



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

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему Влияние различных доз биоугля на биологическую активность дерново-подзолистой почвы

Исполнитель \_\_\_\_\_ Пигалева Елена Михайловна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель \_\_\_\_\_ кандидат биологических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Рижия Елена Яновна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_   
(подпись)

\_\_\_\_\_ кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Дроздов Владимир Владимирович  
(фамилия, имя, отчество)

«\_\_» «\_\_\_\_\_» 2022 г.

Санкт-Петербург,  
2022

## СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. Биогеохимический цикл углерода и биологическая активность .....	6
1.1. Биогеохимический цикл углерода. ....	6
1.2. Биологическая активность почв .....	8
1.3. Эмиссия CO <sub>2</sub> с поверхности различных почв России за вегетационный период .....	9
ГЛАВА 2. Биоуголь.....	13
2.1. Технологии получения биоугля.....	14
2.2. Отходы от производства продуктов из яблок.....	17
2.2.1. Пектин из яблочных отходов.....	18
2.2.2. Получение яблочного порошка из яблочных отходов .....	19
ГЛАВА 3. Объекты .....	20
3.1. Почва.....	20
3.2 Биоуголь.....	23
3.3. Закладка лабораторного эксперимента .....	24
ГЛАВА 4. Методы.....	26
4.1 Химические свойства почвы.....	26
4.2 Биологические свойства почвы: .....	26
ГЛАВА 5. Полученные результаты.....	29
5.1 Базальное дыхание почвы при различных дозах биоугля.....	29
5.2 Субстрат-индуцированное дыхание почвы при различных дозах биоугля .....	33
5.3. Углерод микробной биомассы в почве с различными дозами биоугля ...	37
5.4. Коэффициент микробного дыхания в почве с различными дозами биоугля.....	40
5.5 Эмиссия C-CO <sub>2</sub> в почве с различными дозами биоугля.....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	54
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	57

## СОКРАЩЕНИЯ

CO <sub>2</sub>	Диоксид углерода
ОС	Окружающая среда
БА	Биологическая активность
ТМ	Тяжелые металлы
СИД	Субстрат-индуцированное дыхание
БД	Базальное дыхание
К	Контроль – пар
ВОК	Высококультуренная почва
СОК	Среднекультуренная почва
ПФД	Пламенно-фотометрический детектор

## ВВЕДЕНИЕ

Показатели биологического состояния почв играют существенную роль в экологической оценке земель нашей планеты. Микроорганизмы, обладая большим видовым разнообразием и исключительной чувствительностью к воздействию различных агротехнических приемов, в частности, таких как внесение различных видов и доз мелиорантов и удобрений, могут служить хорошими индикаторами состояния экосистемы [13]. В качестве основы биологических индикаторов часто используются: базальное дыхание почвы, содержание углерода биомассы микроорганизмов, микробиологическую активность, отношение микробного углерода к общему содержанию углерода в почве, метаболическое частное –  $qCO_2$  и эмиссия  $CO_2$  [14].

Наблюдаемое изменение климата сопряжено с необратимыми последствиями для окружающей среды и несет риски обеспечения безопасности и устойчивого развития [9]. Для минимизации этих рисков научное мировое сообщество ищет способы по снижению углеродного следа и предлагает различные отходы лесного и сельского хозяйства конвертировать в биоуголь [27]. Получают данный продукт из органической биомассы пиролизным способом без доступа кислорода. Особое внимание уделяется отходам деревообработки, сельскохозяйственным отходам, иловым осадкам, хранение которых в течение длительного времени может нарушить экологическое состояние среды, особенно при сжигании открытым способом [21].

Процесс пиролиза удваивает содержание углерода в исходном материале и переводит этот углерод в устойчивые ароматические соединения. Минерализация биоугля в почве происходит медленно. Секвестрация органического углерода (до десятков и сотен лет) в почве существенно снижает скорость, с которой поглощённый растениями в ходе фотосинтеза углерод возвращается в атмосферу [24].

К настоящему времени накоплен достаточно большой объем зарубежных исследований по влиянию различных биоуглей на свойства почв,

оказывающий положительное влияние на физические, химические и биологические параметры, включая рост и развитие растений, снижение антропогенной эмиссии парниковых газов [30;15].

Однако, до настоящего времени не разработано ни нормативно-правовой базы, ни ГОСТов для биоугля. Чтобы такие стандарты разработать, их нужно обосновать полевыми и лабораторными исследованиями. Отсутствуют данные по исследованиям биоугля из отходов агропромышленного комплекса, например, из яблочного или кофейного жмыха, фруктовых косточек, поэтому данные исследования являются актуальными, так же требуется уделить внимание обоснованию применения различных доз. Для изучения влияния биоугля из яблочного жмыха на биологические свойства почв, был инициирован лабораторный эксперимент.

Цель работы – количественная оценка биологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха.

Задачи:

1. Изучить влияние различных доз биоугля на базальное и субстрат-индуцированное дыхание почв
2. Рассчитать содержание углерода микробной биомассы и метаболического частного в почве при различных дозах биоугля
3. Исследовать динамику эмиссии диоксида углерода из почвы с разными дозами биоугля

## ГЛАВА 1. Биогеохимический цикл углерода и биологическая активность

### 1.1. Биогеохимический цикл углерода.

Комплекс процессов, в ходе которых происходит перенос углерода между абиотической средой живыми организмами нашей планеты называется биогеохимическим. К числу наиболее интенсивных круговоротов из всех известных, в котором наблюдается высокая скорость обмена между живой и неживой природой относится цикл углерода.

Главный источник углерода в биосфере, из которого этот элемент усваивается живыми организмами для синтеза органического вещества, является атмосфера. Углерод хранится в атмосфере, в форме диоксида  $\text{CO}_2$ . Часть атмосферного углерода входит в состав других газов –  $\text{CO}$  и разного рода углеводородов, прежде всего метана  $\text{CH}_4$ . В кислородной среде эти углеводороды нестабильны, поэтому они вступают в химические связи с образованием  $\text{CO}_2$ . Общее накопление углерода в атмосфере составляет: двуокиси углерода 0,046%, а метана 0,00012%. Среднее содержание в земной коре – 0,35%, в живом веществе – около 18% [7].

Углерод поступает в почву в основном в процессе разложения опада и может служить стоком углекислого газа в течение сотен лет. При этом следует учитывать, что в гумус превращается не весь углерод, поступающий в почву. Примерно половина этого гумуса быстро вовлекается в биологические процессы, составляя лабильный гумус. Другая часть уходит в резервуар с длительным временем пребывания углерода. Экспериментально определённый возраст гумуса может составлять до 1000 лет [7]. Возвращение углерода в окружающую среду возможно 2 способами. Первый способ — это в процессе дыхания. Главная роль процесса дыхания состоит в использовании живыми организмами окислительных химических реакций, которые снабжают энергией организмы для физиологических процессов. Окисление органических соединений, для которого используется атмосферный или растворённый в воде кислород, имеет результатом разложение сложных

органических соединений с образованием  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . В итоге углерод в составе  $\text{CO}_2$  возвращается в атмосферу, и одна ветвь круговорота замыкается.

