	65°42'13.0"
	E	71°46'46.7"	71°47'01.2"

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 1

Микроклиматические параметры, измеренные с помощью «Метеоскопа-М» на вершине песчаной дюны (полигон №1) на территории Надымского района ЯНАО с 16 по 22 июля 2019 года

Параметр		Температура, °С				Влажность, %				Скорость ветра, м/с			
Дата/Время		Высота h, см				Высота h, см				Высота h, см			
		0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
16.07.2019	21:00	26,9	26,8	26,8	26,8	55,4	55,7	55,8	55,7	0,4	0,4	0,5	0,4
17.07.2019	0:00	22,6	22,6	22,6	22,7	71,6	71,5	72,1	71,7	0,7	0,6	0,6	0,6
	3:00	21,1	20,9	20,7	20,7	75,7	77,7	78,0	78,1	1,4	1,6	2,0	2,4
	6:00	24,0	23,9	24,1	23,9	59,8	59,3	58,1	57,9	1,4	1,3	1,6	3,0
	9:00	30,5	29,9	29,7	29,5	38,5	38,4	38,1	38,0	3,0	3,9	3,7	4,6
	12:00	32,7	32,2	31,9	31,5	30,6	30,9	29,9	29,3	5,6	5,2	4,4	7,0
	15:00	33,7	33,1	32,9	32,7	27,7	27,6	27,3	27,8	3,5	5,3	5,9	9,0
	18:00	31,8	31,8	31,7	31,7	33,7	34,3	34,4	34,4	4,1	4,3	4,2	5,0
	21:00	26,7	26,5	26,3	26,3	54,9	49,5	51,3	55,1	0,5	0,6	0,6	0,6
	23:00	24,1	23,9	23,9	23,8	63,9	64,0	63,9	63,8	0,3	0,3	0,4	0,7
18.07.2019	2:00	22,4	22,5	22,6	22,4	68,0	67,9	69,1	70,0	0,8	0,7	0,5	0,7
	5:00	23,3	23,4	23,3	23,1	71,4	70,8	70,9	71,0	0,3	0,3	0,3	0,5
	8:00	31,6	31,4	30,9	31,3	39,9	40,0	39,3	39,6	0,2	0,3	0,6	0,3
	14:00	29,9	29,5	29,4	29,2	44,5	44,0	44,4	44,6	2,9	3,0	3,4	4,4
	20:00	26,5	26,4	26,1	26,0	61,6	61,5	62,1	62,3	0,6	0,6	1,0	1,3
19.07.2019	2:00	20,2	20,3	20,4	20,4	79,9	79,4	79,6	79,6	0,3	0,3	0,3	0,4
	8:00	28,8	28,9	29,4	29,5	54,5	54,1	52,8	50,5	1,1	1,2	1,1	0,7
	14:00	31,8	31,9	32,0	31,8	36,9	36,7	36,6	37,2	4,3	3,9	4,5	4,7
	20:00	26,3	26,2	26,1	26,2	65,8	66,0	66,3	65,8	0,6	0,6	0,5	0,3
20.07.2019	2:00	20,3	20,2	20,0	19,9	77,0	77,4	77,7	77,7	1,5	1,8	1,6	1,8
	8:00	27,2	27,2	27,3	27,0	44,7	45,0	43,9	43,2	1,9	1,5	2,1	2,2
	14:00	31,8	30,7	30,7	30,2	32,2	33,4	33,3	34,1	4,3	3,5	4,2	3,7
	20:00	27,1	26,9	26,8	26,6	50,0	49,3	49,2	49,6	2,1	1,7	1,6	2,4
21.07.2019	2:00	20,3	20,3	20,4	20,3	84,2	84,9	84,5	85,2	0,4	0,3	0,3	0,3
	8:00	29,2	29,5	28,2	27,8	49,5	48,1	48,0	48,4	0,4	0,4	1,9	2,5
	20:00	21,9	22,0	22,0	21,6	78,9	78,9	78,7	79,3	1,0	0,7	1,1	1,9
22.07.2019	2:00	19,3	19,2	19,2	19,1	91,3	91,4	92,7	92,7	1,6	1,7	1,9	1,6
	8:00	21,6	21,9	21,5	21,6	69,5	69,7	67,9	67,8	0,9	0,6	1,2	1,9
	14:00	26,2	25,9	26,3	25,9	55,7	55,7	55,3	53,9	2,0	2,0	1,7	2,0

