

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  
Доктор биологических наук  
\_\_\_\_\_ А.В. Синдирева  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
магистерская диссертация

ДЫХАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ПЕСЧАНЫХ СУБСТРАТОВ В  
СЕВЕРНОЙ ТАЙГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

05.04.06 Экология и природопользование  
Профиль «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнил работу  
студент 2 курса  
очной формы обучения

Семенченко  
Анастасия  
Андреевна

Научный руководитель  
К.г.н., вед. н. сотрудник ИКЗ  
ТюмНЦ СО РАН



Якимов  
Артем  
Сергеевич

Рецензент  
К.б. н, главный специалист по экологии  
ООО "ПурГеоКом"



Лоботросова  
Светлана  
Айратовна

г. Тюмень  
2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. ПОЧВЕННОЕ ДЫХАНИЕ: ФАКТОРЫ, ОСОБЕННОСТИ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЫХАТЕЛЬНОЙ И ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ .....	7
1.1. ПОНЯТИЕ ПОЧВЕННОГО ДЫХАНИЯ .....	7
1.2. ФАКТОРЫ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЧВЕННОГО ДЫХАНИЯ .....	9
1.3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЫХАТЕЛЬНОЙ И ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ .....	14
ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМЫХ РАЙОНОВ .....	22
2.1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАДЫМСКОГО РАЙОНА .....	23
2.1.1. Климат Надымского района .....	23
2.1.2. Гидрология Надымского района .....	24
2.1.3. Почвы Надымского района .....	25
2.1.4. Растительный и животный мир Надымского района .....	27
2.2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЮМЕНСКОГО РАЙОНА .....	29
2.2.1. Климат Тюменского района .....	29
2.2.2. Гидрология Тюменского района .....	30
2.2.3. Почвы Тюменского района .....	31
2.2.4. Растительный и животный мир Тюменского района .....	32
ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	34
3.1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЫХАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПЕСЧАНЫХ СУБСТРАТОВ .....	34
3.2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПЕСЧАНЫХ СУБСТРАТОВ .....	40
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЧВЕННОГО ДЫХАНИЯ И ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ .....	49

4.1. ОЦЕНКА ДЫХАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПЕСЧАНЫХ СУБСТРАТОВ НАДЫМСКОГО РАЙОНА.....	49
4.2. ОЦЕНКА ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПЕСЧАНЫХ СУБСТРАТОВ В НАДЫМСКОМ И ТЮМЕНСКОМ РАЙОНАХ.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	64
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ. МАТЕРИАЛЫ ОПЫТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СУБСТРАТОВ .....	74

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из самых важных и острообсуждаемых проблем в области геоэкологии является проблема глобального изменения климата. Главной её причиной стало значительное увеличение выбросов парниковых газов, как из-за естественных процессов, так и вследствие антропогенной деятельности. Одним из главных составляющих парниковых газов является углекислый газ, 90% которого имеет почвенное происхождение. Эмиссия углекислого газа, то есть дыхательная активность почв, осуществляется главным образом за счет разложения органических веществ в почве. Одним из основных источников поступления органических веществ в почву является растительный покров. В последнее десятилетие происходит интенсивное освоение и использование природных комплексов северной тайги Западной Сибири, что приводит к уничтожению растительного покрова и как следствие, к нарушению процесса почвенного дыхания. Комплексный характер дыхания почвы, его зависимость от почвенных и погодных условий, видового состава растительного покрова, физиологического состояния растений и микробных сообществ, позволяет рассматривать его в качестве показателя функционального состояния экосистем [Симонов, 2012]. Определяющее влияние на продуцирование углекислого газа почвой оказывают биологические факторы, поэтому выделение  $\text{CO}_2$  из почвы характеризует интенсивность биологических процессов и степень антропогенной нарушенности экотопов. Определение интенсивности данного процесса является актуальным и имеет научный и практический интерес.

Объектом изучения в данной работе являются естественные песчаные субстраты Надымского и Тюменского районов. Предметом исследования является оценка интенсивности почвенного дыхания и ферментативной активности песчаных субстратов.

Цель исследования: оценить дыхательную и ферментативную активность песчаных субстратов в таежных лесах Надымского и Тюменского районов.

Для достижения поставленной цели в ходе выполнения исследования были поставлены следующие задачи:

1. Изучить понятие почвенного дыхания, факторы, оказывающие влияние на него и методики его определения;
2. Проанализировать физико-географическую характеристику районов исследования;
3. Оценить интенсивность почвенного дыхания песчаных субстратов в Надымском районе;
4. Оценить ферментативную активность песчаных субстратов на территории Надымского и Тюменского районов.

Защищаемые положения:

1. Формирование растительного покрова на песчаных субстратах, приводящее к накоплению органического вещества, стимулирует дыхательную активность почв и существенное увеличение пула микробного углерода.
2. Целлюлозолитическая активность песчаных субстратов связана с полной почвенной влагоемкостью почвы и обилием растительного покрова.

Научная новизна заключается в том, что исследование по оценке интенсивности дыхательной активности песчаных субстратов в районе города Надым проводится впервые. Так же впервые методом аппликаций оценена ферментативная активность песчаных субстратов Надымского и Тюменского районов.

Практическая значимость: полученные результаты исследования могут позволить понять особенности функционирования почвенных биоценозов изученных территорий и помогут в выборе технологических решений при разработке проектов рекультивации песчаных карьеров.

Область исследования: в соответствии с паспортом специальности ВАК 25.00.36 «Геоэкология» по области Науки о Земле исследование относится к пункту 1.6 «Глобальные и региональные экологические кризисы – комплексные

изменения окружающей среды, приводящие к резкому ухудшению условий жизни и хозяйственной деятельности. Геоэкологические последствия природных и техногенных катастроф».

Личный вклад автора: подготовка образцов и проведение полевого опыта по определению интенсивности разложения клетчатки методом аппликации на различных участках магистрального нефтепровода Усть-Балык – Альметьевск (Тюменский район) июнь-август 2020 года, обработка и описание результатов эксперимента. Обработка и описание результатов эксперимента по определению интенсивности разложения клетчатки методом аппликации на различных участках песчаного раздува в Надымском районе Ямало-Ненецкого автономного округа, проведенного сотрудниками НИИ экологии ТюмГУ в 2018 году.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, и приложения. Объем работы составляет 80 страниц. Библиографический список включает 69 источников, в том числе 15 публикаций на иностранных языках.

Для написания диссертации были использованы литературные источники, фондовые материалы НИИ экологии ТюмГУ, а также собственные полевые материалы, собранные в период прохождения производственной и преддипломной практик.

# ГЛАВА 1. ПОЧВЕННОЕ ДЫХАНИЕ: ФАКТОРЫ, ОСОБЕННОСТИ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЫХАТЕЛЬНОЙ И ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ

## 1.1. ПОНЯТИЕ ПОЧВЕННОГО ДЫХАНИЯ

Почвенное дыхание (дыхание почвы, почвенный газообмен) представляет собой один из основных процессов в глобальном цикле углерода планеты [Наумов, 2009, с. 14]. В качестве неотъемлемого компонента цикла углерода почвенный газообмен включает в себя суммарное количество углекислого газа, которое выделяется из почвы вследствие дыхания корней растений, почвенных микроорганизмов и микоризы [Borke, Xu, Davidson, p. 12]. Термин «дыхание почвы» является показателем почвенного газообмена. Им обозначают процесс воздухообмена между почвой и атмосферой, происходящий под влиянием изменений температуры почвы и атмосферного давления, суммарное выделение углекислого газа с поверхности (эмиссия), микробиологическую (биохимическую) активность почвы, скорость минерализации почвенного вещества [Пулы и потоки..., с. 315; Суховеева, Курганова, Лопес де Гереню, с. 153]. Дыхание почвы есть образование двуокиси углерода двумя основными составляющими: почвенными микроорганизмами и корнями растений [Иващенко, с. 25].

Исследования эмиссии газов из почв, а именно углекислого газа, актуальны в связи с проблемами глобального изменения климата и возрастания парникового эффекта [Смагин, с. 19]. Одним из основных составляющих всех парниковых газов является углекислый газ. Большая часть диоксида углерода имеет природное происхождение. Эмиссия углекислого газа, в первую очередь, складывается из разложения органических веществ в почве. Считается, что почти 90% углекислого газа атмосферы имеет почвенное происхождение, что говорит о том, главным источником  $\text{CO}_2$  планеты является её почвенный покров (Рисунок 1) [Оллсон, с. 43].

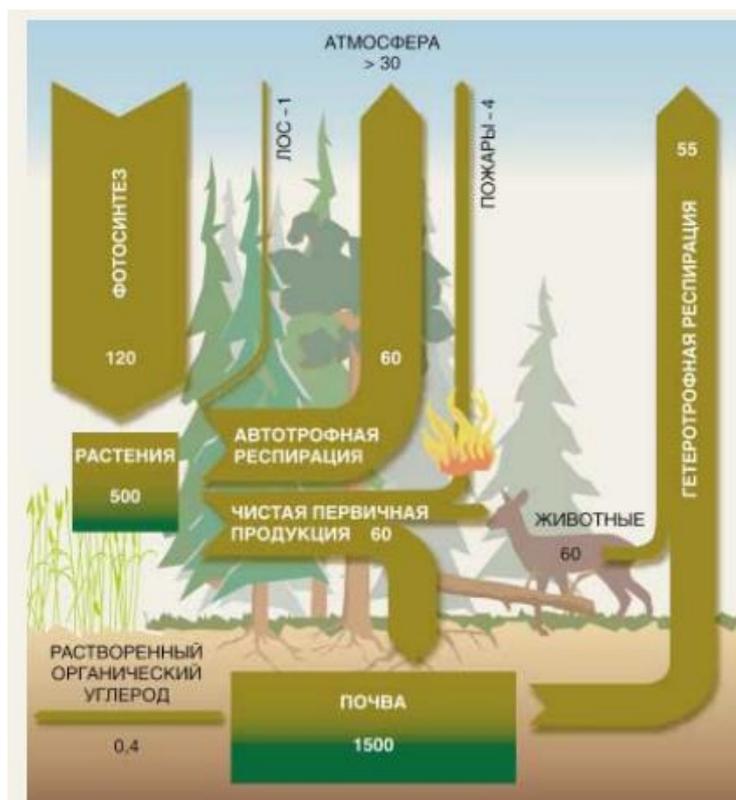


Рис. 1. Углеродный цикл наземной экосистемы [Оллсон, с. 43]

Согласно ранее проведенными исследованиями (Brookers, 1995; Doran, 2000), самыми показательными и экспрессными критериями функционирования почвенной биоты, а значит и экологического состояния почвы, выступают: микробная биомасса почвы ( $C_{\text{мик}}$ ), микробное (базальное) дыхание ( $V_{\text{basal}}$ ), микробный метаболический коэффициент (удельное дыхание микробной биомассы). Во многих странах данные микробиологические критерии используются как достоверные и информативные индикаторы «качества» почвы, так как они:

- Наиболее чутко реагируют на изменения характера использования земельных и почвенных ресурсов;
- Оказывают существенную роль в биогеоценотических функциях почвы (например, жилище и убежище почвенной биоты, источник элементов питания и т.д.);
- Информативны при объяснении экосистемных процессов;

- Являются экспрессными и легкоисследуемыми [Brookers, p. 269; Doran, Zeiss, p. 6].

Одними из главных критериев оценки дыхательной активности почв являются величина базального дыхания ( $V_{\text{basal}}$ ) и содержания углерода микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) [Вершинин, Петров, Юранец-Лужаева, с. 103].

Информативным и экспрессным показателем микробиологической (ферментативной) активности почв является дыхание микроорганизмов. Ранее было выявлено (Bowden, 1993), что вклад почвенной биоты по разным оценкам в её дыхание составляет по разным оценкам в среднем от 50 до 90% [Contributions of above ground litter..., p. 1404]. Дыхание микроорганизмов почвы оценивают скоростью образования ими  $\text{CO}_2$ . Некоторые исследования показывают (Alef, 1995), что дыхание небогатенной почвы (освобожденной от корней растений) происходит только за счет деятельности почвенных микроорганизмов, поэтому его называют «базальным» или микробным дыханием почвы [Alef, Nannipieri, p. 214-215]. Согласно Иващенко К., базальное дыхание – скорость продуцирования  $\text{CO}_2$  почвой в определенных гидротермических условиях (влажность, температура). Определение интенсивности и характера базального дыхания почвы до сих пор наиболее часто используется для оценки ее биологической активности, и как следствие, экологического состояния [Иващенко, с. 26].

В геоэкологии величину  $C_{\text{мик}}$  (содержание углерода микробной биомассы) широко используют для оценки состояния почв различных видов землепользования. Количество почвенных микроорганизмов определяется и зависит от её физических (механический состав, плотность почвы и др.) и химических характеристик (гидротермические условия почвы, концентрация элементов питания и содержания органического вещества). Изменение физико-химических свойств почвы может привести к нарушению функционирования почвенной биоты и как следствие, ее экофизиологического статуса [Brookers, p. 270].

## 1.2. ФАКТОРЫ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЧВЕННОГО ДЫХАНИЯ

Интенсивность почвенного дыхания зависит как от продуцирования  $\text{CO}_2$  почвой, на которое влияет множество факторов, так и от степени антропогенной нарушенности. Определяющее влияние на продуцирование углекислого газа почвой оказывают биологические факторы, поэтому выделение  $\text{CO}_2$  из почвы характеризует интенсивность биологических процессов и степень антропогенной нарушенности экотопов [Методические указания..., с. 21].

Биогеоцентрический (почвенно-экологический) подход отражает совокупные и интегральные возможности для процессов почвенного газообмена, так как именно данный подход рассматривает почву во взаимосвязи с иными компонентами природной среды (атмосферой, гидросферой и др.) [Наумов, 2009, с. 33]. Свойства почвы и факторы, оказывающие влияние на процесс почвенного дыхания, принято делить на 4 группы:

- биологические,
- биохимические,
- почвенно-физические;
- геологические.

Менее всего изученными на данный момент, с точки зрения влияния на почвенное дыхание, являются геологические и почвенно-физические факторы [Наумов, 2009, с. 34].

Почвенно-физические и геологические составляющие факторы газообмена в почве. Основные механизмы перемещения  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в почвенном профиле представлены конвективным и диффузионным переносом в жидкой и газовой фазах. Механизм молекулярной диффузии газов в почвах считается преобладающим. Тем не менее, имеются определенные факторы, труднообъяснимые с точки зрения данной теории [Наумов, 2009, с. 35]. Например, в статье Трофименко «Интенсивность дыхания почв...» (Трофименко, Борисов, 2015) было выявлено, что, «в черноземных почвах Приобья, обладающих высокой биологической активностью, наблюдается высокая концентрация кислорода в газовой фазе по всему профилю, что допускает

существование других процессов массообмена, отличных от обычной диффузии» [Трофименко, Борисов, с. 63].

Большое влияние на динамику и интенсивность газообмена в почвах могут оказывать процессы сорбции на твердых поверхностях и растворение газов [Остроумов, Буценко, с. 103]. Благодаря пористой структуре почвы обладают большой активной поверхностью. Газы сорбируются различными слоями почвы и подпочвы в различной степени. При повышении температуры воздуха поглощенные газы и пары веществ выделяются с поверхности твердой фазы. Увеличение влажности почвы ускоряет процессы десорбирования газов. Низкие значения дыхательного коэффициента (отношение количества выделившегося  $\text{CO}_2$  к количеству поглощенного  $\text{O}_2$ ), также могут быть связаны с физическими процессами, а не с метаболической активностью почвенной биоты [Абросимова, с. 88].

Химический состав осадочных пород не остается постоянным во времени. Значительное количество газообразных флюидов выделяется в результате метаморфизма – изменения в структуре и составе горных пород под действием физических и химических факторов [Наумов, 2009, с. 35]. Важнейшую регуляторную функцию в глобальном цикле углерода выполняют механизмы поступления  $\text{CO}_2$  из литосферы и глубоких недр с продуктами вулканических извержений.

Биологические факторы почвенного дыхания. В почве подземные органы растений, мелкие почвенные животные и микроорганизмы представляют биологический источник углекислого газа и являются потребителями кислорода. Довольно трудно экспериментально определить отдельно долю каждой функциональной группы биоценоза в общем потоке  $\text{CO}_2$  в атмосферу [Лукин, с. 74]. Продолжительное время исследования по изучению дыхательной активности почв проводились в агроценозах различных сельскохозяйственных культур. Вклад корней в общий процесс выделения углекислого газа из почвы оценивался по разности потоков  $\text{CO}_2$  с поверхности почвы в атмосферу в посевах и на паровых участках. По данным разных авторов, дыхание подземных органов

растений в агроценозах составляет 30-40 % от общего почвенного потока углекислого газа [Лукин, с. 75; Суховеева, с. 154, Южные черноземы..., с. 153].