Второй способ возвращения углерода в окружающую среду, это разложение органического вещества. Процесс проходит в условиях биосферы при кислородной среде. В результате продуктами разложения являются  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

Роль углерода в биосфере наглядно иллюстрируется схемой его круговорота (рис. 1)

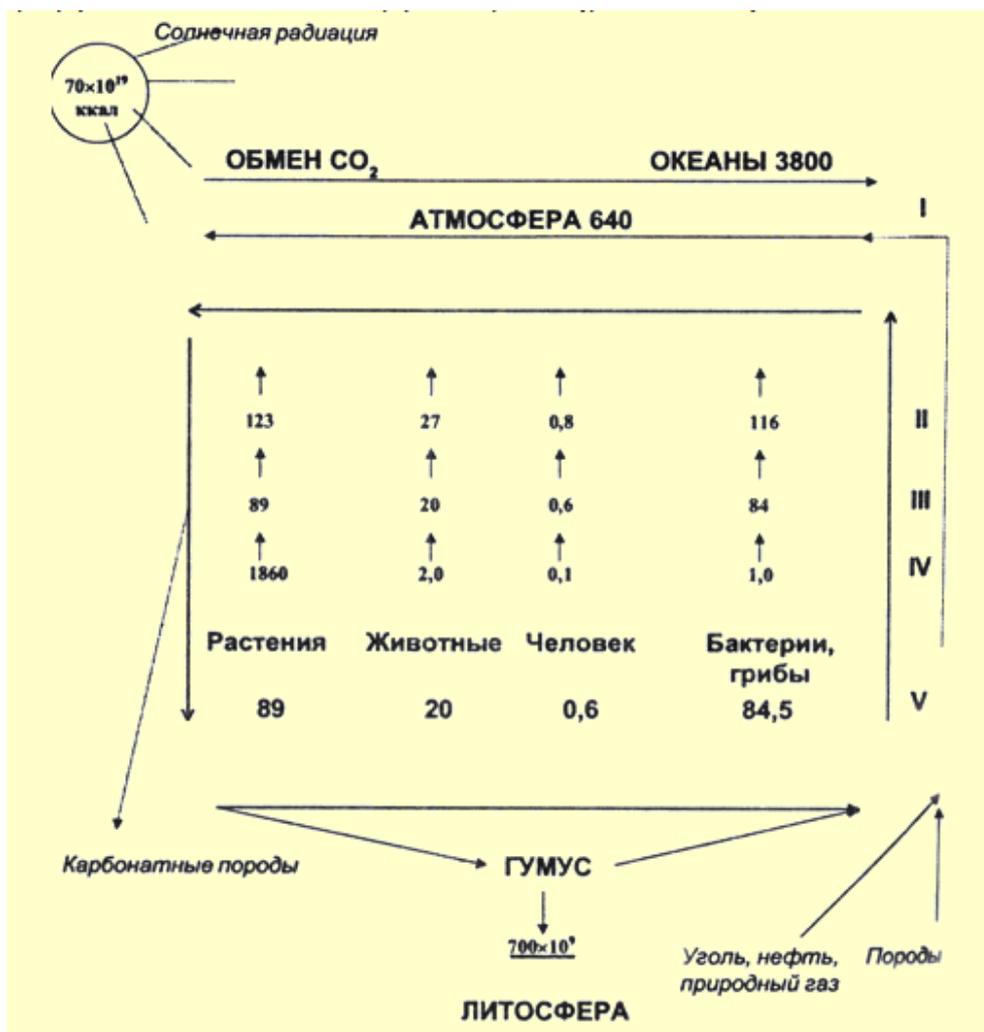


Рисунок 1- Роль углерода в биосфере [7].

Из этой схемы наглядно видно, что растения, используя механизм фотосинтеза, выполняют функцию продуцентов кислорода и являются основными потребителями углекислого газа. Однако, цикл биологического

круговорота углерода не замкнут. Что очень важно, в том числе, и для нас. Этот элемент нередко выводится из геохимического круговорота на длительный срок в виде карбонатных пород, торфов, сапропелей, углей, гумуса.

Хранители углерода – это живая биомасса, гумус, известняки и каустобиолиты. Естественными источниками углекислого газа, кроме вулканических эксгаляций, являются процессы разложения органического вещества, дыхание животных и растений, окисление органических веществ в почве и других природных средах. Техногенная углекислота составляет  $20 \times 10^9$  т, что пока намного меньше, чем естественное ее поступление в атмосферу. Цикл углерода, входящего в состав гумуса почв оценивается в 300-400 лет. Хозяйственная деятельность человека интенсифицирует биологический круговорот углерода и может способствовать повышению первичной, а, следовательно, и вторичной продуктивности. Но дальнейшая интенсификация техногенных процессов и может сопровождаться повышением концентрации двуокси углерода в атмосфере. Повышение концентрации углекислоты до 0,07% резко ухудшает условия дыхания человека и животных. Расчеты показывают, что при условии сохранения современного уровня добычи и использования горючих ископаемых потребуется чуть больше 200 лет для достижения такой концентрации углекислого газа в атмосфере Земли. В отдельных крупных городах эта угроза вполне реальна уже сейчас [7]

## 1.2. Биологическая активность почв

Биологическая активность – это интенсивность всех биологических процессов, протекающих в почве, т.е. совокупность биологических и биохимических процессов, связанных с жизнедеятельностью почвенной фауны, микрофлоры почвы и корней растений. В качестве показателей биологической активности используются численность и биомасса разных групп почвенной биоты, их продуктивность, ферментативная активность почв,

активность основных процессов, связанных с круговоротом элементов, количество и скорость накопления продуктов жизнедеятельности почвенных организмов. Все эти показатели очень чувствительны, что позволяет их использование в качестве объектов раннего диагностирования необратимых изменений в среде.

Биологическую активность разделяют на потенциальную и активную. Потенциальная характеризует оптимальную динамику процесса и измеряется в искусственных условиях. Потенциальная активность может свидетельствовать о возможном плодородии почв. Активная же показывает реальную активность процессов в естественных условиях. На нее влияют как естественные показатели такие как pH, температура и влажность, так и антропогенные такие как загрязнение.

1. Наиболее распространённым показателем биологической активности является целлюлозоразлагающая активность. Однако она не коррелирует с общим разложением органических веществ, так как поступающий в почву опад состоит из смеси различных соединений, таких как: лигнин, пектиновые вещества, гемицеллюлоза. Тогда как большинство микроорганизмов весьма избирательны в выборе разлагаемых соединений и их групп. Таким образом, биологическая активность является важным, но достаточно трудноопределимым показателем качества почв [2].

1.3. Эмиссия CO<sub>2</sub> с поверхности различных почв России за вегетационный период

Эмиссия углекислого газа, это процесс выделения CO<sub>2</sub> с поверхности почвы в атмосферу. Как правило при оценке дыхания почв, оценивается полная эмиссия CO<sub>2</sub> с поверхности почвы, и одна величина независимо отображает другую. Эмиссия CO<sub>2</sub> из почвы представляет собой суммарный показатель биологической активности почвы, поэтому ее интенсивность в значительной степени следует за изменением общей численности микроорганизмов. Вклад микробной составляющей в разных экосистемах

значительно отличается и варьирует в диапазоне от 10 до 90%. Что зависит от зависит от фотосинтетической активности растений и количества поступающего в почву органического материала. В агроценозах вклад составляет примерно 30-40% [3].