Микроклиматические параметры, измеренные с помощью «Метеоскопа-М» на наветренном участке песчаной дюны (полигон №2) на территории Надымского района ЯНАО с 16 по 22 июля 2019 года

Параметр		Температура, °С				Влажность, %				Скорость ветра, м/с			
Дата/Время		Высота h, см				Высота h, см				Высота h, см			
		0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
16.07.2019	21:00	26,1	26,1	26,2	26,1	59,1	58,9	57,8	57,0	0,3	0,3	0,2	0,5
17.07.2019	0:00	22,3	22,3	22,4	22,3	73,1	73,1	73,8	73,8	0,8	1,5	1,7	1,9
	3:00	20,5	20,6	20,6	20,6	79,9	79,7	80,0	80,5	1,6	1,7	2,4	2,4
	6:00	23,9	23,8	23,5	23,7	57,9	57,9	57,1	56,5	1,9	2,1	2,9	3,2
	9:00	30,1	29,5	29,6	30,0	36,9	36,9	35,4	35,6	4,2	5,3	4,8	5,7
	12:00	31,6	31,7	31,1	31,0	30,8	31,1	30,8	30,8	6,7	5,7	6,2	7,1
	15:00	33,4	33,0	32,6	32,7	28,5	29,2	29,1	29,1	6,3	5,4	6,3	7,7
	18:00	31,1	30,9	30,7	30,7	36,4	36,7	36,8	36,8	5,0	4,9	5,5	5,4
	21:00	25,7	25,6	25,7	25,7	58,4	58,4	58,5	58,3	0,5	0,6	0,7	0,8
	23:00	23,2	23,2	23,5	23,4	68,0	67,8	67,7	67,7	0,6	0,8	0,6	1,0
18.07.2019	2:00	22,5	22,3	22,2	22,0	74,1	73,8	73,6	73,4	0,2	0,3	0,5	0,7
	5:00	23,5	23,6	23,6	23,6	68,4	68,2	67,8	67,4	0,4	0,3	0,5	0,4
	8:00	28,5	28,2	28,1	28,3	45,8	45,9	45,9	45,6	0,4	0,3	0,4	0,3
	14:00	28,5	28,2	29,9	29,9	43,2	42,4	42,5	42,7	2,9	2,2	3,6	3,8
	20:00	25,6	25,5	25,6	25,5	65,3	65,3	65,3	65,6	0,9	1,1	1,2	1,5
19.07.2019	2:00	21,4	21,5	21,5	21,5	79,5	78,8	78,1	77,8	0,1	0,2	0,1	0,2
	8:00	32,2	31,6	32,8	33,0	42,3	41,9	41,8	42,1	1,5	1,2	1,4	1,2
	14:00	30,3	30,2	30,1	29,9	42,5	42,8	42,9	42,8	1,5	1,5	2,1	2,7
	20:00	25,0	25,0	25,0	24,7	72,1	72,8	73,2	72,9	1,1	1,2	0,9	1,2
20.07.2019	2:00	19,3	19,6	19,4	19,4	79,5	80,0	79,8	80,0	1,2	1,7	1,7	1,9
	8:00	26,1	26,3	26,7	26,9	42,8	43,4	42,5	42,8	3,0	2,5	2,5	3,1
	14:00	30,5	30,8	29,8	29,4	34,8	35,5	35,3	34,3	3,3	3,1	3,6	3,7
	20:00	25,9	26,2	25,9	25,8	53,2	53,2	53,3	53,7	1,8	1,2	1,8	1,9
21.07.2019	2:00	19,8	19,7	19,8	19,8	87,8	87,9	86,4	87,6	1,1	0,9	0,6	1,4
	8:00	30,5	30,0	29,8	29,5	42,1	41,6	41,6	41,5	2,3	1,7	1,5	2,2
	20:00	22,4	22,2	22,2	21,7	77,6	77,6	77,2	77,9	0,3	0,4	0,4	1,3
22.07.2019	2:00	19,2	19,2	19,2	19,1	93,1	92,6	92,4	92,2	1,2	1,8	1,9	2,5
	8:00	22,5	22,0	22,5	21,8	68,2	67,0	66,8	66,9	0,9	0,9	1,1	2,0
	14:00	26,9	27,3	27,0	26,2	52,7	51,5	46,4	49,9	2,2	1,5	2,2	2,0