Тип растительности и особенности структурообразования лесов оказывают большое влияние на количество и аккумуляцию углерода в почвах. В зависимости от типа растительности (например, тундровая, степная, болотная и т.д.) меняется роль не только физического воздействия корневой системы, но и разнообразие и качество корневых выделений, обусловленных видовыми особенностями фитоценозов [Стольникова, Ананьева, Чернова, с. 481].

Мелкие почвенные животные (например, клещи, пауки, личинки насекомых и т.д.) вносят существенный вклад в дыхательную активность почв за счет своей большой численности. Так, в исследовании Наумова «Дыхание почвы: составляющие...» (2009) и Бызовой «Роль беспозвоночных животных...» (1986) было выявлено, что, дыхание беспозвоночных в почвах пятнистой тундры составляет 4,5-19,0 мл  $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{ч}$ , а в лесных почвах 17-25 мл  $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{ч}$  [Бызова, с. 29; Наумов, 2009, с. 37]. Исследования по изучению роли влияния мелких животных на активность почвенного дыхания проводятся редко, что не позволяет полно и количественно оценить их роль в данном процессе. Обычно их дыхательная активность включается в общее гетеротрофное дыхание почвы без корней [Наумов, 2009, с. 43].

Состояние и численность почвенной биоты зависит от погодно-климатических и иных факторов, которые распределены на поверхности Земли неравномерно. Влияние внешних условий на дыхание почвы проявляется в характере сезонной динамики [Наумов, 1981, с. 1104].

Анализ динамики выделения  $\text{CO}_2$  и некоторых микробиологических характеристик почв подзоны южной тайги Западной Сибири (Гаджиев, 1982) показал, что «в течение вегетационного периода активность почвенной биоты увеличивалась с июня до середины августа и снижалась в сентябре-октябре. Потери углерода за теплый период в дерново-подзолистых почвах с различной степенью оподзоленности составляли в слое 0-20 см 284-404  $\text{CO}_2/\text{га}$ , а в дерново-

глеевой – 164 кг CO<sub>2</sub>/га, что дает величину интенсивности выделения CO<sub>2</sub> менее 0,5 кг CO<sub>2</sub>/га/ч» [Гаджиев, с. 136; Наумов, 2009, с. 194].

В лесных экосистемах на поток CO<sub>2</sub> из почвы может приходиться 40-80 % от суммарного количества высвобожденного CO<sub>2</sub> [Soil respiration..., p. 613]. В целом, запасы почвенного органического углерода в бореальных лесах значительно выше, чем в умеренных и тропических. Согласно ранее проведенным исследованиям (Lal, p. 2005), леса имеют разную реакцию на глобальные изменения климата и антропогенные воздействия [Lal, p. 1625].

Наиболее часто сезонный ход эмиссии углекислого газа с поверхности почвы в атмосферу достигает максимума в середине лета (вегетационного сезона), либо в конце периода вегетации, имея максимальную скорость выделения в засушливые периоды [Наумов, 2009, с. 86]. Выделение CO<sub>2</sub> приобретает неравномерный ход в условиях неустойчивого увлажнения почв, что проявляется в «пульсирующем» характере сезонной динамики, чередовании резких подъемов и спадов скорости процесса выделения углекислого газа из почвы [Наумов, 2009, с. 87].

Антропогенное воздействие оказывает значимое влияние на баланс потоков парниковых газов, особенно сильно проявляясь в условиях северной тайги [Влияние местных антропогенных..., с. 167]. В зависимости от характера своего воздействия, различные виды антропогенной деятельности могут приводить как значительному увеличению эмиссии углекислого газа из почвы, так и к её подавлению. В среднем, совокупное действие антропогенных факторов усиливает местную почвенную эмиссию CO<sub>2</sub>. Влияние всех антропогенных факторов на дыхательную активность почв в криогенных условиях, проявляется в усилении почвенного дыхания в начале холодного периода года, когда антропогенная деятельность может увеличивать почвенную эмиссию на уровне мезоландшафта почти на 50% [Влияние местных антропогенных..., с. 180].

Таким образом, на топологическом уровне (в пределах одной фации) интенсивность дыхания почв определяется, в первую очередь, погодно-

климатическими условиями местности, а так же особенностями гидротермического режима каждого конкретного периода вегетации.

### 1.3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЫХАТЕЛЬНОЙ И ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ

Методы определения выделения углекислого газа из почвы или интенсивность дыхания почв (ИПД) можно разделить на прямые и косвенные [Евдокимова, Борзова, с. 156].

К прямым методам относится группа адсорбционных методов, которые могут давать как завышенные, так и заниженные результаты по сравнению с реальным потоком  $\text{CO}_2$  из почвы. Завышение возникает из-за быстрого поглощения  $\text{CO}_2$  щелочью и падения концентрации углекислоты внутри изолятора ниже атмосферного уровня. Занижение результатов при измерении дыхания почвы адсорбционным методом возникает при неправильно подобранной концентрации щелочи, времени экспозиции и соотношения между площадью сосуда-изолятора и поглотителя. При определении ИПД этим методом важно правильно подобрать скорость продувки изолятора, чтобы не создавать перепада давления между атмосферным давлением и давлением воздуха внутри изолятора [Евдокимова, Борзова, с. 157-158].

В данном исследовании измерения выделения  $\text{CO}_2$  проводились газоанализатором Li-Cor-820 (Рисунок 2). Эту модель отличает высокая  $\text{CO}_2$  – избирательность фильтрации ИК-излучения, позволяющая исключить влияние на полезный сигнал присутствия в газовой смеси водяных паров и других поглощающих в ИК-диапазоне газов [URL: <https://labinstruments.ru/equipment-gazoanalizatory>].



Рис 2. Газоанализатор Li-Cor-820 [URL: <https://www.licor.com/env/support/LI-820>]

Li-Cor-820 – это высокопроизводительный недисперсионный одноканальный инфракрасный газоанализатор. Данный газоанализатор предназначен для длительного мониторинга уровня содержания углекислого газа в атмосфере. Также он может применяться для изучения процессов фотосинтеза, почвенного газообмена, транспирации и респирации, контроля состояния атмосферы на производственных предприятиях в промышленности и сельском хозяйстве [URL: <https://www.licor.com/en/support/LI-820>].

Кроме прямых методов определения интенсивности дыхания почв, довольно широко используются расчетные способы. Аэродинамический метод, основанный на вычислении градиента концентрации  $\text{CO}_2$  в приземном слое воздуха и определении соответствующего коэффициента переноса, оказался очень перспективным при расчетах глобальных потоков  $\text{CO}_2$  из экосистемы в атмосферу [Вершинин, Петров, Юранец-Лужаева, с. 105]. Для лесных биогеоценозов, где турбулентный обмен не является основной движущей силой газообмена, предложен метод расчета дыхания почв на основе закона диффузии. Данные методы позволяют определить эмиссии  $\text{CO}_2$  из почвы, не нарушая растительного покрова и не учитывая дыхания наземных частей растений. Но необходимость определения дополнительных переменных – коэффициента диффузии в почве и коэффициента турбулентного обмена в атмосфере – резко

ограничивает точность и усложняет измерение интенсивности дыхания почв [Вершинин, Петров, Юранец-Лужаева, с. 106-107; Евдокимова, Борзова, с. 158].

Наиболее распространенными методами измерения почвенного дыхания являются камерные методы, при которых участок почвы накрывается камерой и исследуется динамика концентрации  $\text{CO}_2$  внутри нее. Камерные измерения газообмена обычно проводятся по двум схемам: закрытой и открытой [Методические указания..., с. 14]. При закрытой схеме не происходит обмена воздуха между камерой и атмосферой (Рисунок 3). При этом воздух обычно непрерывно прокачивается по замкнутому циклу через камеру и газоанализатор. Замкнутая схема является довольно надежной при проведении измерений почвенного дыхания. Однако ее использование для непрерывных измерений сопряжено с необходимостью регулярного проветривания камеры после каждого измерения, что затрудняет организацию непрерывных автоматических измерений в полевых условиях.

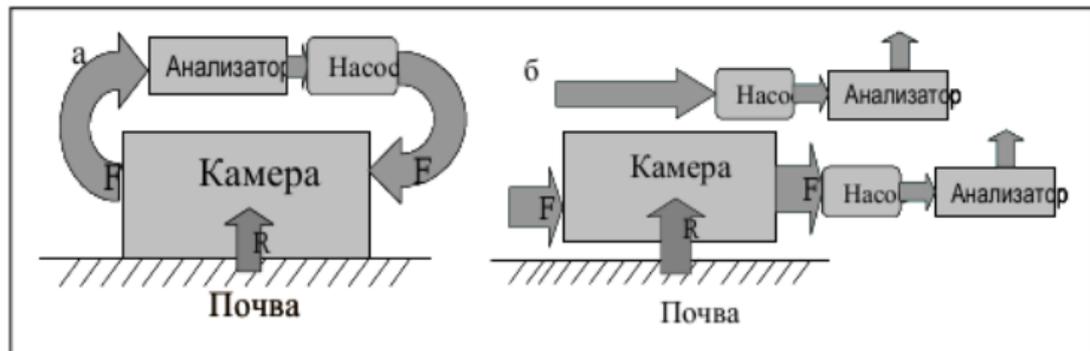


Рис. 3. Схема замкнутой (а) и открытой (б) схем измерения дыхания почвы (F – поток воздуха через камеру, R – эмиссия  $\text{CO}_2$  из почвы) [Методические указания..., с. 9]

При открытой схеме воздух непрерывно прокачивается через камеру, проходит через газоанализатор и выбрасывается в атмосферу. При этом дыхание рассчитывается по определенной заданной формуле. Открытая схема удобна тем, что легко позволяет проводить круглосуточные автоматические измерения без участия оператора. Одним из недостатков данной схемы является ошибка измерений, связанная с искусственным подсосом в камеру почвенного воздуха с высокой концентрацией  $\text{CO}_2$  [Методические указания..., с. 10].

Существуют исследования, в которых был проведен сравнительный анализ различных подходов по измерению почвенного дыхания (Bekky et al, 1997; Махныкина, 2016). В одном из них проверяли точность четырех методов:

- измерение потока  $\text{CO}_2$  с использованием инфракрасного газоанализатора (OF - open flow метод);
- метода закрытых камер (CC - closed chamber метод);
- метода закрытых камер динамического типа (DC - dynamic chamber метод);
- метода щелочного поглощения (AA - alkali absorption метод).

В исследованиях Bekky Y «Examination of four methods...» (1997) и Махныкиной А. «Динамика потоков концентрации  $\text{CO}_2$ ...» (2016) выявлено, что для получения максимально корректных значений потока  $\text{CO}_2$  из почвы необходимо поддерживать одинаковую концентрацию  $\text{CO}_2$  внутри и снаружи камеры. AA-метод, при котором на продолжительное время изолируется поверхность почвы, значительно уменьшает итоговые значения почвенного дыхания и не подходит для изучения почвенного дыхания в естественных условиях. Доказано, что OF-, CC-, DC-методы являются наиболее подходящими для измерения почвенного дыхания, поскольку в меньшей степени воздействуют на количественные значения потока  $\text{CO}_2$  из почвы [Махныкина, с. 351-353].

Определение содержания углерода микробной биомассы осуществляется методом измерения субстрат-индуцированного дыхания (СИД). Метод субстрат-индуцированного дыхания (СИД) в настоящее время является одним из стандартных средств определения микробной биомассы почвы – одной из ключевых почвенных характеристик. Впервые он был предложен в 1978 г. Его авторы, J.P.E Anderson и K.H. Domsch, показали, что максимальный прирост почвенного дыхания в течение первых часов после внесения в почву глюкозы (в насыщающей концентрации) находится в прямо пропорциональной зависимости от величины активной микробной биомассы [Суховеева, Курганова, Лопес де Гереню, с. 152].

Согласно Мирчинк Т. «Современные подходы к оценке...» (1985), метод субстрат-индуцированного дыхания основан на измерении первоначального максимального выделения  $\text{CO}_2$  из почвы, обогащенной глюкозой в интервале, не превышающем шести часов [Мирчинк, Паников, с. 198]. Существуют два способа внесения глюкозы: в виде порошка с наполнителем (как правило, тальком или 137 целлюлозой) и в виде водного раствора. В первом случае для достижения максимального эффекта необходимо тщательное перемешивание почвенного образца после добавления глюкозы. Во втором случае в перемешивании необходимости нет, и раствор может быть нанесён прямо на поверхность почвы. Таким образом, второй способ менее трудоёмок, но при этом содержит риск создания анаэробных условий в почве за счёт переувлажнения. Чтобы это не произошло, можно или минимизировать объём воды, который вносится в почву с раствором, или, наоборот, вносить заведомо избыточное количество воды (до 120% от водоудерживающей способности) и далее инкубировать почвенную суспензию в режиме постоянного взбалтывания. Среди достоинств СИД отмечается относительная простота, экспрессность, возможность оценок именно активной микробной биомассы и достаточно хорошую корреляцию с другими современными способами оценки биомассы: фумигацией-экстракцией, методами учёта АТФ и минерализации аргинина и прямой микроскопией [Lin, Brookes, p. 2013-2014; Sparling, West, p. 111-112].

Существует группа аппликационных методов исследования дыхания почвы, а именно её ферментативной активности. В почву с растительными остатками поступает значительное количество целлюлозы, и почвенные микроорганизмы расщепляют ее. Аппликационные методы относятся к группе косвенных методов оценки ферментативной активности почв [Агро- и биохимические методы..., с. 52]. Именно данные методы имеют огромное значение в экологических исследованиях состояния почвенного покрова и его биоты.

Одним из аппликационных методов исследования дыхания почв является определение интенсивности разложения целлюлозы. Согласно методике,

описанной в статье Басова Ю. «Изучение фитотоксичности ионов...» (2012), опыт проводится следующим образом: стерильную неотбеленную тонкую льняную ткань пришивают к полимерной пленке (ширина отрезка пленки 10 см). Длина зависит от исследуемого горизонта: для пахотного – 20-25 см. Пленку стерилизуют спиртом, а ткань проглаживают утюгом. К вертикальной стенке свежего почвенного разреза на глубину 25-30 см плотно прижимают полотно, придавливают почвой, разрез засыпают. Верхний край ткани должен быть погружен в почву на 3-5 см. Через 2-3 месяца полотно извлекают, отмывают от почвы и продуктов разложения, подсушивают и взвешивают. Для определения динамики процесса одновременно закапывают несколько полотен, которые извлекают последовательно через определенные интервалы времени. По убыли в весе судят об интенсивности процесса разрушения клетчатки. Начальный вес ткани узнают путем определения среднего веса 25 см ткани или начального веса ткани, закладываемой в почву. После завершения опыта пакет с тканью извлекают из почвы, осторожно очищают от проросших корешков. Ткань высушивается при 105°C и выдерживается 2 часа при комнатной температуре. После этого ткань взвешивается. Потеря в массе (в %) служит показателем микробиологической активности почвы. Срок проведения эксперимента может варьировать в зависимости от цели исследования. При изучении естественных экосистем образец ткани закладывается в сентябре-октябре и извлекается через год (два, три) [Басов, с. 60-62]. Д.Г. Звягинцевым (1981) предложена следующая шкала оценки биологической активности почв по интенсивности разрушения клетчатки (% разложившегося полотна за вегетационный сезон):

- очень слабая <10,
- слабая 10-30,
- средняя 30-50,
- сильная 50-80,
- очень сильная >80 [Звягинцев, с. 134].

Также существует метод определения протеолитической активности почвы с помощью фотопленки. Пленку нарезают кусочками по 13-14 см и помещают в почву, прижав эмульсией к гладкой поверхности среза. Длительность экспозиции зависит от влажности, температуры почвы, цели исследования. Извлечение фотопленки требует большой осторожности. После извлечения и высушивания подсчитывают число пятен разложения на желатине [Методические указания..., с. 18].