Наименьшей эмиссией (менее 500 кг CO<sub>2</sub>/га) обладают очень холодные, длительно промерзающие почвы полярного пояса, представленные в основном арктотундровыми, тундровыми арктическими, горными примитивными, подбурами тундровыми, арктическими горных территорий, а также комплексами этих почв. Уровни эмиссии в 500-700 кг/га характерны для тундровых глеевых, тундрово-болотных почв, подбуров тундровых, подбуров сухоторфянистых горных провинций и их комплексов.

На Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнинах в пределах бореального пояса, где ярко выражена широтная зональность, потоки CO<sub>2</sub> (кг/га) с поверхности почвенного покрова возрастают с севера на юг и составляют для основных типов почв: 700-900 - для глееземов таежных, 900-1200 - подзолов, глееподзолистых контактно-осветленных, 1200-1500 - подзолисто- и торфяно-подзолисто-глеевых, 1500-2000 - подзолистых, дерново-подзолов, подзолистых глубоко-глееватых и глеевых, 2000-3000 - для дерново-подзолистых.

В пределах Западно-Сибирской равнины в подзонах северной и средней тайги огромные пространства заняты торфяными почвами верховых и переходных болот. Потоки CO<sub>2</sub> за вегетационный период из них колеблются от 1200 на севере региона до 3000-4000 CO<sub>2</sub> кг/га на юге [3].

В Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной области, характеризующейся четкими фаціальными особенностями формирования почвенного покрова, эмиссия CO<sub>2</sub> составляет 700-900 - из таежных глее-мерзлотных почв, 1200-1500 кг/га - из таежных мерзлотных, подбуров таежных и буро-таежных почв. Потоки углекислого газа из перегнойно-карбонатных почв на севере и дерново-карбонатных на юге составили 1200-1500 и 1500-2000 кг/га, соответственно.

В суббореальном поясе в пределах Центральной лиственно-лесной, лесостепной и степной области, расположенной в центре Евразии, сохраняются широтно-зональные закономерности формирования почвенного покрова. Эмиссия CO<sub>2</sub> из серых лесных почв, черноземов выщелоченных и оподзоленных, черноземов обыкновенных и южных оценивается в 3000-4000 кг/га за период вегетации. Черноземы типичные, лугово-черноземные почвы, темно-каштановые мицеллярно-карбонатные выделяют в атмосферу 4000-6000, черноземы обыкновенные и южные мицеллярно-карбонатные - 6000-8000 кг CO<sub>2</sub>/га

Выделение диоксида углерода с поверхности светло-каштановых и бурых пустынно-степных почв полупустынной почвенно-биоклиматической области составляет 2000-3000 и 1500-2000 кг/га, соответственно [3].

Восточная буроземно-лесная область представлена в почвенном покрове буроземами, подбелами и лугово-черноземовидными почвами «амурских прерий». Интенсивность выделения CO<sub>2</sub> с поверхности этих почв колеблется от 2000-3000 до 6000 и более кг/га. Для горных массивов, где ярко выражена вертикальная зональность, эмиссия CO<sub>2</sub> из почв несколько ниже, чем из равнинных аналогов, что объясняется, в первую очередь, более коротким вегетационным периодом и особенностями строения почвенного профиля.

Суммарная величина эмиссии CO<sub>2</sub>, почвенным покровом России составляет 2,74 млрд. т. за вегетационный период. Эти данные позволяют утверждать, что сухопутные экосистемы России поглощают углекислого газа больше, чем выделяют, т.е. территория страны выступает в роли значительного поглотителя CO<sub>2</sub> [3].

Из полученных данных следует, что в пределах России почвенный источник эмиссии CO<sub>2</sub> значительно доминирует над техногенным, который оценивается в 0,78 млрд. т. CO<sub>2</sub>/год.

Полученное значение суммарной эмиссии на 12% ниже, рассчитанного ранее (3,12 млрд т). Почвенный покров России, занимающий 11,5% суши Земли, эмитирует в атмосферу 6,3% от глобальной почвенной эмиссии CO<sub>2</sub>.

Однако, полученную величину суммарной эмиссии нельзя назвать окончательной, так как недостаточно фактического материала по дыханию отдельных типов почв, особенно на территории Восточной Сибири См. (Приложение А). [3].

## ГЛАВА 2. Биоуголь

Под биоуглем понимается – твердый продукт пиролиза биомассы. Используется для секвестрации углерода в почвах и улучшения плодородия почв [10].

После бескислородного пиролиза на выходе образуется продукт, который представляет собой высокоуглеродистый материал с большой площадью внутренней поверхности и высокоразвитой пористой структурой, возникающий в результате обработки сырья в условиях высокотемпературных реакций. В основном он состоит из углерода в ароматической форме, но также содержит другие элементы в зависимости от используемого метода обработки и сырья, из которого он получен [27].

Биоуголь способен улучшать водоудерживающую способность и увеличивать площадь поверхности почвы [28]. Он обладает рядом физико-химических свойств, влияющих на рН, почвенную агрегацию, доступность питательных веществ, доступность органического углерода, а также способствует росту растений, увеличивает урожайность культур и уменьшает количество загрязняющих веществ [17].

Тем не менее, существует множество видов биоугля, имеющих широкий диапазон физических и химических показателей, в разной степени влияющих на свойства почв.

Идея использования биоугля приобрела популярность с начала 2000-х годов после ряда публикаций о сельскохозяйственных почвах Латинской Америки с большим количеством древесного угля в профиле, получивших название Терра Прета (черная земля индейцев), и отличавшихся от окружающих естественных почв высоким плодородием. Была установлена высокая потенциальная ценность применения биоугля для современного общества, как с экономической, так и с экологической точки зрения [19].

К настоящему времени спектр применения биоугля постоянно расширяется. Его можно добавлять в корма и силос, или применять при

очистке воды. Биоуголь также можно использовать для иммобилизации загрязняющих веществ из почвы и при очистке сточных вод [24].

### 2.1. Технологии получения биоугля

Биоуголь получают при пиролизе биомассы - нагревом в бескислородной среде до температур 400-800°C. При пиролизе биомассы, в частности древесины, в интервале температур 250-300°C происходят реакции термического распада гемицеллюлозы, сопровождающиеся выделением тепла. В зависимости от вида перерабатываемой биомассы, за счет экзотермического разогрева может дополнительно выделяться до 1.5 МДж/кг тепловой энергии, что, в принципе, для различных видов биомассы может привести к увеличению температуры до 400-900°C [5].

Эффект экзотермического выделения тепла при пиролизе биомассы известен достаточно давно. В середине предыдущего столетия этот эффект активно использовался при получении древесного угля, так называемый, процесс углежжения. Древесина частично сжигалась для нагрева до температуры, при которой начинался процесс экзотермического выделения тепла. Затем доступ воздуха к перерабатываемой биомассе прекращался и завершение процесса углежжения происходило за счет экзотермических реакций [5].