Микроклиматические параметры, измеренные с помощью «Метеоскопа-М» на подветренном участке песчаной дюны (полигон №3) на территории Надымского района ЯНАО с 16 по 22 июля 2019 года

Параметр		Температура, °С				Влажность, %				Скорость ветра, м/с			
Дата/Время		Высота h, см				Высота h, см				Высота h, см			
		0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
16.07.2019	21:00	24,9	24,7	24,8	24,8	65,0	65,1	64,6	64,4	0,1	0,2	0,2	0,3
17.07.2019	0:00	22,2	22,2	22,2	22,2	74,4	74,4	74,0	73,8	0,7	0,8	1,0	1,1
	3:00	21,2	21,1	21,1	21,2	78,2	77,9	77,7	78,0	1,2	1,4	1,6	1,7
	6:00	24,9	24,9	24,2	24,2	56,3	56,0	56,4	56,8	1,5	2,3	2,7	2,6
	9:00	30,9	30,3	30,1	30,6	34,8	34,6	33,4	33,0	3,5	4,6	4,2	3,3
	12:00	33,1	32,5	32,3	32,6	28,7	28,6	28,2	27,7	4,2	4,7	4,5	5,0
	15:00	33,6	33,4	33,3	33,2	28,2	28,4	27,8	28,3	3,9	3,7	4,5	4,4
	18:00	30,0	29,9	30,0	30,0	39,0	39,2	39,2	39,2	3,5	3,5	3,1	3,7
	23:00	23,2	23,2	23,3	23,5	67,8	67,7	67,3	67,0	0,4	0,3	0,4	0,3
18.07.2019	2:00	22,9	22,7	22,8	22,8	70,7	70,4	69,7	69,4	0,2	0,3	0,3	0,3
	5:00	24,1	23,8	23,7	23,4	69,5	69,3	68,8	68,5	0,4	0,5	0,7	0,8
	8:00	29,2	27,0	28,9	30,0	44,8	44,2	43,7	43,3	0,3	0,5	0,4	0,4
	14:00	31,9	31,1	31,0	30,9	38,8	38,9	37,0	36,4	2,6	3,2	2,6	3,5
	20:00	25,7	25,6	25,6	25,5	66,0	65,8	66,0	66,0	0,4	0,6	0,6	0,7
19.07.2019	2:00	21,1	21,0	21,0	21,0	80,2	80,1	79,7	80,0	0,2	0,2	0,2	0,5
	8:00	32,3	34,8	34,0	34,5	35,9	37,3	36,7	36,7	0,6	0,6	0,9	0,7
	14:00	29,2	29,2	29,1	29,0	46,1	45,9	46,1	46,2	1,0	1,0	1,2	1,7
	20:00	24,6	24,8	24,8	24,8	73,6	73,0	72,7	72,5	0,3	0,2	0,2	0,2
20.07.2019	2:00	19,3	19,2	19,2	19,2	81,5	81,1	81,1	81,1	0,3	0,6	0,6	0,7
	8:00	29,2	30,0	29,8	30,3	36,9	37,0	35,5	35,0	0,9	1,1	1,0	0,7
	14:00	32,7	32,5	31,9	31,7	32,3	32,2	31,7	31,2	0,9	1,0	1,5	2,0
	20:00	25,2	25,3	25,2	25,1	72,9	73,2	72,2	72,4	0,3	0,2	0,6	0,7
21.07.2019	2:00	19,7	19,8	19,7	19,7	89,6	89,6	89,4	89,4	0,5	0,3	0,6	1,1
	8:00	32,3	30,9	31,6	30,5	40,2	40,8	39,6	40,3	1,0	1,5	0,7	3,6
	20:00	21,1	21,1	21,1	21,0	85,7	84,1	84,8	84,6	0,4	0,5	0,5	0,6
22.07.2019	2:00	19,2	19,2	19,1	19,1	90,8	90,4	90,3	90,4	1,2	1,3	1,6	1,8
	8:00	22,6	22,3	22,1	21,8	69,2	68,1	66,9	67,3	0,9	1,3	1,7	1,6
	14:00	26,9	26,0	26,6	25,9	59,2	59,3	58,3	58,1	0,7	1,2	1,1	1,4