В научных исследованиях скорость разложения часто измеряют с помощью мешочков из нейлоновой сетки с отмершими частями растений. Мешочки взвешивают и закапывают в почву на длительный срок, затем их выкапывают и снова взвешивают. Потеря в массе показывает объем разложившегося вещества. Первое исследование подобного типа было проведено в 1990 году, результаты которого изложены в статье Майкла Райана «A comparison of methods for determining proximate carbon fractions of forest litter» [Ryan, p. 468-491]. Зеленый чай и чай ройбуш были проанализированы на углеродные фракции с использованием метода последовательной экстракции. Последовательной экстракцией были определены четыре фракции: неполярные экстрактивные вещества (NPE), растворимые в воде (WS), растворимые в кислоте (AS) и нерастворимые в кислоте (AIS) [URL: <http://www.teatime4science.org/wp-content/uploads/poster-julia-niemeyer.jpg>]. Фракции NPE (например, жиры и воски) и WS (простые сахара и фенолы) непрерывно экстрагировали в течение 24 часов с использованием аппарата Сокслета с дихлорметаном, а затем с деионизированной водой в качестве растворителей. Серную кислоту (72%) использовали для экстракции фракции AS (например, целлюлозы). Оставшийся материал (AIS) сжигали при 550°C для определения содержания золы. Гидролизуемая фракция водорода определяется как сумма фракций NPE, WS и AS. Предполагалось, что водород быстро разлагается в отличие от неперекачиваемой негидролизуемой фракции (AIS и зола).

Однако, в 2010 году был разработан простой и дешевый метод измерения скорости разложения с помощью погребения чая в пакетиках так же, как и мешочков с растительными остатками, обычно используемых в научных исследованиях (методика ТВИ) (Рисунок 4). Научная ценность этого нового метода уже признана, и эксперименты в настоящее время проводятся в разных странах по всему миру.

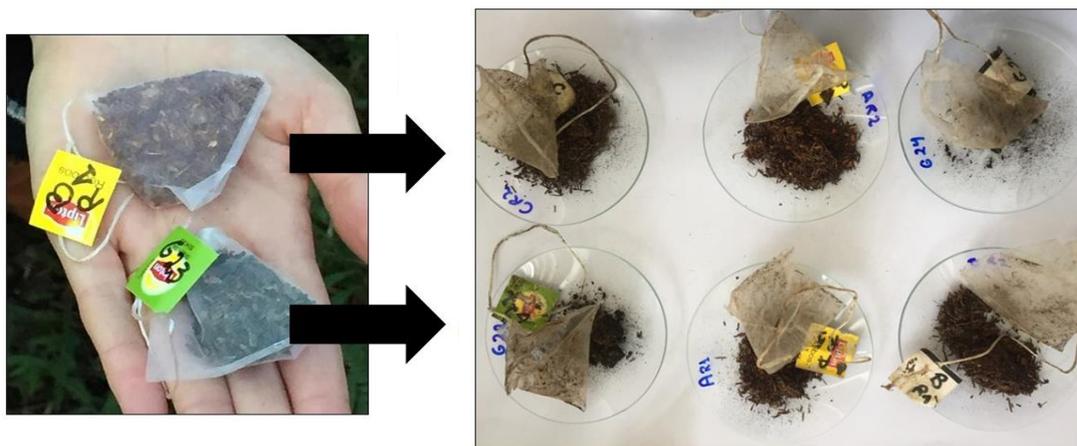


Рис. 4. Ход проведения эксперимента [URL: <http://www.teatime4science.org/wp-content/uploads/poster-julia-niemeyer.jpg>]

Индекс чайных пакетиков – это уникальный, многофункциональный метод, требующий небольшого количества ресурсов. Стандартизация и простота метода позволяют собирать сопоставимые, глобально распределенные данные через краудсорсинг [Tea Bag Index..., p. 5].

Данный метод может обеспечить сравнение скорости разложения органического вещества между различными экосистемами и со временем дать представление о влиянии изменения климата на процессы почвенного дыхания.

#### Вывод по главе

Интенсивность дыхательной активности почв, как одной из её важнейших экологических функций, отражает совокупность всех природно-климатических факторов, от которых зависит состояние почвенной биоты и активность биологических процессов. Наибольшее влияние на интенсивность дыхания почв и её ферментативную активность оказывают биологические и почвенно-

физические факторы, наряду с антропогенным воздействием. Интенсивность почвенного дыхания, являющееся следствием микробиологической активности почвы, характеризует функциональное состояние и устойчивость экосистемы в целом и является показателем экологического благополучия изучаемой территории.

Существуют разнообразные методы определения дыхательной активности почв, для которых требуется большая ресурсная база. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, как в организации проведения измерений, так и в обработке полученных данных. Наиболее экспрессным методом оценки содержания микробной биомассы почв является метод субстрат-индуцированного дыхания (СИД). А одним из самым доступных и простых методов определения ферментативной активности почв является метод аппликаций, с помощью которого можно оценить активность разложения клетчатки в различных экотопах.

## ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМЫХ РАЙОНОВ

## 2.1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАДЫМСКОГО РАЙОНА

Надымский район находится в центральной части Ямало-Ненецкого автономного округа (Рисунок 5). На юге и юго-западе он граничит с Ханты-Мансийским автономным округом, на западе с Приуральским районом ЯНАО, на северо-западе – с Ямальским, на северо-востоке – с Тазовским, на востоке – с Пуровским. Северная граница проходит по акваториям Обской и Тазовской губы [Сафонов, с. 20].



Рис. 5. Географическое расположение Ямало-Ненецкого автономного округа [URL: <https://www.yanao.ru/region/>]

### 2.1.1. Климат Надымского района

Территория Надымского района находится в достаточно суровых климатических условиях. Континентальность климата определяется

удаленностью территории от Тихого и Атлантического океанов и внутренним положением в северной части Евразии. Арктические воздушные массы, характеризующиеся большой сухостью и низкими температурами, активно проникают внутрь равнины [Западная Сибирь..., с. 216].

По данным погодных наблюдений на метеостанции г. Надым были зафиксированы следующие климатические характеристики: средняя годовая температура отмечается на отметке  $-6,6^{\circ}\text{C}$ , средняя январская температура –  $-23^{\circ}\text{C}$ , средняя июльская температура  $17^{\circ}\text{C}$ , суммарное количество осадков составляет 454 мм, устойчивый снежный покров сохраняется на протяжении 220 суток [Сафонов, с. 26].

На данной территории очень холодная зима, температура воздуха в течение суток может колебаться до  $20^{\circ}\text{C}$  и более; преобладают ветра западного, южного и северо-западного направления [URL: [www.world-weather.ru](http://www.world-weather.ru)]. Характерна затяжная весна и короткое холодное лето, продолжительностью 7-10 недель. Наблюдается понижение испарения и относительно высокая влажность воздуха. Данные условия препятствуют прогреванию почвы и затормаживают начало вегетации у растений, в результате чего развиваются дефляционные процессы [Сафонов, с. 27].

### 2.1.2. Гидрология Надымского района

Одной из главных особенностей развития гидрологической сети территории исследования является избыточное увлажнение в совокупности с повсеместным распространением многолетнемерзлых пород (ММП). Коэффициент стока на данной территории больше или равен одному – это свидетельствует о труднопромывном, застойном гидрологическом режиме. Густота речной сети в среднем равна  $1 \text{ км/км}^2$ . Все реки, протекающие по Западно-Сибирской равнине, впадают в Карское море. Обь, Надым, Пур и Таз являются реками первого порядка и протекают в меридиональном направлении [Атлас Тюменской области..., 1971].

Наибольшее влияние с точки зрения гидрологических особенностей на исследуемый район оказывает река Надым, протекающая в 1,5-2 км от естественного песчаного эолового массива [Сафонов, с. 28]. Истоком реки Надым является озеро Нумто (ХМАО, Белоярский район), в районе Сибирский Увалов. Протяженность реки от верховьев Сибирских Увалов до Обской губы равна 545 км, площадь водосборного бассейна составляет 64 тыс. км<sup>2</sup>. Река Надым имеет свыше 2800 притоков. Основными притоками являются: левые – Ярудей, Левая Хетта, Хейгияха; правые – Симиеган, Татлягаяха, Танлова, Правая Хетта. Основная часть питания р. Надым – талые и дождевые воды, составляющие до 54% от общего питания реки [Лезин, 2000, с. 116].

Появление первых ледовых образований происходит в первой или второй декадах октября. В среднем ледостав держится 225-230 дней. Низкая минерализация вод отмечается на протяжении всего года. В период половодья она достигает 30-60 мг/л, во время летне-осенней межени может возрастать в 2-4 раза [Лезин, 2011, с. 63]. По химическому составу вода гидрокарбонатная, мягкая, слабокислая, водородный показатель (рН) варьирует от 6,4 до 6,9 единиц рН.

Природная вода характеризуется высокой степенью загрязнения минеральными и органическими веществами. Содержание фенолов и нефтепродуктов в несколько раз превышает ПДК, в 5-7 и 15-20 раз соответственно. Концентрация железа общего равна 1,3 мг/л, что в 13-14 раз выше значения ПДК [Сафонов, с. 29].

Питание рек смешанное (снегово-дождевое). Величина дождевого питания закономерно увеличивается при движении с севера на юг. В долине реки Надым большое количество озёр, чаще всего заболоченные по периметру [Лезин, 2000, с. 65].

### 2.1.3. Почвы Надымского района

Согласно почвенному районированию, почвы северной тайги Западной Сибири относятся к Западно-Сибирской подзоне глееподзолистых и

подзолистых иллювиально-гумусовых почв [Почвенно-географическое районирование..., 1962]. Наибольшее влияние на формирование почвенных горизонтов на данной территории оказывает избыточное увлажнение территории и близкое залегание многолетнемерзлых пород (ММП). ММП, выступая водоупорным горизонтом, способствуют развитию процесса оглеения почв, а также являются одной из причин затормаживания микробиологической активности почв [Хренов, с. 104]. В сравнении с более южными регионами, в северной тайге подзолистый процесс несколько ослаблен. Для этой территории характерно наличие подзолисто-болотных и торфяно-болотных почв [Таежное почвообразование..., с. 68].

На данной территории распространены подзолистые почвы, формирующиеся под пологом таежных хвойных лесов, где происходит процесс разрушения малозольных органических остатков. В результате выделяется фульвокислота, которая отличается агрессивностью своей среды, что формирует кислую реакцию подзолистых почв. Для территории характерен промывной тип водного режима, что является причиной выноса продуктов почвообразования и обеднения почв [Сафонов, с. 33]

Для подзолистых почв характерна небольшая насыщенность основаниями (от 40 до 95%), небольшой процент содержания обменных магния и кальция, низкое процентное содержание гумуса (до 1%) [Почвы..., с. 69; Таежное почвообразование..., с. 70].

При почвообразовании на супесчаных или легкосуглинистых массивах, которые при глубине 30-40 см подстилаются песчаным материалом, отмечается формирование поверхностно-подзолистых глубинно-глееваты почв или подзолов контактно-глеевых [Почвы севера..., с. 61; Караваева, с. 118].

На изучаемом песчаном эоловом массиве мощность многолетнемерзлых пород (ММП) увеличилась со 110 до 230 см после нарушения и снятия растительного покрова данного участка. В последнее десятилетие после повторного нарушения, связанного с реконструкцией газопровода, отмечалось увеличение максимальной мощности сезонноталого слоя до 450 см. Температура

многолетнемерзлых пород на глубине 10 м (в слое с годовыми колебаниями температуры) повысилась на 0,5°C [Лоботросова, с. 84]

Для почв болотно-подзолистого типа характерно развитие под сосново-еловыми и еловыми заболоченными лесами с травяно-кустарничковым или мохово-лишайниковым покровом на участках, дренаж которых развит слабо или вовсе не развит; также отмечается застой воды из-за достаточно большого уровня залегания грунтовых вод [Каретин, с. 76]. В торфяно-болотных почвах характерно наличие большого торфяного горизонта по мощности; также свойственно оглеение минеральных горизонтов, которые располагаются снизу [Почвы..., с. 201; Классификация и диагностика..., с. 194].

#### 2.1.4. Растительный и животный мир Надымского района

Исследуемый район находится в подзоне северной тайги. Для нее характерно наличие редкостойных лиственничных, лиственнично-еловых и лиственнично-сосновых лесов с участием кедра. Для данной территории характерно наличие крупно- и плоскобугристых мохово-лишайниковых болот и ивово-лугово-болотных растительных сообществ в пойменных участках рек первого и второго порядков [Хозяинова, с. 36].

Для северной тайги лесообразующими породами являются: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), сосна сибирская (кедр; *Pinus sibirica*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*), ель сибирская (*Picea obovata*). В кустарничковом ярусе преобладают брусника (*V. vitis-idea*), голубика (*Vaccinium uliginosum*), водяника чёрная (*Empetrum nigrum*) [Сафонов, с. 34].

Доминирующими лесами для северной тайги Западной Сибири являются сосновые, лиственничные и темнохвойные.

Территория северной тайги по набору растительных сообществ делится на две полосы. Для северной полосы свойственно формирование относительно разреженных лесных массивов – встречаются редкостойные лиственничные, лиственнично-еловые и лиственнично-сосновые леса. Для напочвенного покрова

характерно преобладание гипоарктических и бореальных кустарничков: водяника черная (*Empetrum nigrum*), багульник болотный (*Ledum palustre*), голубика (*Vaccinium uliginosum*), брусника (*V. vitis-idea*); для отдельных регионов возможен сплошной моховой покров, состоящий из гилокомиум блестящий (*Hylacomium splendens*), плеурозий Шребера (*Pleurozium schreberi*); лишайники могут встречаться в виде пятен-медальонов и состоят из видов кладонии – лесная (*Cladonia arbuscula*) и оленья (*C. rangiferina*) [Сафонов, с. 35].

На территории южной полосы отмечается формирование лиственнично-елово-кедровых лесных массивов. Данные лесные сообщества отличаются большой сомкнутостью крон и высотой древостоя. Видовой состав травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов схож с северной полосой. На песчаных почвах в южной полосе встречаются монодоминантные сосновые леса [Растительный покров..., с. 194].

Для регионов с хорошим дренажем, а также легкосуглинистыми, супесчаными и песчаными подзолистыми почвами характерны лиственнично-сосновые лесные сообщества. В подобных растительных сообществах достаточно глубокое залегание многолетнемёрзлых пород (ММП) [Коронатова, с. 79].

Для подзоны северной тайги Западно-Сибирской равнины характерно наличие следующих млекопитающих: бурый медведь (*Ursus arctos*), лось (*Alces alces*), соболь (*Martes zibellina*), белка-летяга (*Pteromys volans*), бурундук (*Eutamias sibiricus*), заяц-беляк (*Lepus timidus*). Среди мышевидных грызунов характерны красно-серая (*Clethrionomys rufocanus*) и красная полёвка (*C. rutilus*) [Мильков, с. 128].

Большим разнообразием характеризуются сообщества насекомых. Значение зоомассы на севере Западной Сибири достигает до 150 кг/га. Огромную долю этого числа составляют дождевые черви. Доля остальных животных невелика, усредненное значение равно 2,24 кг/га [Коронатова, с. 102].

Территория проведения исследования малоприспособлена для жизнедеятельности представителей крупного животного мира. Изредка, на

территорию эолового массива заходит бурый медведь, используя песчаный раздув как транзитный участок для доступа к водным ресурсам. Чаще всего на данной территории встречаются мелкие птицы, грызуны и насекомые [Сафонов, с. 41]. Характерны узкочерепная полевка (*Microtus gregalis*), красная полевка (*Myodes rutilus*), жужецеца (*Carabidae*). Среди птиц часто встречается белая трясогузка (*Motacilla alba*), реже полярные крачки (*Sterna paradisaea*), вороны (*Corvus*) и серые чайки (*Leucophaeus modestus*). На территории изучаемого эолового раздува представителей лесных птиц не наблюдается [Корнатов, с. 104].

## 2.2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЮМЕНСКОГО РАЙОНА

Тюменский район находится на западе Тюменской области. На севере она граничит с Ханты-Мансийским автономным округом, на юге – с Курганской областью и Казахстаном, на западе – со Свердловской областью, на востоке – с Омской областью. Площадь района составляет 3689 км<sup>2</sup>. Географическая широта: крайняя северная (Уватский район) – 59°59' с.ш., крайняя южная (Сладковский район) – 55°08' с.ш. Географическая долгота: крайняя западная (Тюменский район) – 64°49' в.д., крайняя восточная – 75°12' в.д. [Западная Сибирь..., 1963].

### 2.2.1. Климат Тюменского района

Климат территории типично континентальный, формируется главным образом воздушными массами умеренных широт азиатского материка [Бакулин, Козин, с. 152]. Основными чертами температурного режима являются: суровая холодная зима, теплое непродолжительное лето, короткая весна и осень, короткий безморозный период и резкие колебания температуры в течение года, месяца и даже суток.