Процесс низкотемпературного пиролиза, торрефикации, осуществляется частично за счет тепла продуктов сгорания, частично - за счет экзотермического тепла, выделяемого при нагреве биомассы. Температура процесса низкотемпературного пиролиза (торрефикации) 260-300°C. Поскольку в процессе экзотермического разогрева может выделяться тепло, которое превышает необходимое для торрефикации, схема предусматривает использование излишнего экзотермического тепла на нагрев свежих порций биомассы. Реализуемая в данном техническом решении когенерационная схема использования энергии сжигаемого топлива обеспечивает высокие экономические показатели процесса [15].

Устройство (рис. 2) содержит газопоршневую установку (ГПУ) (1), на вход которой подаются природный газ и воздух, а выхлопные газы (2) из нее поступают в качестве бескислородного теплоносителя в реактор пиролиза (3). Сверху в реактор загружается исходная гранулированная биомасса (4). Снизу (5) в секцию бескислородного охлаждения выгружается готовый биоуголь. Отработанный теплоноситель и пиролизные газы выбрасываются через отверстие в верхней части реактора (6). Для реализации заявляемого способа термической конверсии биомассы в слое перерабатываемого материала установлен датчик температуры (7), по сигналу которого, в случае, если увеличение температуры перерабатываемой биомассы при нагреве продуктами сгорания газопоршневого агрегата и за счет экзотермического выделения тепла не достигнет требуемого уровня, программатором (8), управляющим коэффициентом избытка воздуха в топливной смеси, сжигаемой в газопоршневом агрегате (1), изменяется коэффициент избытка воздуха в сторону увеличения содержания кислорода в продуктах сгорания газопоршневого энергоблока [15].

В этом случае за счет сжигания определенной части получаемого биоугля при взаимодействии с избыточным кислородом, содержащимся в продуктах сгорания газопоршневого агрегата, происходит увеличение температуры процесса переработки биомассы до требуемого уровня.

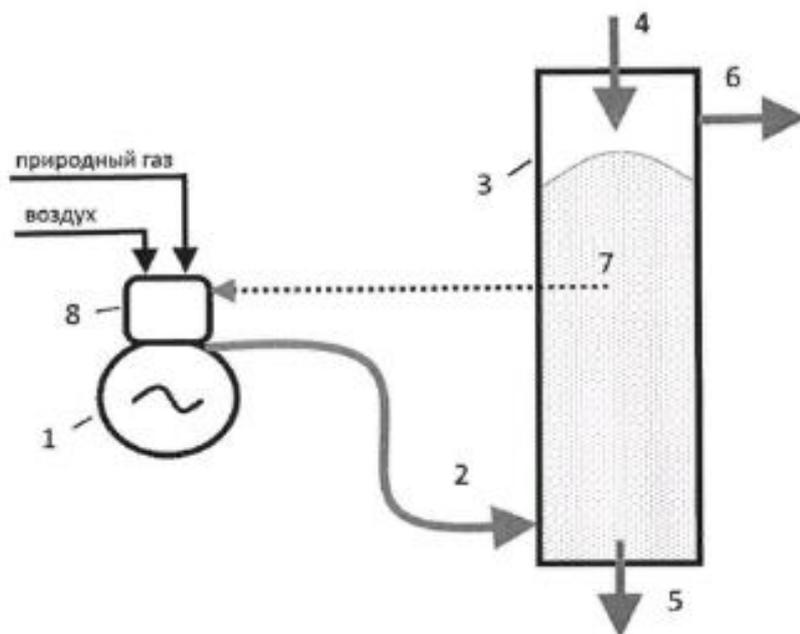


Рисунок 2 – Принципиальная схема устройства для террификации угля [15].

1. Биоуголь производят в углевыжигательных печах. Основное требование к печам – пиролиз биомассы должен протекать в закрытых емкостях, обеспечивающих дефицит кислорода и отвод пиролизных газов. Печи для пиролиза могут представлять собой контейнеры, обычно из кирпича или металла. Современная, экологически безопасная, технология производства биоугля основана на применении углевыжигательных печей ретортного типа [15]. Основной принцип работы таких печей состоит в том, что биомассу помещают в печь в съёмных ретортах, имеющих специальные устройства для отвода пиролизных газов, что обеспечивает необходимый нагрев в установке.

2. Технологический цикл производства биоугля состоит из двух процессов: сушки и пиролиза. Перед пиролизом биомасса должна быть высушена. Существенное влияние на скорость и равномерность сушки оказывают размеры частей биомассы. Чем меньше части биомассы по размерам,

тем равномернее происходит её высушивание. Высушенную биомассу пиролизуют за счёт кондукторного подвода тепла из топки в режиме противотока. Современные технологии пиролиза могут быть разделены по таким характерным признакам как: скорость нагрева (быстрый, средний, медленный пиролиз); среда, в которой происходит пиролиз (вакуумный, гидропиролиз, метанопиролиз) [11].

3. При средних температурах пиролиза в диапазоне 400-500 °С (низкотемпературный пиролиз) биомасса проходит через экзотермические процессы и выделяет множество газообразных веществ вместе с теплом (см. приложение табл. 1) [16]. Пиролиз при высоких температурах (обычно свыше 700 °С), или газификация — менее подходящий для получения биоугля способ, так как в его ходе получается малое количество биоугля [22].

#### 2.2. Отходы от производства продуктов из яблок

На производственных линиях по переработке яблочного сырья количество отходов на прямую зависит от качества изначального материала и составляет в среднем от 10%. Яблоки являются скоропортящимся сырьем, в связи с чем отходы данного типа классифицируются в том числе по степени биологического разложения и могут использоваться для получения различного класса продукции в зависимости от этого показателя.

Отходы яблок утилизируются или проходят биологическую переработку. Стоимость данного вида сырья (яблок) находится в низком ценовом сегменте, однако, в переработанном виде может вполне уверенно конкурировать с продукцией, получаемой из отходов более высокого ценового сегмента, что выделяет его в плане экономической привлекательности

Из отходов яблок можно получать: сырье для производства биогаза; органические удобрения высокой биологической ценности; медицинские компоненты – такие как экстракт яблочного железа; яблочного порошка; многое другое. Существует огромное множество экономических моделей переработки данного вида отходов и поиск оптимального решения должен производиться с учетом географического и социально-экономического

положения такого производства. Линия по переработке отходов яблок может стать и отдельно стоящим бизнесом от производственных садов, поскольку способна работать круглогодично при стабильном уровне рентабельности. Формирование комплексного решения с использованием отходо-коллекторного звена и несколькими направлениями переработки данного вида отходов обеспечит гибкость и востребованность услуг перерабатывающего комплекса большого числа аграрных предприятий.

### 2.2.1. Пектин из яблочных отходов

Пектины являются кислыми полисахаридами клеточной стенки растений и для их извлечения требуются применение или кислоты или комплексных аппаратурных и биологических методов. Многие пектины обладают иммуномодулирующим действием, способны выводить из организма тяжелые металлы, биогенные токсины, анаболики, ксенобиотики, продукты метаболизма и биологически вредные вещества, способные накапливаться организме: холестерин, липиды, желчные кислоты, мочевины. Разнообразие свойств пектинов, обладающих новыми физико-химическими, комплексообразующими и физиологическими свойствами, может быть достигнуто за счет химической модификации: этерификации, амидирования, ацилирования. Пектин декларируется как пищевая добавка E440. Он широко используется в пищевой промышленности в качестве стабилизатора консистенции, загустителя, связующего агента в джемах, мармеладах, молочных, кисломолочных и других продуктах.