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица 1

Микроклиматические параметры, полученные с помощью «Термовлагомера почвы TR – 46908» и «Инфракрасного многофункционального пирометра-термогигрометра СЕМ DT-8663» на подветренной стороне песчаной дюны (полигон №3) в период с 16 по 22 июля 2019 года

Параметр		«Термовлагомер почвы TR – 46908»	«Инфракрасный многофункциональный пирометр-термогигрометр СЕМ DT-8663»			
		°С	Точка росы, °С	Температура поверхности и земли, °С	Температура атмосферы, °С	Относительная влажность воздуха, %
16.07.2019	21:00	23,22	19,16	19,98	27,34	69,32
17.07.2019	0:00	21,56	18,6	18,2	24,74	69,74
	3:00	20,26	18,92	17,34	23,68	75,06
	6:00	22,32	17,84	21,28	29,74	49,34
	9:00	29,9	15,64	32,1	34,8	32,44
	12:00	34,68	14,32	36,92	36,96	26,44
	15:00	34,14	13,04	35,14	36,76	24,76
	18:00	29,56	15,52	27,62	31,14	39,24
	21:00	24,52	18,86	20,22	26,88	62,14
17.07.2019	23:00	23,18	18,54	22,24	25,08	67,82
18.07.2019	2:00	22	18,72	20,74	25,08	68,88
	5:00	22,38	20,12	23	26,72	68
	8:00	26,82	17,84	28,96	33,24	40,16
	14:00	30,64	17,66	32,28	35,78	33,94
	20:00	24,5	20,44	23,48	27,02	68
19.07.2019	2:00	20,72	19,04	18,34	23,16	77,88
	8:00	30,04	21,14	33,72	41,78	31,52
	14:00	28,96	17,76	27,48	30,54	46,4
	20:00	24,42	21,02	22,42	26,44	72,62
20.07.2019	2:00	20,44	16,7	17,52	20,88	77,78
	8:00	28,3	16,24	33,98	34,02	34,8

Параметр		«Термовлагомер почвы TR – 46908»	«Инфракрасный многофункциональный пирометр-термогигрометр СЕМ DT-8663»			
		°C	Точка росы, °C	Температура поверхности земли, °C	Температура атмосферы, °C	Относительная влажность воздуха, %
	14:00	33,48	14,96	34,18	37,58	26,66
	20:00	25,54	17,44	21,18	26,96	56,5
21.07.2019	2:00	20,42	18,42	18,1	21,5	83,58
	8:00	31,58	18,42	31,84	38,46	32
	20:00	21,16	20,16	18,82	27,48	64,76
22.07.2019	2:00	19,46	18,04	20,36	20,96	83,7
	8:00	22,64	18,96	23,42	26	66,26
	14:00	27,3	20,94	25,16	32,08	52,18