Среднегодовая температура воздуха в лесостепи изменяется постепенно с северо-запада на юго-восток от 0,5 до 0,7°C. Среднемесячная июльская +18,6°C, средняя январская -18,9°C. Абсолютный минимум в январе равен -47°C, максимум в июле +40°C [Иваненко, с. 64].

Температурный режим почвы. Летом в полдень поверхность почвы, особенно темноцветной, разогревается до 45-50°C. Верхние слои почвы весной и летом прогреваются быстрее воздуха и потому уже на глубине 5 см в июне – июле температура почвы выше, чем воздуха более чем на 3°C в лесостепи, в подтайге разница уменьшается до 0,5-1,0°C [Иваненко, с. 66].

Годовое количество осадков в лесостепной зоне составляет 320-350 мм, причем более половины выпадает в теплое время года, только в мае – июне около 180-200 мм. Суммарное испарение составляет 285 мм. За продолжительный зимний период выпадает 30% годового количества осадков [Гвоздецкий, с. 42]. Территория подвержена засухам и суховеям. Наиболее засушливыми являются июнь и июль.

Циркуляция атмосферы над большей частью области отличается формированием континентальных умеренных воздушных масс. Северные и северо-западные циклоны приносят резкое похолодание, особенно ощутимое в переходные сезоны года. Западные и юго-западные циклоны сопровождаются грозами, сильными ветрами и интенсивными дождями [Западная Сибирь..., с. 351]. Преобладающими направлениями ветра в течение года являются северное и северо-восточное. Среднегодовая скорость ветра 4,2 м/с. Минимальное значение среднемесячных скоростей 3,2 м/с наблюдается в августе [Иваненко, с. 91].

### 2.2.2. Гидрология Тюменского района

На территории Тюменского района гидрографическая сеть хорошо развита, представлена такими крупными реками как Иртыш, Тобол, Тура, Вагай, Ишим, Туртас, Демьянка и менее крупными – Исеть, Пышма, притоки Демьянки.

Первые из них имеют хорошо разработанные террасированные долины с развитой поймой. Вторые носят русловый характер и поймы почти не имеют, кроме Пышмы и Исети. Все реки принадлежат к бассейну Карского моря. Территория заозерена и заболочена. Наиболее крупные озера – Большой Уват, Большой Шишкарым, Соленое, Северг [Атлас Тюменской области..., с. 149].

Половодье на реках наступает в основном в конце июля, а на некоторых реках даже в начале сентября – октября. На больших реках половодье длится 80-130 дней. Подъем воды на крупных реках составляет 7-9 м, на Туре, Тавде – достигает 8-12 м, на лесостепных равнинах – 5-6 м [Лезин, с. 168].

Реки слабо углубляют русло, преобладает боковой размыв, что приводит к очень сильному искривлению русел, а это в свою очередь удлиняет протяженность рек и замедляет сброс воды [Бакулин, Козин, с. 97]. Результатом этого является недостаточная обеспеченность сброса избытка влаги. В конечном итоге, несмотря на развитую гидросеть, дренажная роль рек невелика. Это способствует широкому развитию почв гидроморфного ряда.

### 2.2.3. Почвы Тюменского района

Специфика геоморфологического строения юга Тюменской области определяет своеобразный почвенный покров данной территории [Каретин, с. 52]. Это своеобразие заключается в том, что почвы имеют широкое интразональное распространение, среди которых первое место занимают различного рода гидроморфные и полугидроморфные почвы – от торфяно-болотных до лугово-черноземных. Распространению почв этих типов способствовали равнинный рельеф местности, повсеместно высокое залегание почвенно-грунтовых вод и верховодок. Специфической особенностью почвенного покрова рассматриваемой территории является довольно широкое распространение почв засоленного типа.

В южной тайге почвенный покров представлен в основном тремя типами почв: торфяные, подзолистые и пойменные. Торфяно-болотные почвы занимают

междуречные пространства. На правобережье Иртыша и севернее р. Носка преобладают верховые торфяники, южнее формируются преимущественно низовые торфяники. Подзолистые почвы размещаются узкой полосой вдоль рек левобережья Иртыша, но наибольшие площади их на правом берегу р. Иртыша. Наибольшие площади пойменных почв приходится на левостороннюю пойму Иртыша и низовья рек Демьянки, Туртаса и Вагая [Хренов, с. 67].

В подтайге почвенный покров складывается из сочетаний торфяно-болотных, серых лесных, дерново-подзолистых, лугово-болотных и пойменных почв. На границе с зоной лесостепи встречаются солонцеватые и осолоделые почвы. В сельском хозяйстве наибольший удельный вес имеют серые лесные, несколько меньше – луговые и торфяно-болотные и дерново-подзолистые. Наиболее благоприятный механический состав имеют почвы Викуловского района, где около 60% почв имеют средне- и легкосуглинистый механический состав, 25% - тяжелосуглинистые и глинистые и 15% - песчаный и супесчаный [Хренов, с. 68].

В лесостепи почвенный покров представлен различными сочетаниями и комплексами зональных и интразональных, автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных почв. В Тюменском и Исетском районах преобладают сочетания черноземов, лугово-черноземных и серых лесных почв. На остальной части данной зоны ведущее место занимают луговые, лугово-черноземные и лугово-болотные почвы различной степени засоленности. Нередко эти почвы комплексируются с солонцами. По механическому составу почвы делятся на легко-, средне- и реже тяжелосуглинистые [Хренов, с. 70-71].

#### 2.2.4. Растительный и животный мир Тюменского района

Растительность юга Тюменской области закономерно меняется при движении с севера на юг [Каретин, с. 93]. Территория примерно севернее линии Велижаны – Ярково – Викулово находится в зоне смешанных лесов и представлена такими древесными породами, как береза, осина, пихта, ель, кедр,

изредка встречаются сосна и лиственница. Южнее указанной линии хвойно-лиственные леса сменяют обширные массивы лиственных лесов, часто осветленные, паркового типа с хорошо развитыми высокостебельным, травяным покровом (злаковые и разнотравные). По мере продвижения на юг, площади лесов уменьшаются и переходят в рощи и колки, в древостое которых доминирует береза.

Основу подтайги составляют коренные травяные берёзовые и осиновые леса. Травяной ярус имеет развитый злаково-разнотравный покров с лугово-опушечными видами (кострец безостый, мятлик луговой, горошек мышиный, чина луговая, подмаренник северный) и таёжным мелкотравьем. Леса часто чередуются с участками суходольных злаково-разнотравных и разнотравно-злаковых лугов и распаханными землями [Западная Сибирь..., с. 198].

Зональными для средней лесостепи являются луговые степи с богатым разнотравно-злаковым травостоем, состоящим из корневищных и дерновинных злаков (ковыль перистый, овсяница ложноовечья, тимофеевка степная) и мезоксерофильного разнотравья (полынь широколистная, горичник Морисона). Большая часть территории лесостепи занята сельскохозяйственными землями: пашнями, залежами, пастбищными угодьями. В местах засоленных почв распространена комплексная растительность из галофитно-луговых и степных сообществ (бескильница, полынь, кермек, солянка) [Каретин, с. 98].

#### Вывод по главе

На территории Надымского района вследствие избыточного увлажнения, малой теплообеспеченности территории и наличия многолетнемёрзлых пород, наблюдается короткий вегетативный период и относительно позднее его наступление, что может являться причиной нарушения активности почвенной биоты и снижения дыхательной активности субстратов изучаемой территории.

На территории Тюменского района наблюдаются благоприятные природно-климатические условия для жизнедеятельности почвенных организмов, что может способствовать интенсивной микробиологической активности почв.

## ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 3.1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЫХАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПЕСЧАНЫХ СУБСТРАТОВ

Изучение дыхательной активности песчаных субстратов проводилось на естественном песчаном эоловом массиве, который находится в 40 км на юго-востоке от города Надым (Рисунок 6). По административному делению песчаный массив относится к Надымскому району Ямало-Ненецкого автономного округа. Изучаемый эоловый раздув располагается в подзоне северной тайги Западно-Сибирской равнины.



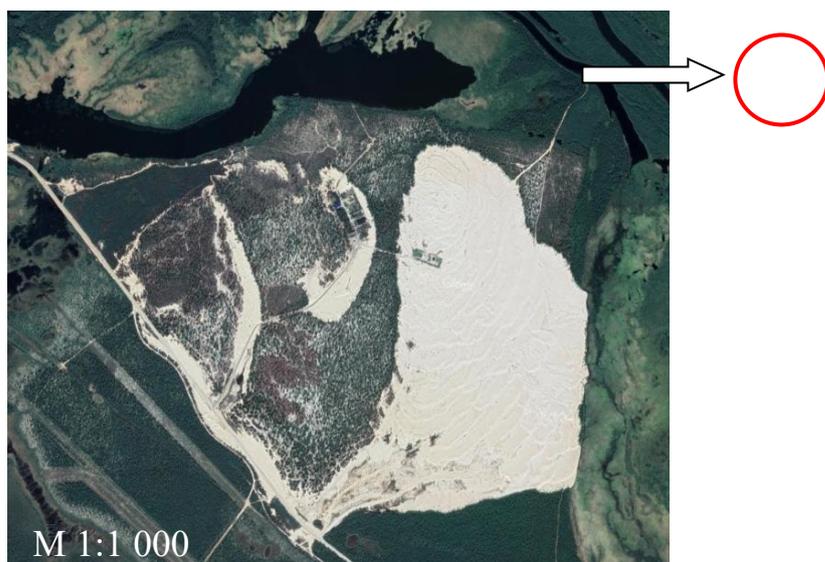


Рис. 6. Расположение песчаного раздува, Надымский район [по данным электронного ресурса Google Maps]

Для выполнения исследований по изучению интенсивности почвенного дыхания на природных песках использовались фондовые материалы НИИ экологии и РИПР ТюмГУ, в которых были зафиксированы результаты лабораторных опытов по определению содержания углерода микробной биомассы песчаных почв и ее дыхательной активности.

В 2018 году сотрудниками НИИ экологии и РИПТ ТюмГУ начаты работы по изучению интенсивности почвенного дыхания на естественном песчаном раздуве близ города Надыма. Были проведены исследования микробиологической активности почвогрунтов естественного раздува. Определялось содержание углерода микробной биомассы методом измерения субстрат-индуцированного дыхания (СИД) и ее дыхательной активности (базальное дыхание,  $V_{\text{basal}}$ ) в сукцессионном ряду: наветренный склон дюны – полигоны – переходная зона – анклав (Рисунок 7):

1) наветренный участок дюны, наиболее подвергаемый ветровому перевеванию, сложенный рыхлым песком, полностью лишенный растительности, далее обозначаемый как "песок" (Рисунок 8);

2) участок полигональных морозобойных клиньев, распложённый в междюнном понижении, сложенный плотным песком, лишенный растительности, далее – "полигон" (Рисунок 9);

3) переходная зона, между анклавом и полигоном, оконтуренная морозобойными клиньями, далее – "переход" (Рисунок 10);

4) территория самого старого анклава со сформированном растительным покровом, далее – "анклав" (Рисунок 11). Изучение почвенного разреза позволило установить, что на этом участке формируется молодая почва, развивающаяся по подзолисто-иллювиально-железистому подтипу.

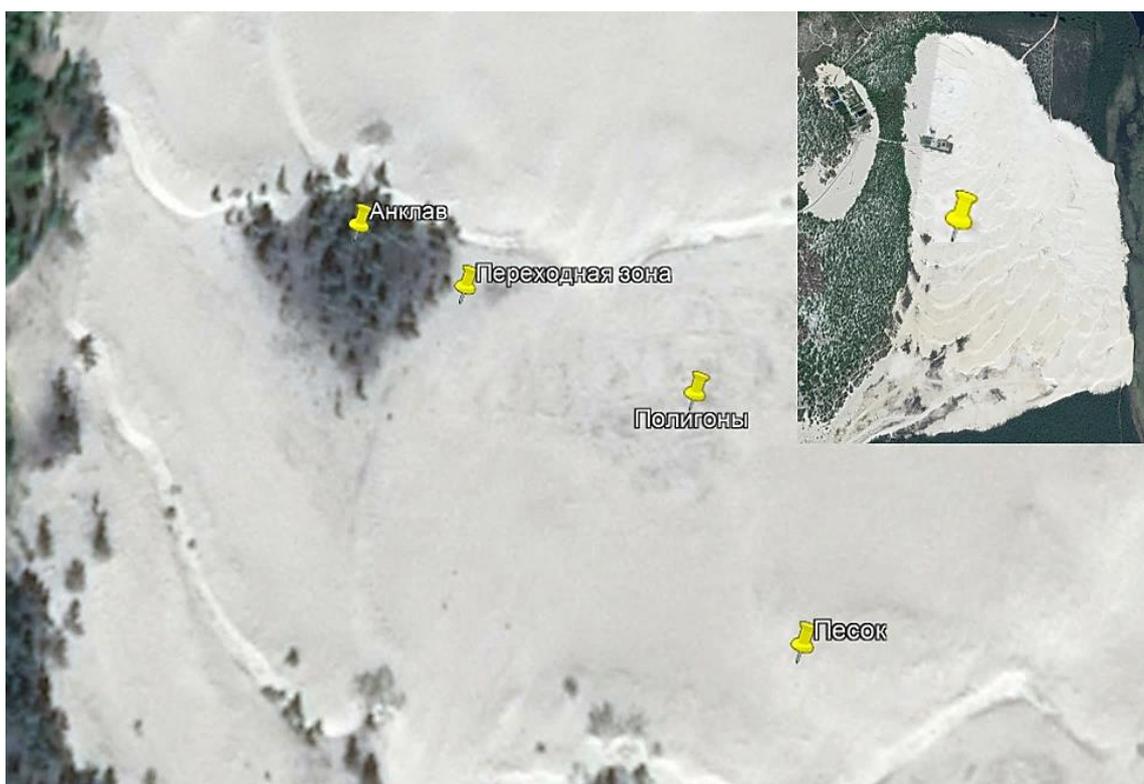


Рис. 7. Расположение участков изучения интенсивности почвенного дыхания на песчаном раздуде в 2018 году [составлено автором на основе программного обеспечения SAS.Планета]



Рис. 8. Участок № 1 – "песок", наветренный склон дюны  
[автор фото Соромотин А.В.]



Рис. 9. Участок № 2 – междюнное понижение с полигонами, оконтуренными морозобойными клиньями, «полигон» [автор фото Соромотин А.В.]



Рис.10. Участок № 3 – "переходная зона" [автор фото Соромотин А.В.]



Рис. 11. Участок № 5 – "анклав" [автор фото Соромотин А.В.]

Пробы почв отбирались по следующей схеме: на каждом из участков выделялась площадка размером 5x5 м с относительно однородной

поверхностью, отбирались пробы с глубины 0-5 см в 4-х кратной повторности массой примерно по 200 гр. Дополнительно отбиралась одна смешанная поверхностная проба с 4-х прикопок общей массой до 500 гр. На территории анклава отбиралась самая верхняя минеральная часть профиля с глубины 2-6 см (горизонт Vfe).

Отобранные пробы этикетировались и помещались в двойные полиэтиленовые пакеты с замком Zip Lock для предотвращения подсыхания при пересылке.

Определение влажности и полной влагоемкости отобранных образцов, дыхательной активности (базального дыхания,  $V_{\text{basal}}$ ) методом измерения субстрат-индуцированного дыхания и расчета углерода микробной биомассы выполнялось *ex situ* в лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пущино).

Определение содержания углерода микробной биомассы осуществляется методом измерения субстрат-индуцированного дыхания (СИД). Данный метод основан на измерении первоначального максимального выделения  $\text{CO}_2$  из почвы, обогащенной глюкозой в интервале, не превышающем шести часов [Мирчинк, Паникова, с. 211]. Концентрация глюкозы, обеспечивающая наибольший первоначальный отклик почвенного микробного сообщества в виде образовавшегося  $\text{CO}_2$ , определяется экспериментально для каждого типа почвы и составляет в основном от 1 до 20 мг глюкозы/г почвы. Глюкоза вносится в форме порошка и для достижения максимального эффекта после внесения глюкозы почвенный образец тщательно перемешивается [Мирчинк, Паникова, с. 212].

Определение дыхательной активности почвы (базальное дыхание,  $V_{\text{basal}}$ ) осуществляется следующим образом: в пеницилиновые флаконы помещается по 2 г почвы, добавляется 0,4 мл воды, герметично закрываются и инкубируются при температуре 22°C. Продолжительность инкубации составляет 22-24 часа [Остроумов, Буценко, с. 108].