Яблочные выжимки получают при производстве натурального сока из свежих, здоровых и зрелых плодов. Срок хранения выжимок после отжатия сока не более 1 ч. Выжимки дополнительно измельчают в грануляторе для увеличения удельной поверхности и сушат в туннельных сушилках вначале при температуре воздуха 110...140°C, затем при 70...95°C. После сушки выжимки охлаждают, измельчают в дробилке или в дезинтеграторе до размера

частиц не более 1,5 мм и разделяют просеиванием на две фракции: первая крупностью помола не более 0,4 мм, вторая - отходы, состоящие из плодоножек, семечек и семенного гнезда размером более 0,4 мм. Яблочный порошок фасуют в полимерные мешки вместимостью до 20 кг и герметизируют термосваркой. Мешки укладывают в фанерные или картонные барабаны или бумажные мешки (транспортная тара) и хранят в складах при температуре от 0 до 25°C и относительной влажности воздуха не более 70%. В соответствии с требованиями ТУ 111-4-7-82 массовая доля влаги порошка должна быть не более 8%, сахара - не менее 25%. вкус и запах, свойственный сырью без признаков прогорклости и подгорания. Цвет – от светло-кремового до светло-коричневого.

#### 2.2.2. Получение яблочного порошка из яблочных отходов

Используют порошок из яблок в молочных продуктах; в творожных запеканках; добавляют в творожные массы, а также пекут хлеб и булочки из пшеничной муки с добавлением яблочного порошка, можно делать домашние мармеладки, пастилы, леденцы и т.п. Используют как добавку в выпечку. Яблочный порошок с успехом применяется в современной пищевой промышленности в качестве добавок. Особенно популярно использование яблочного порошка кисломолочных продуктов, мюсли, киселей, кондитерской продукции (используется в качестве начинки для карамели, печенья и проч.) Пищевая ценность яблочного порошка заключается в содержании витаминов и микроэлементов, которые способны сохраняться до двух лет. Яблочный порошок может использоваться в качестве наполнителя, изменяющего цвет и вкус продукта. Благодаря моносахаридам (глюкоза и фруктоза), яблочный порошок быстро и эффективно усваивается организмом.

## ГЛАВА 3. Объекты

### 3.1. Почва

Исследование проводилось на дерново-подзолистой супесчаной почве, которая была отобрана в начале мая 2021 года с биополигона, расположенного на территории экспериментальной опытной станции ФГБНУ АФИ (МОС-АФИ) (п. Меньково, Гатчинский район, Ленинградская область). Были использованы парцеллы Агрофизического стационара (опыт с почвами разной степени окультуренности), среди которых были выбраны варианты со средней степенью окультуренности (А) и высокой степенью окультуренности (Б). Образцы отбирались только их пахотных горизонтов, из контрольных участков, на которых никогда не производилось внесение минеральных удобрений.

В таблицах 1 и 2 представлено описание почвенных разрезов изучаемой почвы с разной степенью окультуренности.

Таблица 1. Описание профиля дерново-подзолистой супесчаной почвы на девонских песках (средняя степень окультуренности)/Агрозем

Горизонт, (в скобках – классификация 1977 г)	Описание
P (A <sub>1</sub> ) 0-22см	Свежий, буровато-серый, комковатый, супесь, уплотнен, корни, мелкий гравий, граница ровная, переход резкий по цвету
BE <sub>L</sub> (B <sub>1</sub> ) 23-35 см	Увлажненный, палево-бурый, крупнокомковатый, легкий суглинок, уплотненный, гравий и камни, затеки гумуса, граница волнистая, переход четкий по цвету
BT <sub>g</sub> (B <sub>g</sub> ) 35-59 см	Увлажненный, бурый с сизо-белесыми пятнами, плитчатый, легкосуглинистый, уплотнен, редкая мелкая щебенка, граница волнистая, переход ясный по количеству валунов
1C 59-90 см	Увлажненный, красновато-бурый, песок, уплотнен, редкие корни, мелкая щебенка, граница волнистая, переход ясный по цвету и по количеству гравия
2 C 90-130 см	Влажный, светло-бурый, структура плитчатая, легкий суглинок, уплотнен, очень много гравия, граница волнистая, переход четкий по цвету
D 130-170 см	Свежий, красновато-охристый, бесструктурный, песок, уплотнен

Таблица 2. Описание профиля дерново-подзолистой супесчаной почвы на красноцветных песках (высокая степень окультуренности)/Агрозем

Горизонт, (в скобках – классификация 1977 г)	Описание
P (A <sub>1</sub> ) 0-33 см	Увлажненный, темно-серый, комковатый, легкий суглинок, рыхлый, корни, гравий и камни, граница ровная, переход резкий по цвету
BTg (Bg) 33-65 см	Увлажненный, бурый с сизо-белесыми пятнами, плитчатый, легкий суглинок, уплотненный, мелкая щебенка, граница волнистая, переход четкий по цвету и структуре
1C 65-90 см	Увлажненный, красновато-бурый песок, уплотненный, редкие корни, мелкая щебенка, валуны, граница волнистая, переход ясный по цвету
2C 90-130 см	Влажный, светло-бурый, буровато-охристый, структура плитчатая, супесь, легкий суглинок, уплотнен, гравий, особенно много в слое 60-95 см, граница волнистая, переход ясный по цвету
D 130-170 см	Свежий, охристый, бесструктурный, песок, уплотненный, нет включений щебенки, включения кварца

Была изучена агрохимическая характеристика пахотных горизонтов почв, отобранных для лабораторного эксперимента. Результаты исследования представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой супесчаной почвы разного качества (исходные данные на начало вегетационного периода 2021 года)

Почва	рН <sub>KCl</sub>	Собщ %	Nобщ %	Минеральный азот		Подвижные	
				N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
				мг кг <sup>-1</sup>			
А	5,3±0,27	1,67±0,21	0,17±0,07	12,3±0,9	5,4±0,8	267±24	139±47
Б	6,1±0,15	2,85±0,38	0,26±0,09	16,5±1,2	11,3±0,5	415±37	352±37

Примечание – где здесь и далее: А – почва со средней степенью окультуренности; Б – почва с высокой степенью окультуренности; рН<sub>KCl</sub> – кислотность почвы; С общ –

содержание общего органического углерода; N общ – содержание общего азота; N-NO<sub>3</sub> – содержание нитратного азота; N-NH<sub>4</sub> – содержание аммонийного азота; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – содержание подвижного фосфора; K<sub>2</sub>O – содержание подвижного калия.

Как видно из представленной таблицы, изучаемые дерново-подзолистые супесчаные почвы с разной степенью окультуренности существенно ( $p < 0,05$ ) различались по содержанию общего углерода и азота, подвижных форм фосфора и калия. На начало вегетационного периода 2021 года, как в почве с СОК, так и ВОК, наблюдались существенные ( $p < 0,05$ ) различия по основным агрохимическим характеристикам между вариантами с биоуглем и без биоугля, кроме содержания в них общего азота.

### 3.2 Биоуголь

В эксперименте использовался биоуголь, полученный из яблочного жмыха. Был произведен в городе Майкопе бескислородным пиролизом, при температуре 400 °С на предприятии ООО «Зенит».