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

### 3.2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПЕСЧАНЫХ СУБСТРАТОВ

Исследования по определению ферментативной активности песчаных субстратов проводилось на двух территориях: на естественном эоловом песчаном раздуде в районе города Надым (объект описан в пункте 3.1) и на участке магистрального нефтепровода Усть-Балык – Альметьевск в Тюменском районе. Участок магистрального нефтепровода №1380 Усть-Балык – Альметьевск находится в 32 км на северо-востоке от города Тюмень. Территориально относится к Тюменскому району Тюменской области (Рисунок 12).



Рис. 12. Расположение изучаемого магистрального нефтепровода Усть-Балык – Альметьевск, Тюменский район [по данным электронного ресурса Google Maps]

Совместно с директором НИИ экологии и РИПР ТюмГУ Соромотиным А.В. был проведен полевой опыт по определению интенсивности разложения целлюлозы методом аппликации стеклянных пластинок на различных участках магистрального нефтепровода №1380 Усть-Балык – Альметьевск (Тюменский район) в июне-августе 2020 года.

Были подготовлены 30 стеклянных плашек, обернутые натуральной неотбеленной льняной тканью, размер каждой составлял 15x5см (Рисунок 13). Ткань предварительно была взвешена на лабораторных весах.



Рис. 13. Стеклянная плашка, обёрнутая льняной тканью [фото автора]

На исследуемой территории были выбраны 3 участка, на которых закладывался опыт (Рисунок 14). Координаты участков:

- «Песок»: N57°06'22.5" E66°04'49.8"
- «Трава»: N57°06'21.4" E66°04'50.0"
- «Лес»: N57°06'20.9" E66°04'58"

Данные 3 участка различаются своими условиями:

- 1) Первый участок характеризуется почти полным отсутствием растительности, единичные виды растений встречаются по периферии участка, далее – «песок» (Рисунок 14а);

- 2) Второй участок характеризуется густым травяным покровом с небольшим количеством кустарничковой растительности, встречающейся по границам участка, далее – «травя» (Рисунок 14б);
- 3) Третий участок находится в сосновом лесу и полностью покрыт моховой растительностью, встречаются единичные вид растений, далее – «лес» (Рисунок 14в).



а)



б)



в)

Рис. 14. Участки исследования (а – «песок»; б – «трава»; в – «лес») [фото автора]

На каждом из участков 30 июня 2020 года были закопаны по 10 плашки: к вертикальной стенке свежего почвенного разреза на глубину 20-25 см плотно прижимались плашки, придавливались почвой, разрез засыпали, палочками обозначалось местонахождение разрезов.

Так же с каждого участка были отобраны почвенные образцы с глубины 0-5 см массой примерно по 400 гр. каждый. Отобранные пробы этикетировались и помещались в двойные полиэтиленовые пакеты с замком Zip Lock для предотвращения подсыхания при перемещении.

Обилие живого напочвенного покрова оценивалось через общее проективное покрытие. На каждом из участков выбиралась площадка квадратной формы с размером стороны 1 метр. Общее проективное покрытие определялось в процентах.

На участке «песок» произрастают единичные виды растений иван-чая (*Chamaenerion*), вейника (*Calamagrostis epigejos*), хвоща полевого (*Equisetum arvense* L.), осоки (*Carex*). Данные растения произрастают преимущественно по периферии участка. Общее проективное покрытие участка – 5%.

Участок «трава» имеет 100%-ое проективное покрытие. Большая часть травяного покрова состоит из растений семейства злаковые разноцветные. Встречаются единичные виды вейника (*Calamagrostis epigejos*).

На участке «лес» большую часть напочвенного покрова занимают зеленые лесные мхи. Общее проективное покрытие составляет 80%. Единично встречаются кошачья лапка (*Antennaria*), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.) и брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.).

Наибольшее значение обилия живого напочвенного покрова наблюдается на участке «трава», наименьшее – на участке «песок».

Через 2,5 месяца, 21.10.2020 были выкопаны все плашки, ткань отделена от стекла, при помощи пинцета очищена от почвы и растительных остатков и оставлена в лаборатории на 7 дней для естественного просыхания (Рисунок 15). После чего все образцы ткани были взвешены на лабораторных весах.

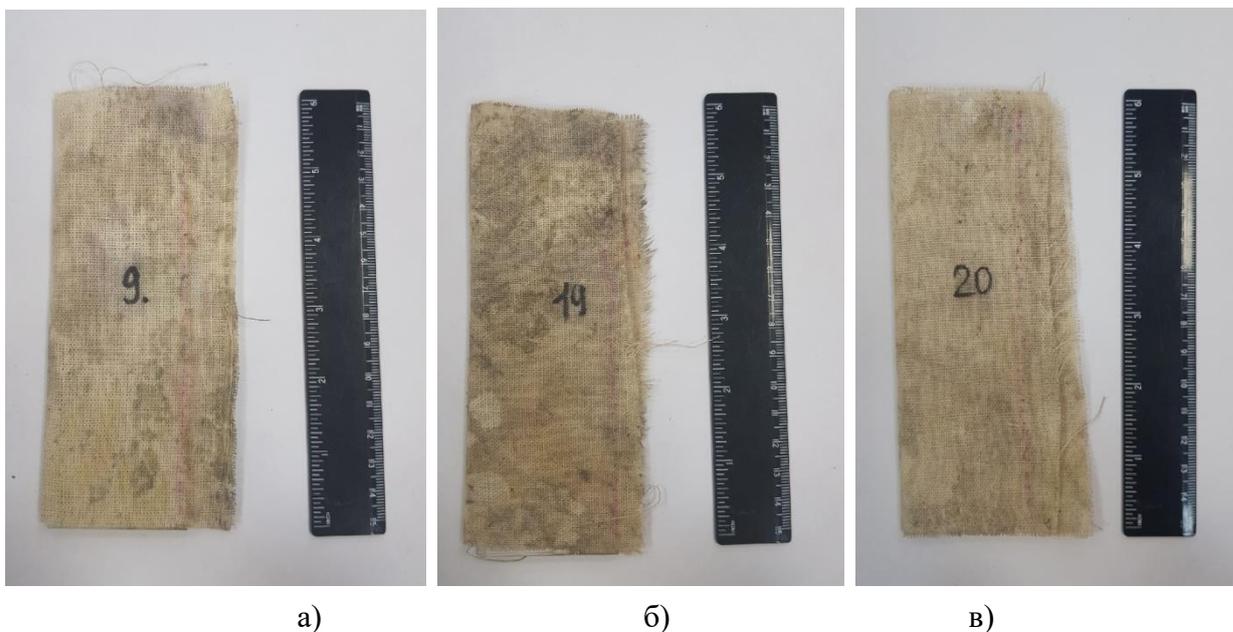


Рис. 15. Экспериментальные плашки в конце опыта (а – плашка с участка «песок», б – плашка с участка «трава», в – плашка с участка «лес») [фото автора]

В соответствии с ГОСТ 28268-89 «Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений» влажность почв изучаемых участков определялась следующим образом: пробы почв помещали в высушенные и взвешенные стаканчики и закрывали их крышками. Затем взвешивали вместе с почвой, далее открывали стаканчик и помещали в сушильный шкаф при температуре  $105^{\circ}\text{C}$  на 5 часов. Далее стаканчик с почвой ставят в эксикатор, где он остывает, а затем взвешивают. После первого взвешивания высушивание продолжается в течение часа, затем стаканчик с почвой взвешивают еще раз. Если вес стаканчика на втором взвешивании не отличается от первого на  $0,2$  г, то после второго взвешивания производят необходимые расчеты [ГОСТ 28268-89, с. 2-3]. Количество воды рассчитывают в процентах к весу почвы. Вычисленный процент воды заносится в последнюю графу таблицы (Таблица 1). Пример расчета влажности почвы представлен в таблице 1.

Таблица 1

## Определение влажности почвы (вес в г) [составлено автором]

Вес бьюкса	Вес бьюкса с почвой	Вес почвы	Вес бьюкса с почвой после высушивания			Убыль в весе (кол-во воды)	Кол-во воды в %
			1	2	3		
22,55	28,55	6,00	27,50	27,47	27,47	1,08	18,0

Определение полной почвенной влагоемкости проводилось по методике, описанной в статье Чупахиной Г. [Чупахина, с. 26]. Так, использовались цилиндры с сетчатым дном, впаянным на 1-2 см выше нижнего края цилиндра. Диаметр цилиндра 5-6 см, высота 15-18 см. Перед тем как насыпать землю в цилиндр, на дно его кладут кружок из или фильтровальной бумаги и цилиндр со смоченным кружком взвешивают; затем в него берут навеску анализируемой почвы. После этого цилиндр помещают в чашку с водой. Цилиндр сверху покрывают стеклянным колпаком для создания пространства, насыщенного порами воды. Когда почва будет смочена до самого верха, цилиндр вынимают из чашки, ставят на полотенце или фильтровальную бумагу для удаления излишков воды и затем взвешивают [Чупахина, с. 27].

Взвешивание производят через 48 часов после закладки опыта. После этого цилиндр снова ставят в чашку с водой и через 2 часа производят вторичное взвешивание. Если вес цилиндра с почвой не изменился на более чем 0,2 г, то принимают полученную цифру. Количество поглощённой воды определяют в процентах к весу взятой почвы [Чупахина, с. 28]. Пример расчетов полной почвенной влагоемкости представлен в таблице 2.

Таблица 2

## Определение влагоёмкости почвы (вес в г) [составлено автором]

Вес цилиндра	Вес цилиндра с почвой	Вес почвы	Вес цилиндра с почвой, насыщенной водой			Прибыль в весе (кол-во поглощенной воды)	Кол-во поглощ. воды в %
			1	2	3		
127,32	358,52	231,20	409,37	409,36	409,38	50,86	22

Определение ферментативной активности почв оценивается по убыли массы льняного полотна. Потеря массы в процентах служит показателем микробиологической (ферментативной) активности почвы. Оценка проводилась по методике Д.Г. Звягинцева (1980), которым предложена следующая шкала оценки ферментативной активности почв по интенсивности разложения клетчатки (% разложившегося полотна за вегетационный сезон):

- очень слабая <10,
- слабая 10-30,
- средняя 30-50,
- сильная 50-80,
- очень сильная >80 [Звягинцев, с. 134].

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

Аналогичное исследование было так же проведено на естественном песчаном эоловом раздуве в районе города Надым (объект описан в пункте 3.1). В 2018 году на каждом из 4-ех участков («анклав», «переход», «полигон», «песок») было закопано по 5 плашек, обернутых натуральной неотбеленной тканью.

В 2020 году были выкопаны 7 плашек из 20, т.к. остальные выдуло из почвы, найти их не удалось. Выкопанные плашки были доставлены в Тюмень, ткань отделена от стекла, при помощи пинцета очищена от почвы и растительных остатков и оставлена в лаборатории на 7 дней для естественного просыхания (Приложение 1). После чего все образцы ткани были взвешены на лабораторных весах.

Определение ферментативной активности проводилась по методике Д.Г. Звягинцева [Звягинцев, с. 134].

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

На данный момент заложен повторный опыт по оценке ферментативной

активности почв на естественном песчаном эоловом раздуве в районе города Надым. В 2020 году были закопаны плашки, обернутые льняной тканью, по 10 штук на каждом из участков (всего 30 штук). Изъятие плашек планируется на лето 2021 года.

## ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЧВЕННОГО ДЫХАНИЯ И ФЕРМЕНТАТИВОЙ АКТИВНОСТИ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

### 4.1 ОЦЕНКА ДЫХАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПЕСЧАНЫХ СУБСТРАТОВ НАДЫМСКОГО РАЙОНА

Результаты определения влажности и полной полевой влагоемкости почвы (ППВ) на естественном песчаном эоловом раздуве в районе города Надым представлены в таблице 3. Величины полной влагоемкости почвогрунтов на всех изученных участках соответствуют нижним пределам значений для песчаных почв, с максимальным уровнем на участке «анклав», что вероятно, является следствием накопления органического вещества при разложении растительного опада.

Таблица 3

Результаты измерений полной полевой влагоемкости почвенных образцов изученных участков песчаного раздува (%) [составлено автором по результатам лабораторных исследований]

Участок	Полная почвенная влагоемкость, %		
	Mean	Std.Dev.	Stand.Error
«Песок»	25,90	0,06	0,04
«Полигон»	25,67	1,83	1,29
«Переход»	29,01	0,03	0,02
«Анклав»	38,02	0,93	0,66

Результаты определения дыхательной активности песчаных субстратов на естественном песчаном эоловом раздуве в районе города Надым представлены в таблице 4.

Дыхательная активность ( $V_{\text{basal}}$ ) изученных участков песчаного раздува ( $\text{мгС кг}^{-1}$  почвы сутки $^{-1}$ ) [составлено автором по результатам лабораторных исследований]

Участок	$V_{\text{basal}}$ , $\text{мгС кг}^{-1}$ почвы сутки $^{-1}$		
	Mean	Std.Dev.	Stand.Error
«Песок»	1,05	0,24	0,12
«Полигон»	1,92	0,72	0,66
«Переход»	6,69	1,32	1,47
«Анклав»	7,68	1,03	0,52

Дыхательная активность песчаных субстратов ( $V_{\text{basal}}$ ) в слое 0–5 см песчаного раздува различается в зависимости от микроморфологической приуроченности изученных участков. Самые высокие значения величины  $V_{\text{basal}}$  характерны для участков с восстановившейся растительностью («анклав») и на переходной зоне («переход»), что может быть обусловлено обогащенностью почв углеродом растительных остатков. На морозобойных полигонах и наветренных склонах дюн, полностью лишенных высших растений, значения  $V_{\text{basal}}$  минимальны (Рисунок 16).

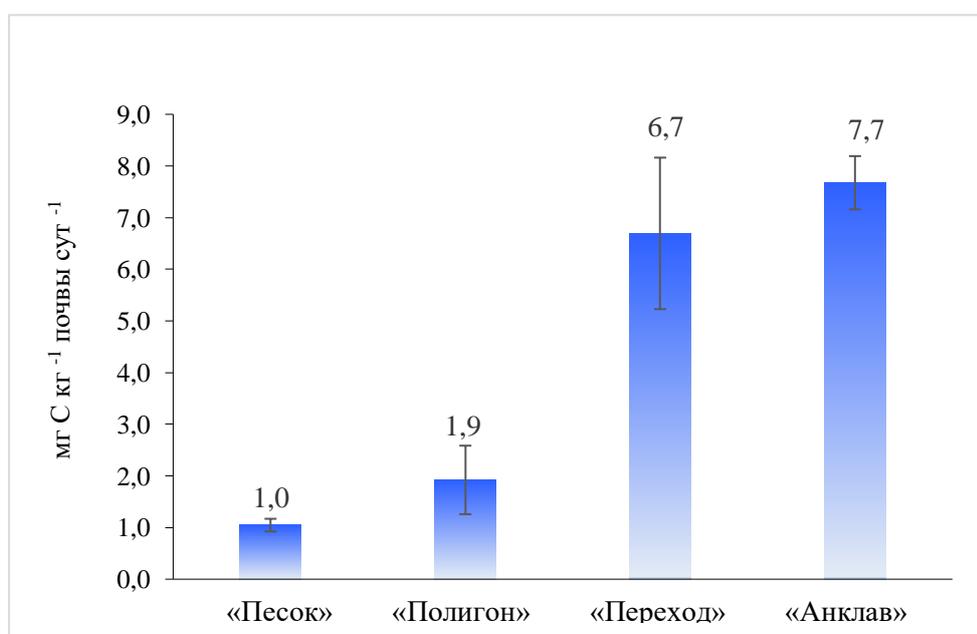


Рис. 16. График дыхательной активности ( $V_{\text{basal}}$ ) изученных участков песчаного раздува

Достоверности различий средних значений дыхательной активности изученных участков песчаного раздува при заданных уровнях значимости, которые оцениваются по t-критерий Стьюденту представлены в таблице 5.

Таблица 5

Достоверность различий средних значений дыхательной активности ( $V_{\text{basal}}$ ) изученных участков песчаного раздува при заданных уровнях значимости (по t-критерий Стьюденту) [составлено автором]

Участок	«Анклав»	«Переход»	«Полигон»	«Песок»
«Анклав»	-	Не достоверно	6,8***	12,51***
«Переход»	-	-	-2,95*	-3,83*
«Полигон»	-	-	-	1,30*
«Песок»	-	-	-	-

Достоверно при: \*\*\* $P < 0,001$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \* $P < 0,05$

Расчет содержания углерода микробной биомассы производится по формуле (1) [Anderson, Domsch, p. 217]:

$$C_{\text{мик}} = 40,04 \cdot V_{\text{SIR}} + 0,37 \quad (1)$$

где  $C_{\text{мик}}$  – содержание углерода микробной биомассы (мкг С 100 г<sup>-1</sup> почвы),

$V_{\text{SIR}}$  – скорость субстрат-индуцированного дыхания (мкг С г<sup>-1</sup>ч<sup>-1</sup>).

Интенсивность субстрат-индуцированного дыхания ( $V_{\text{SIR}}$ ) в отобранных почвенных образцах различается в зависимости от микроморфологической приуроченности изученных участков песчаного раздува. Самые высокие значения величины  $V_{\text{SIR}}$  характерны для участков с восстановившейся растительностью («анклав») и на переходной зоне («переход») (Таблица 6, Рисунок 17). На морозобойных полигонах и наветренных склонах дюн, полностью лишенных высших растений, значения  $V_{\text{SIR}}$  минимальны.

Интенсивность субстрат-индуцированного дыхания ( $V_{SIR}$ ) на изученных участках песчаного раздува ( $\text{мгС кг}^{-1}$  почвы  $\text{сутки}^{-1}$ ) [составлено автором по результатам лабораторных исследований]

Участок	$V_{SIR}$ , $\text{мгС кг}^{-1}$ почвы $\text{сутки}^{-1}$		
	Mean	Std.Dev.	Stand.Error
«Песок»	2,48	1,75	0,89
«Полигон»	10,27	6,38	3,19
«Переход»	28,68	10,85	5,42
«Анклав»	40,34	9,53	4,75

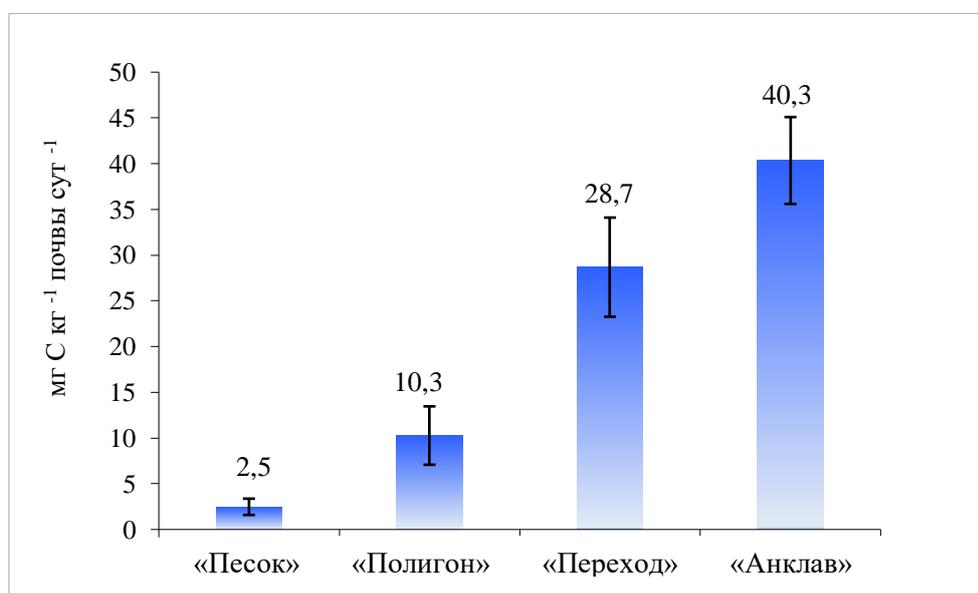


Рис. 17. График интенсивности субстрат-индуцированного дыхания ( $V_{SIR}$ ) изученных участков песчаного раздува

Достоверности различий средних значений дыхательной активности изученных участков песчаного раздува при заданных уровнях значимости представлены в таблице 7.

Таблица 7

Достоверность различий средних значений интенсивности субстрат-индуцированного дыхания ( $V_{SIR}$ ) изученных участков песчаного раздува при заданных уровнях значимости (по t-критерий Стьюденту) [составлено автором]

Участок	«Анклав»	«Переход»	«Полигон»	«Песок»
«Анклав»	-	Не достоверно	4,69**	6,31***
«Переход»	-	-	-1,47*	-3,98**
«Полигон»	-	-	-	Не достоверно
«Песок»	-	-	-	-

Достоверно при: \*\*\* $P < 0,001$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \* $P < 0,05$

Определение углерода микробной биомассы на естественном песчаном эоловом массиве показало, что максимальные значения  $C_{мик}$  характерны для участков «анклав» и «переход», а минимальные – для наветренного склона дюны («песок») и морозобойных полигонов («полигон») (Таблица 8, рисунок 18). Достоверности различий средних значений углерода микробной биомассы ( $C_{мик}$ ) изученных участков песчаного раздува при заданных уровнях значимости представлены в таблице 9.

Таблица 8

Содержание углерода микробной биомассы ( $C_{мик}$ ) изученных участков песчаного раздува (мгС кг<sup>-1</sup> почвы) [составлено автором по результатам лабораторных исследований]

Участок	$C_{мик}$ , мгС кг <sup>-1</sup> почвы		
	Mean	Std.Dev.	Stand.Error
«Песок»	4,51	2,94	1,47
«Полигон»	17,51	10,65	5,33
«Переход»	48,22	18,10	9,05
«Анклав»	67,71	15,88	7,94

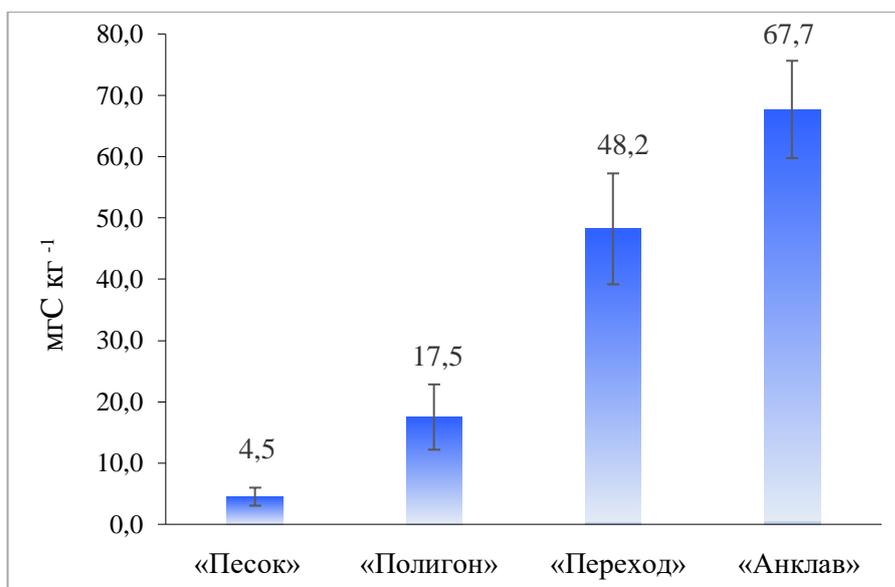


Рис. 18. График содержания углерода микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) изученных участков песчаного раздува

Таблица 9

Достоверность различий средних значений углерода микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) изученных участков песчаного раздува при заданных уровнях значимости (по t-критерий Стьюденту) [составлено автором]

Участок	«Анклав»	«Переход»	«Полигон»	«Песок»
«Анклав»	-	Не достоверно	5,25*	7,83*
«Переход»	-	-	-2,94*	-4,77*
«Полигон»	-	-	-	Не достоверно
«Песок»	-	-	-	-

Достоверно при: \*\*\* $P < 0,001$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \* $P < 0,05$

Проведённое исследование показало, что микроморфологические участки естественного песчаного эолового раздува заметно различаются по интенсивности микробиологических почвенных процессов. Активность почвенного микробиоценоза закономерно возрастает в сукцессионном ряду: наветренный склон дюны – морозобойные полигоны – переходные зоны – анклав.

Установлено, что на участках со сформировавшимся растительным покровом («Анклав» и «Переход»), происходит интенсивное накопление органического углерода в слое 0-5 см, что способствует стимулированию

дыхательной активности почв. Доказано, что наличие растительного покрова является важнейшим экологическим фактором, оказывающим влияние на интенсивность почвенного дыхания.

Установлена тенденция связи интенсивности базального дыхания песчаных субстратов изучаемой территории от полной полевой влагоемкости почв изученных участков с аппроксимацией линейного типа (Рисунок 19). Зависимость базального дыхания от влажности почв не столь выражена (Рисунок 20).

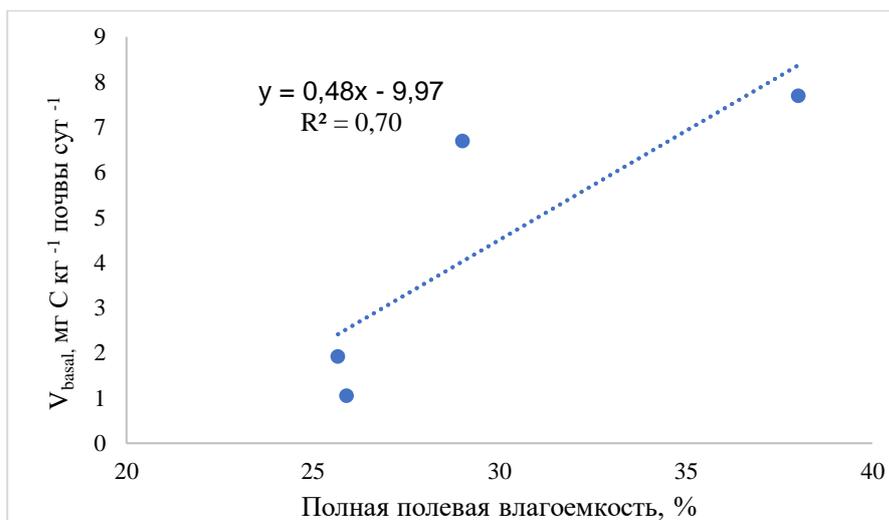


Рис. 19. График зависимости интенсивности дыхательной активности субстратов песчаного раздува ( $V_{\text{basal}}$ ) от полной полевой влагоемкости почв

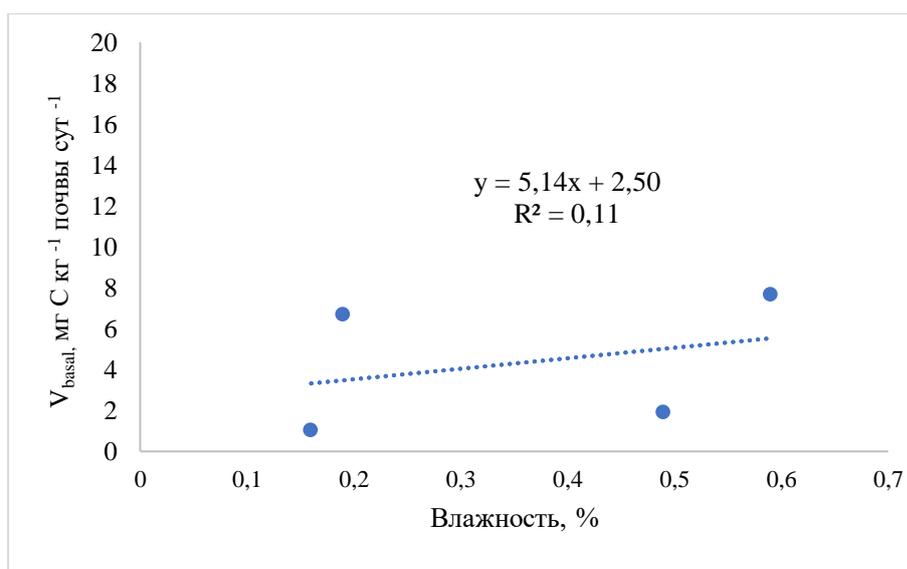


Рис. 20. График зависимости интенсивности дыхательной активности субстратов песчаного раздува ( $V_{\text{basal}}$ ) от влажности почв

Так же установлена тенденция связи углерода микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) от полной полевой влагоемкости с аппроксимацией линейного типа (Рисунок 21). Достоверность зависимости углерода микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) изученных участков песчаного раздува от ППВ представлены в таблице 10.

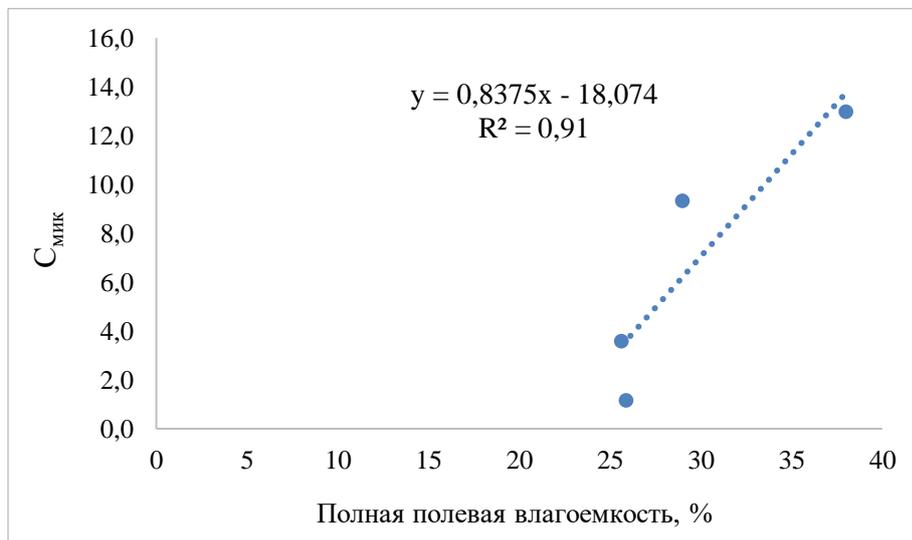


Рис. 21. График зависимости содержания углерода микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) от полной полевой влагоемкости

Таблица 10

Достоверность зависимости углерода микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) изученных участков песчаного раздува от ППВ (по t-критерий Стьюденту) [составлено автором]

	ППВ	Содержание углерода микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ )
ППВ	-	0,97***
Содержание углерода микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ )	0,97***	-

Достоверно при: \*\*\* $P < 0,001$

Доказано, что полная полевая влагоемкость почв является важнейшим экологическим фактором, оказывающим влияние на интенсивность дыхательной активности почв.

Экофизиологические показатели состояния микробных сообществ. Отношение скоростей базального дыхания почвы ( $V_{\text{basal}}$ ) и почвы со внесленным избытком глюкозы ( $V_{\text{SIR}}$ ) позволяет рассчитать ее удельное дыхание ( $q\text{CO}_2$ ) или «микробный метаболический коэффициент» (2) [Благодатская, Ананьев,

Мякшина, с. 206]:

$$q\text{CO}_2 = V_{\text{basal}} / V_{\text{SIR}} \quad (2)$$

где  $q\text{CO}_2$  – Микробный метаболический коэффициент;

$V_{\text{basal}}$  – скорость базального дыхания почвы ( $\text{мгС кг}^{-1}$  почвы  $\text{сутки}^{-1}$ );

$V_{\text{SIR}}$  – показатель субстрат-индуцированного дыхания ( $\text{мгС кг}^{-1}$  почвы  $\text{сутки}^{-1}$ ).

Показатель  $q\text{CO}_2$  является одним из информативных показателей экофизиологического состояния микробного сообщества почв [Благодатская, Ананьев, Мякшина, с. 204].

Результаты расчетов удельного дыхания почв ( $q\text{CO}_2$ ) изученных участков песчаного раздува представлены в таблице 11 и на рисунке 22.