Жмых яблочный – это продукт, который остаётся после отжатия сока из свежей мякоти яблок. Подсчитано, что в среднем, из килограмма яблок средней сочности получается 300 граммов жмыха.

Основные свойства изучаемого биоугля представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Химическая характеристика биоугля из яблочного жмыха

Продукт	С <sub>общ</sub> , %	Н <sub>общ</sub> , %	С/Н	Н, %	Н/С	О, %	О/С	рН (Н <sub>2</sub> О)	W <sub>гв</sub> , %	Золь- ность, %
Яблочный жмых	25-33	-	-	-	-	-	-	3.1 – 3.55	-	-
Биоуголь_ЯЖ	72.3	0.41	176.3	1.32	0.02	6.4	0.09	7.82	2.9	14.5 2

Примечание: Н – содержание водорода, О – содержание кислорода, W<sub>гв</sub> – гигроскопическая влажность биоугля.

Таблица 5. Содержание тяжелых металлов в биоугле из яблочного жмыха.

Медь	Цинк	Никель	Кобальт	Свинец	Железо	Марганец,
мг/кг						
31,2	90,6	3,4	0,81	0,1	2096,8	108,8
3	23	4	5	32	40000	1500

Как видно из представленной таблицы, концентрация тяжелых металлов не превышает ПДК.

### 3.3. Закладка лабораторного эксперимента

Лабораторный эксперимент проводили в течение 45 дней в контролируемых условиях: в вегетационных сосудах объемом 500 мл, инкубированием в биологическом шкафу при температуре 28 °С и при постоянной влажности почвы (равной 21% от веса почвы для вариантов А и 24% для вариантов Б), поддерживаемой поливом до постоянного веса 3 раза в неделю.

До закладки эксперимента почву высушили до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре + 22°С и просеивали через сито с диаметром ячеек 8 мм, для того чтобы удалить излишек каменистой фракции.

По 300 г почвы на сосуд увлажняли водой до количества, соответствующего различной степени окультуренности. Ко всем сосудам были подобраны герметично закрывающиеся крышки, оборудованные трёхходовыми кранами для отбора образцов воздуха из сосудов. Пробы воздуха отбирались при помощи 60-мл шприца в 10-мл стеклянные флаконы с герметично закрытыми резиновыми пробками и алюминиевыми крышками и, в дальнейшем, концентрация CO<sub>2</sub> анализировалась на газовом хроматографе. Отбор образцов воздуха проводили ежедневно на протяжении первых двух недель после внесения биоугля в почву, а в последующие дни - 2-3 раза в неделю.

Биоуголь вносили после предварительной прединкубации из расчета (1) 10 т/га – 2,9 г, (2) 20 т/га – 5,8 г, (3) 30 т/га – 8,7

Таким образом, в исследовании изучались различные дозы биоугля из яблочного жмыха, поэтому схема лабораторного эксперимента включала по 4 варианта для почв с разной степенью окультуренности:

- 1 – Почва контроль (без внесения биоугля)
  - 2 – Почва с внесением биоугля из яблочного жмыха в дозе 10 т/га
  - 3 – Почва с внесением биоугля из яблочного жмыха в дозе 20 т/га
  - 4 - Почва с внесением биоугля из яблочного жмыха в дозе 30 т/га
- Итого: 8 вариантов в 3-х кратной повторности

## ГЛАВА 4. Методы

### 4.1 Химические свойства почвы

1. Определение содержания общего органического углерода проводилось по методу мокрого сжигания Тюрина [18].

2. Определение обменной кислотности почвы (рНКСl) по методу ЦИНАО при соотношении почва-раствор 1:25 потенциметрически, с использованием стеклянного и хлорсеребряного (сравнения) [8].

3. Определение содержания нитратов и аммонийного азота в почве - колориметрическим методом с определением концентрации N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> в солевой вытяжке (2 % раствор KCl) из почвы и реактива Несслера, и концентрации N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в водной вытяжке с дисульфифеноловой кислотой на спектрофотометре СРЕКОЛ 11 [25].

4. Определение подвижного фосфора (Р) и обменного калия (К) по методу Кирсанова [6].

### 4.2 Биологические свойства почвы:

Микробная биомасса почв — важный показатель для экологических исследований.

1. Биологическая активность почвы (базальное дыхание) определялась по интенсивности продуцирования углекислого газа из почвы (при удалении всех корней растений) с анализом концентрации пробы воздуха на газовом хроматографе ПФД (Кристалл 2000). Определение базального дыхания (БД) осуществлялось по следующей методике: в пенициллиновые флаконы объемом 40 мл помещали по 4 г почвы, увлажненной до наименьшей влагоемкости (для А – 21%, для Б – 24%). Затем флаконы проветривали в течение 30 минут, чтобы избежать завышения скорости эмиссии CO<sub>2</sub>, связанного с перемешиванием почвы при взятии навески и увлажнением, закрывали резиновыми пробками и герметичными крышками и инкубировали при 25° в биологическом шкафу. Продолжительность инкубации флаконов с

почвой составила 23 часа. После окончания инкубирования проводился отбор пробы воздуха при помощи шприца с анализом на хроматографе.

2. Субстрат-индуцированное дыхание (СИД) основано на измерении первоначального максимального выделения  $\text{CO}_2$  из почвы, обогащенной глюкозой в интервале, не превышающем шести часов. Величину СИД устанавливали, согласно методике, Андерсон и Домш: во флаконы помещали увлажненную до наименьшей влажности навеску почвы 4 г. и после проветривания во флаконы добавляли по 0,5 мл 4,0% раствора глюкозы (10 мг/г почвы). Глюкоза - основной мономер целлюлозы, доля которой в растительном опаде составляет почти 70-80%. Окисление и соокисление глюкозы микроорганизмами почвы *in situ* за время, в течение которого не происходит роста и размножения клеток (несколько часов), положено в основу определения содержания углерода микробной биомассы почвы. Предполагается, что дыхательный отклик пропорционален суммарной микробной биомассе почвы. Обогащенный глюкозой почвенный образец инкубируют согласно методике при 22°C [1]. Что соответствует температуре верхнего горизонта почв в летний период в большинстве стран Западной Европы. Длительность инкубации флаконов с обогащенной субстратом почвой составляла 3 часа [1].

Повторность измерений 3-кратная. Скорость дыхания выражали в мкг  $\text{CO}_2$ /г сухой почвы в час.

3. Содержание углерода микробной биомассы (СМіс) рассчитывали по уравнению:  $\text{СМіс (мкг/г)} = \text{СИД (мкг } \text{CO}_2\text{/г час)} \times 40,04 + 0,37$  [4].

Коэффициент микробного дыхания (QR) вычисляли исходя из показателей базального и субстрат-индуцированного дыхания по формуле:

$$\text{QR} = \text{БД/СИД} [4].$$

Полученные результаты обработаны статистически при помощи программы Microsoft Excel.

4. Измерение эмиссии  $\text{CO}_2$ .

Прямую эмиссию CO<sub>2</sub> из вариантов почвы определяли методом закрытых камер, который позволяет измерять концентрацию интересующего газа с дальнейшим анализом на хроматографе Кристалл 2000. Крышки 500 мл сосудов, в которых проводилось инкубирование почвы и биоугля из яблочного жмыха, были оборудованы крышками с вмонтированными трёхходовыми кранами для отбора образцов воздуха из сосудов. Отбор образцов воздуха из сосуда проводился ежедневно в течение первой недели инкубирования, через два дня – в течение последующей недели и далее – дважды течение недели. При помощи 60-мл шприца воздух помещался в 10-мл стеклянные флаконы с герметично закрытыми резиновыми пробками и алюминиевыми крышками и, в дальнейшем, пробы воздуха анализировались на хроматографе. В промежутках между измерениями сосуды были закрыты полиэтиленовой плёнкой, которая препятствует пересыханию образцов, но обеспечивает свободный газообмен.

#### 5. Определение элементного состава биоугля

Химический анализ биоуглей выполняли на элементном анализаторе Euro EA3028-NT (EuroVector, Италия) для одновременного определения CHN-O.

Пакет программ «Microsoft Excel» и «Statistics 8.0» использовали для статистической обработки данных. Определялись значения средних величин, стандартных отклонений, достоверность различий средних значений при  $p \leq 0,05$ . Парное сравнение средних значений имеющихся групп осуществляли критерием Тьюки, а значимо различающиеся группы дифференцировали разными буквами.

## ГЛАВА 5. Полученные результаты

### 5.1 Базальное дыхание почвы при различных дозах биоугля

Базальное дыхание почвы – это интенсивность дыхания почвы в течении суток, связано как правило с биологической активностью микроорганизмов, которые характерны минимальными и максимальными значениями выделения  $\text{CO}_2$  в почву.

На рисунке 3 представлено базальное дыхание среднекультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля в течении 45 дней инкубации.

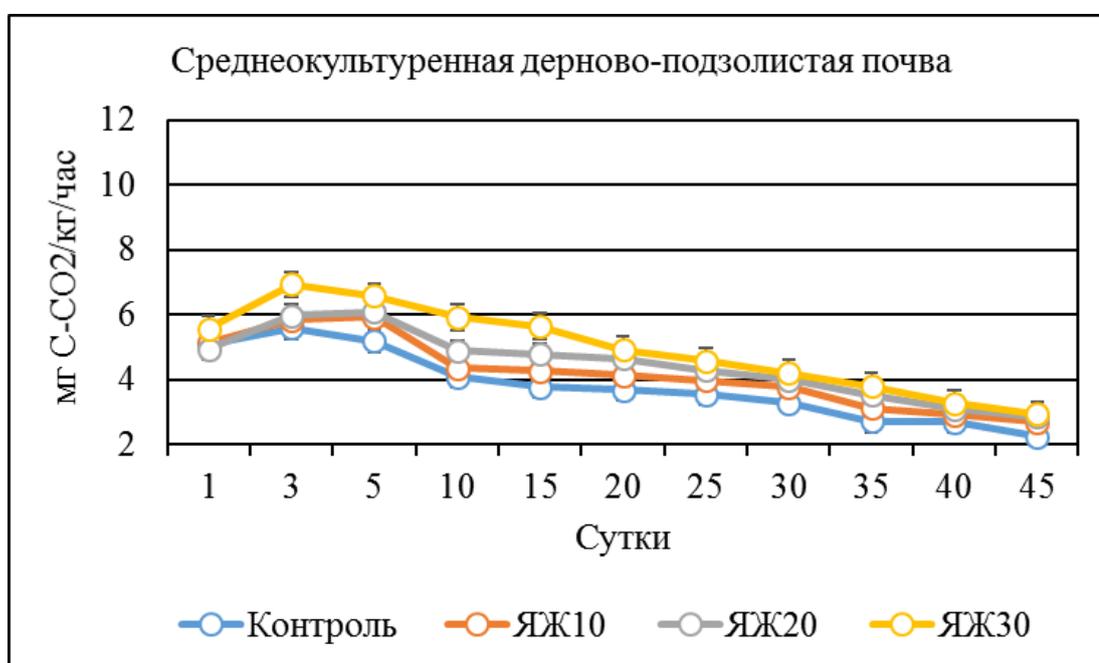


Рисунок 3 - Базальное дыхание среднекультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

Обработка данных исследования показала, что содержание базального дыхания в среднекультуренной почве – контроль (без добавления биоугля) постепенно снижалась на протяжении 45 суточного эксперимента. С 1 по 3 сутки содержание базального дыхания увеличилось с 5,09 до 5,59 мгС- $\text{CO}_2$ /кг почвы в час. С 5 по 45 сутки эксперимента содержание базального дыхания

уменьшалось в пределах от 5,18 до 2,25 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. В результате внесения биоугля в среднеокультуренную дерново-подзолистую почву увеличило базальное дыхание.

Добавление в среднеокультуренную почву биоугля из яблочного жмыха из расчета 10 т/га<sup>-1</sup> показывает, что с 1 по 5 сутки значения базального дыхания увеличивается с 5,15 до 5,92 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. С 5 суток по 10 сутки значения резко понижаются с 5,92 до 4,37 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Последующие сутки с 10 по 45 значения плавно снижаются с 4,37 до 2,69 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час.

Привнесение в среднеокультуренную почву биоугля из яблочного жмыха из расчета 20 т/га<sup>-1</sup> свидетельствует от том, что в 1 по 3 сутки эксперимента базальное дыхание стремительно повышается с 4,94 до 5,99 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. С 3 по 5 сутки эксперимента постепенное понижение от 5,99 до 5,58 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. А далее идет на резкий спад с 5 по 10 сутки опыта с изменением значений от 5,58 до 4,10 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. С 10 по 45 сутки равномерно уменьшается с значениями от 4,10 до 2,86 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час.

Внесение в среднеокультуренную почву биоугля из яблочного жмыха из расчета 30 т/га<sup>-1</sup> демонстрирует, что с 1 по 5 сутки опыта выделяется невысокое повышение базального дыхания от 5,57 до 5,78 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Далее с 5 по 45 сутки значения плавно убывают с 5,78 до 2,94 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час.

Исходя из полученных результатов по внесению биоугля в среднеокультуренную дерново-подзолистую почву, биоуголь служит причиной изменения динамики базального дыхания. Изученные варианты по влиянию на содержание базального дыхания можно расположить в следующий убывающий ряд: почва +30 т/га биоугля > почва +20 т/га > почва +10 т/га биоугля.