Таблица 11

Удельное дыхание почв ( $q\text{CO}_2$ ) изученных участков песчаного раздува

[составлено автором]

Участок	$q\text{CO}_2$		
	Mean	Std.Dev.	Stand.Error
«Песок»	0,588	0,400	0,200
«Полигон»	0,181	0,015	0,007
«Переход»	0,231	0,024	0,012
«Анклав»	0,194	0,033	0,017

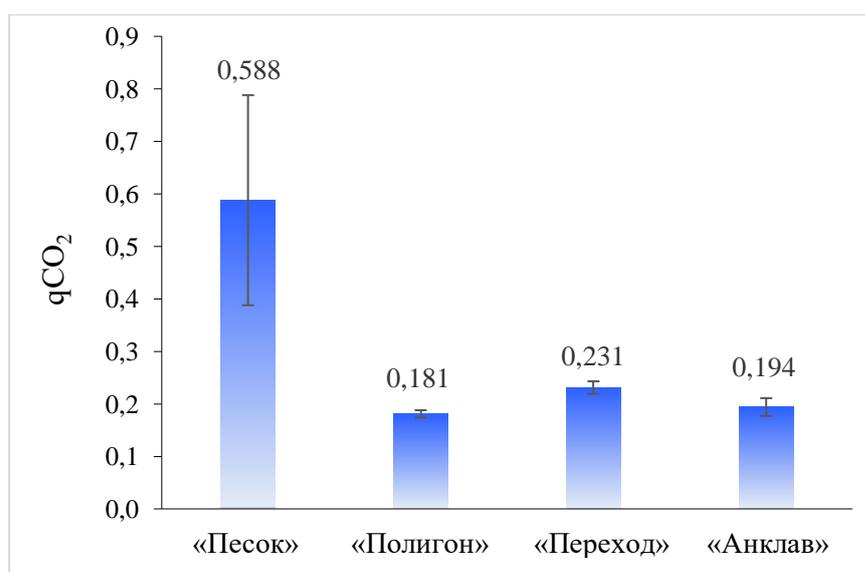


Рис. 22. График удельного дыхания почв ( $q\text{CO}_2$ ) изученных участков песчаного раздува

Описание полученных показателей  $q\text{CO}_2$  проводилось на основе подхода, разработанной Благодатской с соавт. [Благодатская, Ананьев, Мякшина, с. 208]. Согласно Благодатской Е.В., величина  $q\text{CO}_2$  в интервале 0,1-0,2 свидетельствует о благоприятном состоянии почвенного микробного сообщества. Значения  $q\text{CO}_2$  менее 0,1 отражают недостаток питательных веществ в почве, величины, превышающие 0,2-0,3, свидетельствуют о неблагоприятных климатических или антропогенных воздействиях на почву. Высокие (близкие к 1,0 и выше) значения  $q\text{CO}_2$  указывают на интенсивное разложение органического вещества и нарушение стабильности почвенных биоценозов.

Так, согласно данному подходу, большая часть территории естественного песчаного эолового раздува около города Надым характеризуется благоприятным состоянием почвенного микробного сообщества (коэффициент  $q\text{CO}_2$  составляет 0,1-0,2) за исключением полностью лишенных растительности покрова наветренных склонов дюн (коэффициент  $q\text{CO}_2$  на участке «песок» составляет 0,6).

Тенденция к постепенному снижению значений  $q\text{CO}_2$  в сукцессионном ряду наветренный склон дюны – полигоны – переходная зона – анклав может свидетельствовать о возрастании эффективности использования субстрата микроорганизмами по мере формирования почв на песчаном субстрате.

#### 4.1. ОЦЕНКА ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПЕСЧАНЫХ СУБСТРАТОВ В НАДЫМСКОМ И ТЮМЕНСКОМ РАЙОНАХ

Интенсивность микробиологической активности почв является одним из информативных показателей экофизиологического состояния почв. Считается, что данный показатель в сочетании с другими является показателем «качества» почвы. Ранее установлено, что целлюлозолитическая активность почв связана с влажностью почвы и разнообразием геоботанического состава живого напочвенного покрова [Елисеева, с. 288; Хазиев, с 82].

Процент убыли массы льняного полотна (целлюлозолитическая активность), характеризующий интенсивность ферментативной активности почв, на участках «анклав» и «переход» естественного песчаного эолового раздува в районе города Надым представлен на рисунке 23.

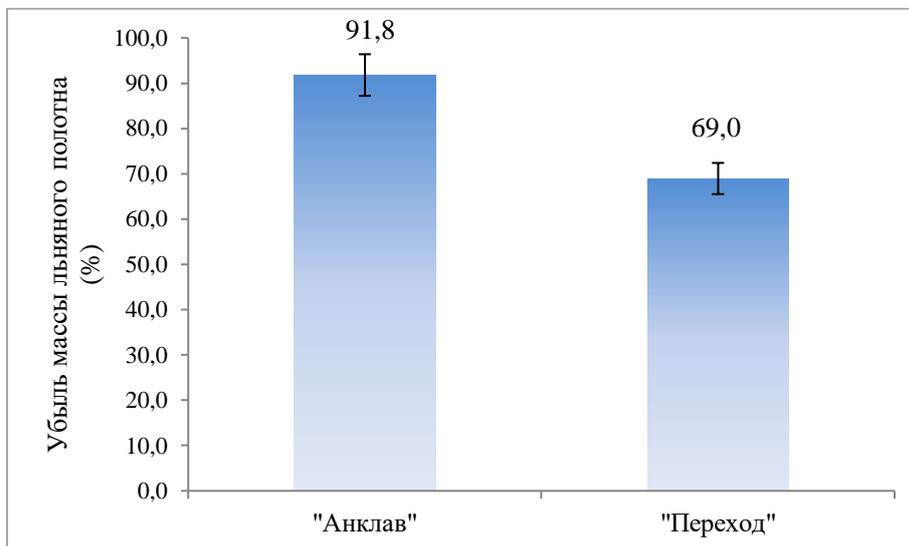


Рис. 23. График убыли массы льняного полотна (%) на изученных участках песчаного раздува в районе города Надым

Результаты статистической обработки данных и достоверность полученных результатов представлены в таблицах 12 и 13 соответственно.

Таблица 12

Убыль массы льняного полотна на изученных участках песчаного раздува в районе города Надым (%) [составлено автором]

Участок	Убыль массы льняного полотна (%)		
	Mean	Std.Dev.	Stand.Error
«Переход»	91,81	8,81	1,62
«Анклав»	68,95	5,55	2,44

Достоверность различий средних значений убыли массы льняного полотна (%) на изученных участках модельного раздува в районе города Надым по t-критерию Стьюдента [составлено автором]

	«Анклав»	«Переход»
«Анклав»	-	4,25**
«Переход»	-	-

Достоверно при: \*\* $P < 0,01$

Оценку интенсивности разложения клетчатки проводили по методике, предложенной Д.Г. Звягинцевым (1980) [Звягинцев, с. 134]. Согласно данной шкале оценки, участок «анклав» характеризуется очень сильной степенью разложения клетчатки (>80%), а участок «переход» – сильной степенью разложения клетчатки (50-80%). Это объясняется тем, что участок «анклав» характеризуется большим проективным покрытием почвы в сравнении с участком «переход», что определяет интенсивность разложения клетчатки.

Процент убыли массы льняного полотна на участках магистрального нефтепровода Усть-Балык – Альметьевск представлен на рисунке 24.

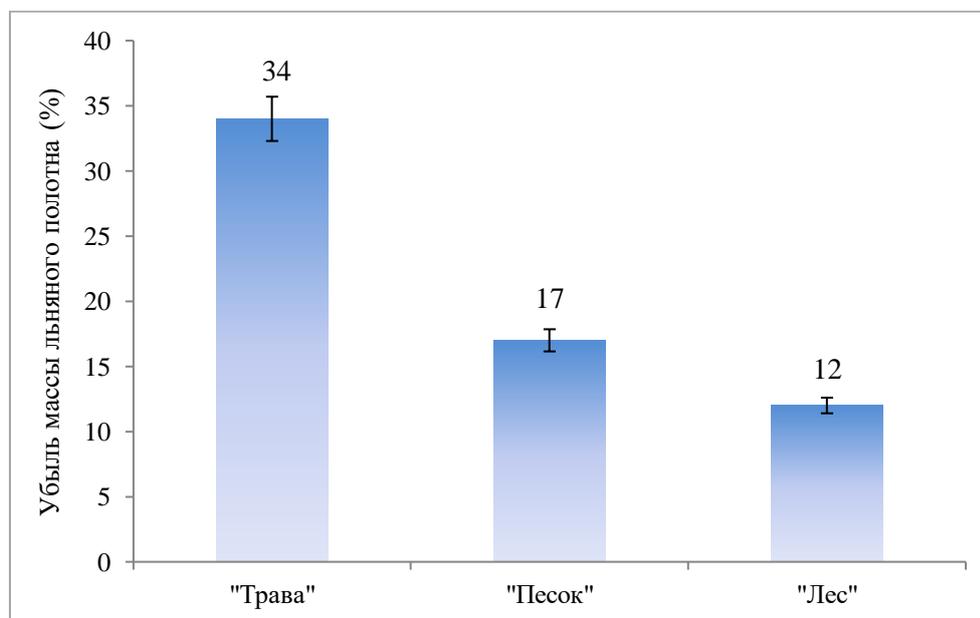


Рис. 24. График убыли массы льняного полотна (%) на изученных участках магистрального нефтепровода Усть-Балык – Альметьевск

Результаты статистической обработки данных и достоверность полученных результатов представлены в таблицах 14 и 15 соответственно.

Таблица 14

Убыль массы льняного полотна на изученных участках магистрального нефтепровода Усть-Балык – Альметьевск (%) [составлено автором]

Участок	Убыль массы льняного полотна (%)		
	Mean	Std.Dev.	Stand.Error
«Песок»	16,49	6,86	2,17
«Трава»	35,92	5,52	2,75
«Лес»	10,89	6,05	1,91

Таблица 15

Достоверность различий средних значений убыли массы льняного полотна (%) на изученных участках магистрального нефтепровода Усть-Балык – Альметьевск (по t-критерию Стьюдента) [составлено автором]

	«Песок»	«Трава»	«Лес»
«Песок»	-	6,062*	Не достоверно
«Трава»	-	-	8,53*
«Лес»	-	-	-

Достоверно при: \* $P < 0,001$

Согласно шкале оценки интенсивности разложения клетчатки Д.Г. Звягинцева (1980), участки «песок» и «лес» характеризуются слабой степенью разложения клетчатки (10-30%), а участок «трава» характеризуется средней степенью разложения клетчатки (30-50%). Это объясняется тем, что участок «трава» имеет самое плотное проективное покрытие почвы (около 80%). Данное условие стимулирует активность микробиологических сообществ, что усиливает интенсивность разложения целлюлозы.

Нами были проведены эксперименты по определению зависимости ферментативной активности почв от полной полевой влагоемкости (ППВ) субстратов песчаного раздува в районе города Надым (участки «анклав» и «переход») и в Тюменском районе в районе магистрального нефтепровода (участки «песок», «трава», «лес»). Результаты представлены на рисунках 25-26.

На участках с наибольшими значениями полной полевой влагоемкости отмечается наибольший процент убыли массы льняного полотна. Данные результаты являются статистически значимыми и достоверными.

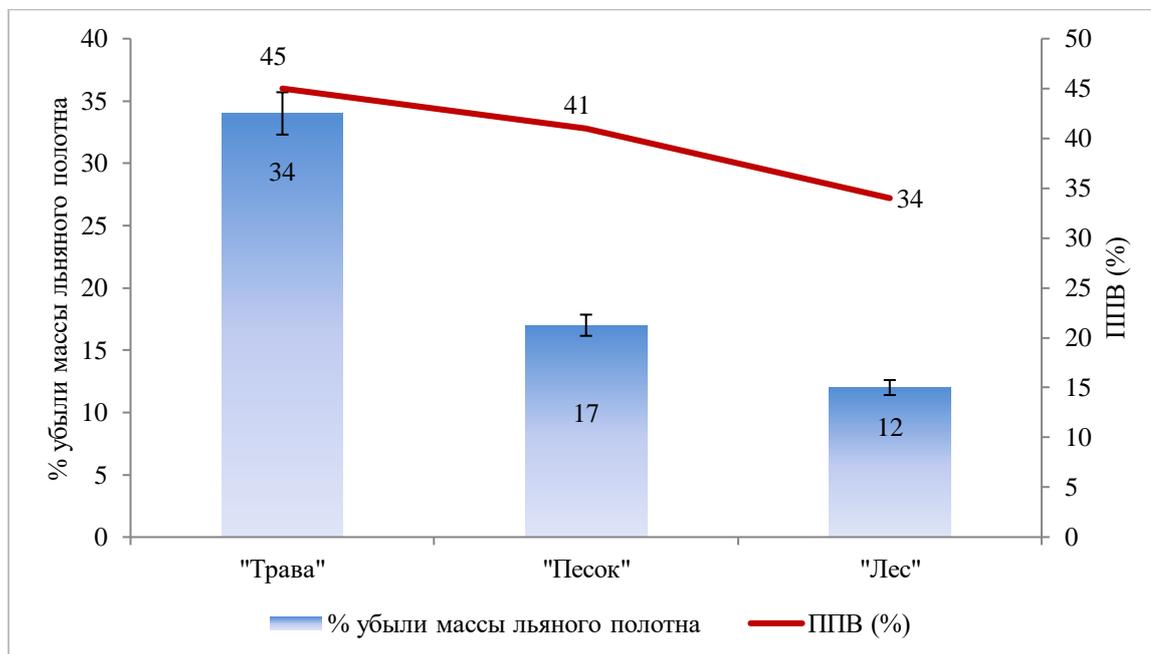


Рис. 25. График зависимости убыли массы льняного полотна (%) от ППВ (%) на участках магистрального нефтепровода

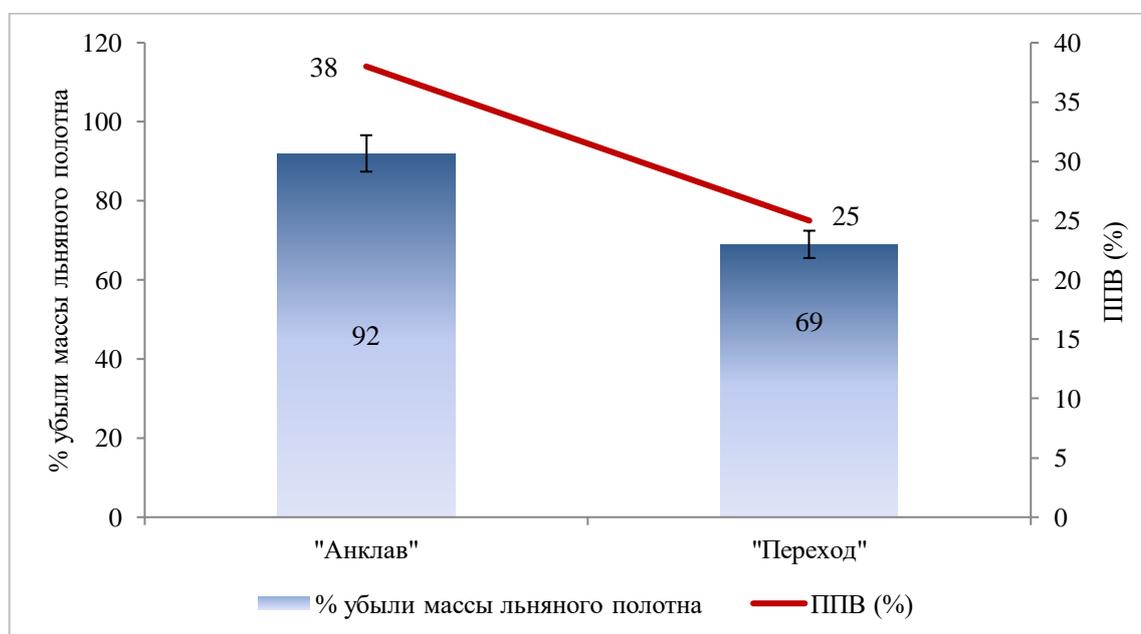


Рис. 26. График зависимости убыли массы льняного полотна (%) от ППВ (%) на песчаном раздуве в районе города Надым

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что ферментативная (целлюлозолитическая) активность песчаных субстратов в Надымском и Тюменском районах имеет тесную связь с полной полевой влагоемкостью почв и обилием напочвенного растительного покрова. Это доказывает зависимость интенсивности ферментативной активности почв от биологических (обилие растительного покрова) и почвенно-физических факторов (полная полевая влагоемкость).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования были сформированы следующие выводы:

1. Интенсивность почвенного дыхания отражает совокупность всех природно-климатических факторов, от которых зависит состояние почвенной биоты и активность биологических процессов. Наибольшее влияние на интенсивность дыхания почв и её ферментативную активность оказывают биологические и почвенно-физические факторы, наряду с антропогенным воздействием. Интенсивность почвенного дыхания, являющаяся следствием микробиологической активности почвы, характеризует функциональное состояние и устойчивость экосистемы в целом и является показателем экологического благополучия изучаемой территории.
2. Наиболее экспрессным методом оценки содержания микробной биомассы почв является метод субстрат-индуцированного дыхания (СИД). Метод аппликаций позволяет оценивать активность разложения клетчатки в различных экотопах.
3. На территории Надымского района вследствие избыточного увлажнения, малой теплообеспеченности территории и наличия многолетнемерзлых пород, наблюдается короткий вегетативный период и относительно позднее его наступление, что может являться причиной нарушения активности почвенной биоты и снижения дыхательной активности субстратов изучаемой территории. На территории Тюменского района наблюдаются благоприятные природно-климатические условия для жизнедеятельности почвенных организмов, что может способствовать интенсивной микробиологической активности почв.
4. Самые высокие значения дыхательной активности почв на песчаных субстратах естественного эолового раздува в районе города Надым характерны для участков с восстановившейся растительностью («анклав»

и «переход»), что может быть обусловлено обогащенностью почв органическим веществом растительных остатков. На морозобойных полигонах и наветренных склонах дюн (участки «полигон» и «песок»), полностью лишенных высших растений, значения дыхательной активности минимальны.

5. Большая часть территории естественного песчаного эолового раздува в районе города Надым характеризуется благоприятным состоянием почвенного микробного сообщества (коэффициент  $qCO_2$  составляет 0,1-0,3) за исключением полностью лишенных растительности покрова наветренных склонов дюн, где удельное микробное дыхание снижено.
6. Оценка ферментативной активности субстратов в районе нефтепровода Усть-Балык – Альметьевск показала, что песчаные субстраты данной территории характеризуются слабой (участки «песок» и «лес») и сильной (участок «трава») степенью разложения целлюлозы (15-20%). Песчаные субстраты естественного песчаного эолового раздува около города Надым характеризуются сильной и очень сильной степенью разложения целлюлозы на участках «переход» и «анклав» соответственно (более 80%).
7. Целлюлозолитическая активность песчаных субстратов изученных территорий имеет наибольшие значения на участках с большим проективным покрытием, что указывает на зависимость ферментативной активности песчаных субстратов в Надымском и Тюменском районах от обилия растительного покрова.
8. Ферментативная активность песчаных субстратов изученных территорий Надымского и Тюменского районов зависит от полной полевой влагоемкости почвы: на песчаных субстратах нефтепровода Усть-Балык – Альметьевск и на естественном песчаном эоловом раздуве в районе города Надым максимальная степень разложения целлюлозы наблюдалась на заросших травянистой растительностью участках с

максимальными значениями полной полевой влагоемкости почвы (участки «травя» и «анклав» соответственно).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

## Литературные источники

1. Alef K. Methods in applied soil microbiology and biochemistry // Alef K., Nannipieri P. (Eds.). Academic Press. 1995. P. 214-224.
2. Anderson J.P.E., Domsch K.H.A. Physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. №3. P. 209-221.
3. Bekku Y., Koizumi H., Oikawa T., Iwaki H. Examination of four methods for measuring soil respiration // Soil Ecology. V. 5. 1997. p. 247–254.
4. Borken W., Xu Y.J., Davidson E.A. Site and temporal variation of soil respiration in European Beech, Norway spruce, and Scots pine forests // Global Change Biology. V. 8. 2002. P. 12-28.
5. Brookes P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals // Biology and Fertility of Soil. 1995. V. 19. P. 269-271.
6. Bowden R.D., Nadelhoffer K.J., Boone R.D., Melillo J.M., Garrison J.B. Contributions of above ground litter, below ground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest // Can J For Res. 1993. V. 23. P. 1404-1422.
7. Doran J.W., Zeiss M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality // Applied Soil Ecology. 2000. V. 15. P. 6-17.
8. Joost A. Keuskamp, Bas J. J. Dingemans, Taru Lehtinen, Judith M. Sarnee, Mariet M. Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems / Methods in Ecology and Evolution. 2013. P. 1-6.
9. Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security // Science. 2004. V. 304. P. 1623-1627.
10. Lin Q., Brookes P.C. Comparison of substrate-induced respiration, selective inhibition measurements of microbial biomass and its community structure in unamended // Soil BioBiochem. 1999. V. 31. N. 14. P. 1999-2014.

11. Ryan, M.G., Melillo, J.M. & Ricca, A. A comparison of methods for determining proximate carbon fractions of forest litter. *Canadian Journal of Forest Research*. 20. 1990. P. 468-491.
12. Sparling G.P., West A.W. A comparison of gas chromatography and differential respirometer to measure soil respiration and to estimate the soil microbial biomass // *Pedobiologia*. 1990. V. P. 103-112.
13. Yuste J.C., Nagy M., Janssens I.A., Carrara A., Ceulemans R. Soil respiration in a mixed temperate forest and its contribution to total ecosystem respiration. *Tree Physiol*. 25. P. 609-619.
14. Абросимова Л.Н. Гистерезис и температурные зависимости процессов газообмена CO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> в почве // *Почвоведение*. 1979. №6. с. 88-96.
15. Атлас Тюменской области / Отв. ред. И.П. Заруцкая. М. – Тюмень, 1971. С. 171.
16. Бакулин В.В. География Тюменской области / Учебное пособие / В.В. Бакулин, В.В. Козин. Екатеринбург.: Средне-Уральское книжное издательство, 1996. 240 с.
17. Басов Ю.В. Изучение фитотоксичности ионов свинца на модельных системах // *Вестник ОрелГАУ*. №4, 2012. С. 59-71.
18. Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д., Мякшина Т.Н. Характеристика состояния микробного сообщества почвы по величине метаболического коэффициента // *Почвоведение*. №2, 1995. С. 205-210.
19. Бызова Ю.Б. Роль беспозвоночных животных в формировании состава почвенного воздуха // *Роль организмов в газообмене почв* / Под ред. Б.Г. Розанова. М: Изд-во МГУ, 1986. с. 27-40.
20. Васильевская В.Д., Иванов В.В., Богатырев Л.Г. Почвы севера Западной Сибири. – М.: Изд-во МГУ, 1986. 228 с.
21. Вершинин А.А. Коэффициент микробного дыхания различных типов почв в условиях нефтяного загрязнения / Вершинин А.А., Петров А.М., Юранец-Лужаева Р.Ч. *Вестник технологического университета*. Том 20. №4, 2017. С. 103.

22. Гаджиев И.М. Эволюция почв южной тайги Западной Сибири / Под ред. Р.В. Ковалева. Новосибирск: Наука, 1982. С. 280.
23. Гвоздецкий Н.А. Физико-географическое районирование СССР / Н.А. Гвоздецкий. М.: МГУ, 1968. С. 76.
24. ГОСТ 28268-89. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений: дата введения 1990-06-01. Москва: Стандатинформ. 2006. С. 2-3.
25. Добровольский Г.В., Шерemet Б.В., Афанасьева Т.В., Палечек Л.А. Почвы. Энциклопедия природы России. М.: АБФ, 1998. 368 с.
26. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д., Афанасьев Т.В. Таежное почвообразование в континентальных условиях. М.: Изд-во МГУ, 1981. 216 с.
27. Евдокимова Т.И., Борзова Т.Ф. О биологической активности орошаемого и неорошаемого чернозема южного Кулундинской степи // Почвоведение. №4, 1991. С. 155-161.
28. Елисеева М.В. Биологическая активность почв асимметричных склонов степного Предуралья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 20. № 5(2), 2018. С. 287-293.
29. Западная Сибирь / отв. ред. Г.Д. Рихтер. – М.: Издательство Академии наук, 1963. 488 с.
30. Иваненко А.С. Агроклиматические условия Тюменской области / А.С. Иваненко. О.А. Кулясова. Тюмень: изд-во ТГСХА, 2008. 206 с.
31. Иващенко К.В. Обилие и дыхательная активность микробного сообщества почвы при антропогенном преобразовании наземных экосистем: специальность 03.02.03 Микробиология: дис. канд. биол. наук. Пущино, 2017. 205 с.
32. Караваева Н.А. Почвы тайги Западной Сибири. М.: Наука, 1973. 168 с.
33. Карелин Д.В., Горячкин С.В., Замолотчиков Д.Г., Долгих А.В., Зазовская Э.П., Шишков В.А. Влияние местных антропогенных факторов на почвенную эмиссию биогенных парниковых газов в криогенных

- экосистемах. Том 77. № 3. Май-июнь, 2016. С. 167–181.
34. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области / Л.Н. Каретин. Новосибирск: Наука Сиб. отд-ние, 1990. 286 с.
  35. Классификация и диагностика почв СССР / Составители: Егоров В.В., Фридланд В.М., Розов Н.Н. М.: Колос, 1977. 224 с.
  36. Коронатова Н.Г. Развитие почвенно-растительного покрова на песчаных карьерах в северной тайге Западной Сибири. Новосибирск, 2004. 167 с.
  37. Лёзин В.А. Реки и озёра Тюменской области / В.А. Лёзин. М.: МГУ, 1995. 300 с.
  38. Лёзин В.А. Водные ресурсы рек и озёр Тюменской области. Вестник ТюмГУ, выпуск №12, 2011, с. 62-69.
  39. Лёзин В.А. Реки Ямало-Ненецкого автономного округа. Справочное пособие. Издательство «Вектор Бук». Тюмень, 2000. 142 с.
  40. Лоботросова С.А. Восстановление растительности на эоловых формах рельефа в северной тайге Западной Сибири // Криосфера Земли. т. XVIII, № 1, 2014. с. 83-87
  41. Лукин С.М. Эмиссия углекислого газа в агроценозах картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве / Земледелие. № 3-4, 2015. С. 74.
  42. Махныкина А.В., Прокушкин А.С., Ваганова Е.А., Верховец С.В., Рубцов А.В. Динамика потоков CO<sub>2</sub> с поверхности почвы в сосновых древостоях Средней Сибири // Махныкина А.В, и др., Биология. №9, 2016. С. 338-357.
  43. Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Микроорганизмы и плодородие почв». Саратов. 2016. 30 с.
  44. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. О.Г. Звягинцева. М.: Изд. МГУ, 1991. 291 с.
  45. Мильков Ф.Н. Природные зоны СССР / Ф.Н. Мильков. М. : Мысль, 1977. 296 с.
  46. Мирчинк Т.Г., Паников Н.С. Современные подходы к оценке биомассы и продуктивности грибов и бактерий в почве // Успехи микробиологии. № 20, 1985. С. 198-226.

47. Наумов А.В. Дыхание корневых систем / Наумов А.В. Ботанический журнал. Том 66. №8. 1981, с. 1099-1114
48. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Н.: Изд-во СО РАН, 2009. 208 с.
49. Оллсон Р. Бореальные леса и изменение климата // Устойчивое лесопользование №3 (32), 2012. С. 43.
50. Остроумов В.Е., Буценко А.Н. Инертность эмиссии углекислого газа почвами в атмосферу // Сборник научных трудов: дыхание почв / под общ. ред. Г.А. Заварзин. Пушино: ПНЦ РАН, 1993. С. 103-114.
51. Почвенно-географическое районирование СССР / Отв. ред. Летунов П.А. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 424 с.
52. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / ред. Кудеяров В.Н, Заварзин Г.А., Благодатский С.А.. М.: Наука, 2007. 315 с.
53. Растительный покров Западно-Сибирской равнины / И.С. Ильина, Е.И. Лапшина, Н.Н. Лавренко и др. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1985. 250 с.
54. Сафонов Ю. С. Эоловые формы рельефа верхнечетвертичных отложений надымского Приобья – морфология, генезис, динамика: специальность 05.04.06. Экология и природопользование: маг. Тюмень, 2020. 71 с.
55. Смагин А.В., Шоба С.А., Макаров О.А. Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г. Москвы) / Под ред. С.А. Шобы. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2008. 19 с.
56. Стольникова Е.В., Ананьева Н.Д., Чернова О.В. Микробная биомасса, ее активность и структура в почвах старовозрастных лесов Европейской территории России // Почвоведение. № 4, 2011. С. 479-494.
57. Суховеева О.Э. Оценка дыхания лесной почвы с использованием методов статистического и имитационного моделирования / Суховеева О.Э., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., География. Геология. Том 4 (70). №1. 2008, с. 151-155.
58. Титова В.И., Дабахова Е.В., Дабахова М.В. Агро- и биохимические методы

- исследования состояния экосистем // Биохимия. Н. Новгород, 2011. 169 с.
59. Трофименко П.И. Интенсивность дыхания почв левобережного полесья Украины в условиях агроценоза / Трофименко П.И., Борисов Ф.И., Трофименко Н.В. Почвоведение и агрохимия. №2 (55), 2015. С. 63.
60. Хазиев Ф.Х. «Экологические связи ферментативной активности почв» // Экобиотех. Том 1. № 2., 2018. С. 80-92.
61. Хозяинова Н.В. Флора и растительность Северной тайги Пуровского района Тюменской области (Север Западной Сибири). // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения, 2008. С. 27-41.
62. Хренов В.Я. Почвы Тюменской области / В.Я. Хренов. Екатеринбург: УрФО РАН, 2002. 156с.
63. Чупахина Г.Н.. Физиологические и биохимические методы анализа растений: Практикум / Калинингр. ун-т; Авт.-сост. Г.Н. Чупахина. Калининград, 2000. С. 59.
64. Южные черноземы северного Казахстана: изменение их природных свойств при окультуривании / Под ред. У.У. Успанова. Алма-Ата: Наука КазССР, 1974. 232 с.

#### Интернет-источники

65. Instruction Manuals [Сайт], 2018. URL: <https://www.licor.com/env/support/LI-820/manuals.html> (дата обращения: 27.04.2020).
66. Tea time 4 science project [Сайт], 2017. URL: <http://www.teatime4science.org/wp-content/uploads/poster-julia-niemeyer.jpg> (дата обращения: 29.04.2020).
67. [www.world-weather.ru](http://www.world-weather.ru) [Сайт], 2021. URL: [www.world-weather.ru](http://www.world-weather.ru) (дата обращения: 15.05.2020).
68. Газоанализаторы Li-cog и системы изучения атмосфера [Сайт], 2018. URL: <https://labinstruments.ru/equipment-gazoanalizatory> (дата обращения: 27.04.2020).

69. Ямало-Ненецкий автономный округ [Сайт], 2018. URL: <https://www.yanao.ru/region/> (дата обращения: 10.04.2020).

Материалы опыта по определению целлюлозолитической активности субстратов



Рис. 1. Образец ткани №1





76

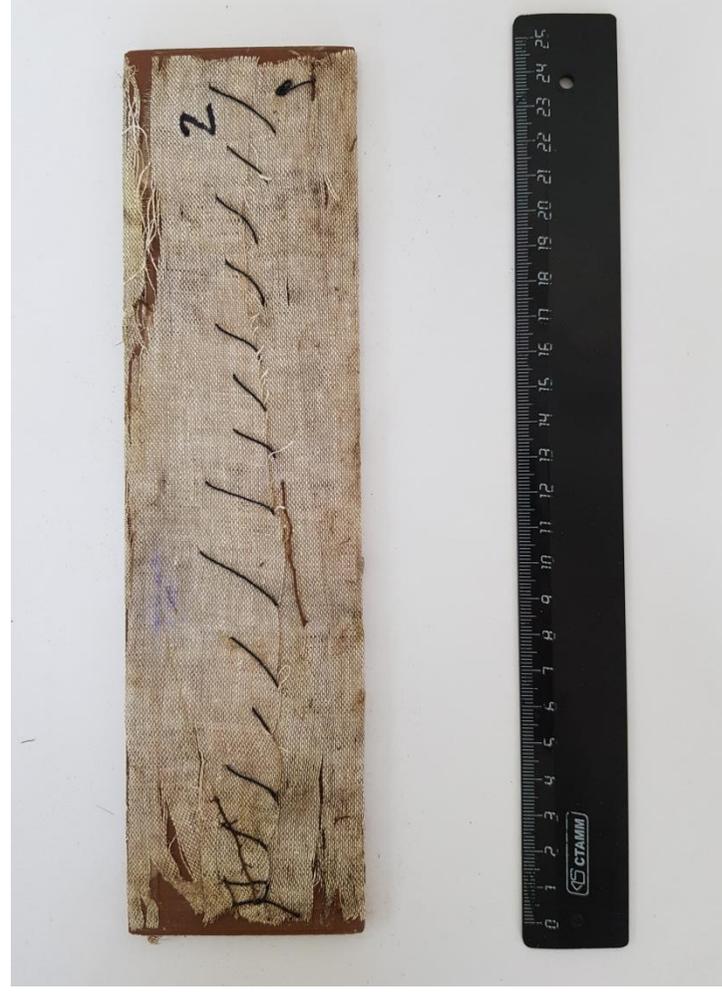


Рис. 2. Образец ткани №2





79



Рис. 3. Образец ткани №3



Рис. 4. Образец ткани №12



Рис. 5. Образец ткани №15



Рис. 6. Образец ткани №16



Рис. 7. Образец ткани №19