На рисунке 4 представлено базальное дыхание высококультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

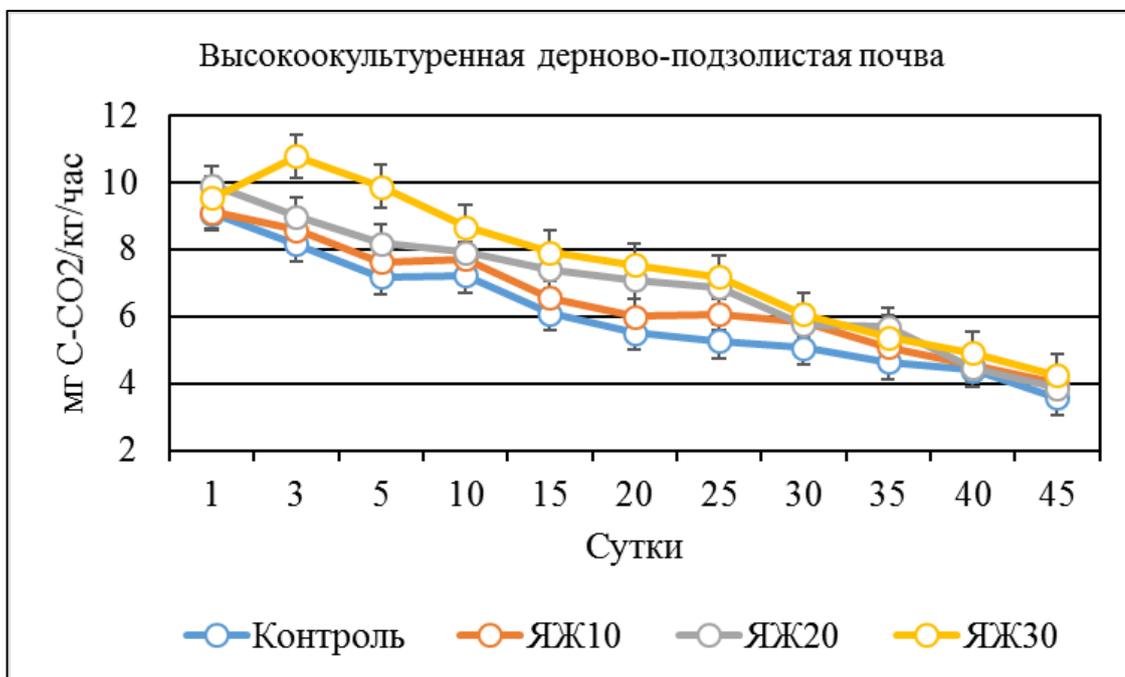


Рисунок 4 - Базальное дыхание высококультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

При обработке данных эксперимента видно, что базальное дыхание в высококультуренной почве, по результатам контроль (без добавления биоугля) постепенно снижается в течении 45 суточного опыта. С 1 по 15 сутки базальное дыхание постепенно падает с значений 9,07 до 6,30 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. С 15 по 20 сутки опыта дыхание снизилось на незначительную долю от 6,30 до 6,26 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. С 20 по 35 сутки опыта плавно опустились значения с 6,26 до 5,40 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. А после значения базального дыхания резко снизились за короткий промежуток, с 35 по 45 сутки их значения составили от 5,40 до 3,58 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час.

Прибавление в высококультуренную почву биоугля из яблочного жмыха из расчета 10 т/га<sup>-1</sup> показывает, что с 1 по 3 сутки базальное дыхание

опускается с 9,13 до 8,58 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. А последующие значения с 3 по 5 сутки показывает резкий скачек понижения с 8,58 до 7,22 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Далее за короткий период времени с 5 по 10 сутки значения скачкообразно повышаются с 7,22 до 7,71 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. С 10 по 15 резко снижаются значения базального дыхания с 7,71 до 6,57 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. С 15 по 20 сутки идет плавное повышение значений от 6,52 до 6,71 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. И к концу дней опыта значения равномерно снижаются с 20 по 45 сутки по значениям с 6,71 до 4,01 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час.

Привнесение в высококультуренную почву биоугля из яблочного жмыха из расчета 20 т/га<sup>-1</sup> свидетельствует о том, что в 1 по 5 сутки эксперимента значения базального дыхания скачкообразно уменьшаются с 8,92 до 6,88 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. С 5 по 10 сутки эксперимента резко увеличивается от 6,88 до 7,42 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Далее идет резкий спад с 10 по 15 сутки значений от 7,42 до 6,40 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. С 15 по 45 сутки равномерно происходит спад с значениями от 6,40 до 3,88 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час.

Внесение в высококультуренную почву биоугля из яблочного жмыха из расчета 30 т/га<sup>-1</sup> показывает, что с 1 по 5 сутки опыта выделяется сильное понижение базального дыхания от 9,55 до 7,78 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Далее с 5 по 10 суток произошел подъем значений дыхания с 7,78 до 8,08 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Далее с 10 по 45 суток опыта значения плавно уменьшались с 8,08 до 4,26 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час.

По результатам исследования при внесении биоугля в высококультуренную дерново-подзолистую почву, происходит изменение динамики базального дыхания. Изученные варианты по влиянию на содержание базального дыхания можно расположить в таком порядке на убывание: почва +30 т/га биоугля > почва +10 т/га > почва +20 т/га биоугля.

## 5.2 Субстрат-индуцированное дыхание почвы при различных дозах биоугля

Определение активной микробной биомассы по методике SIR (субстрат-индуцированное дыхание). Этот показатель выражает биомассу микроорганизмов, выраженную в количестве содержания углерода на килограмм почвы.

На рисунке 5 представлено субстрат-индуцированное дыхание среднеокультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

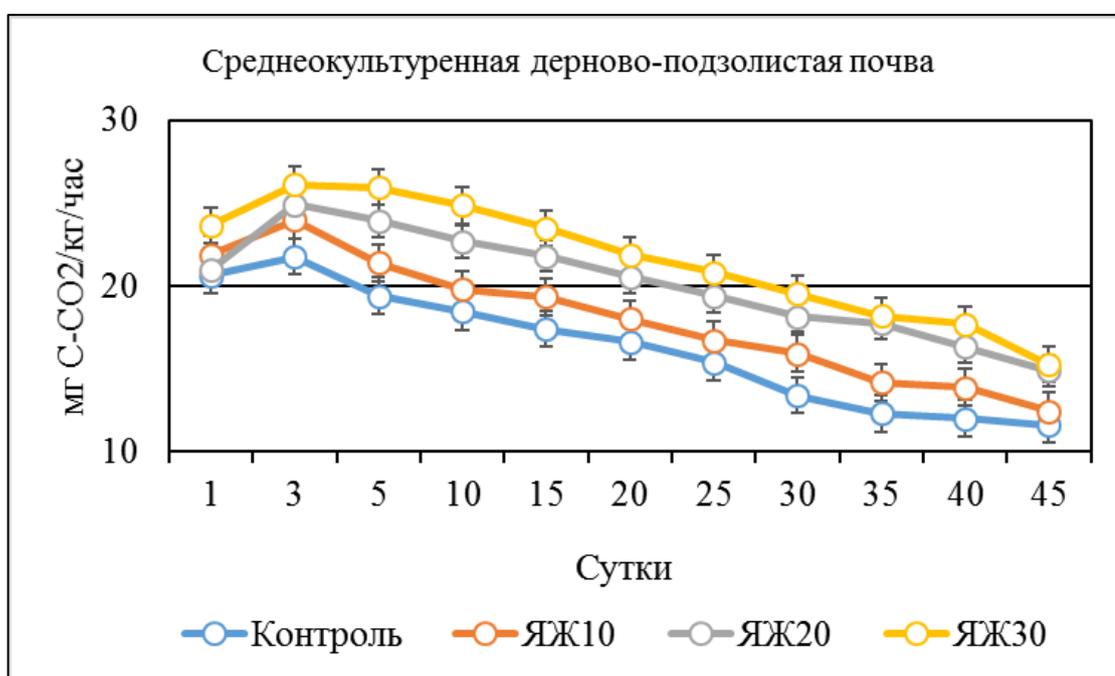


Рисунок 5 - Субстрат-индуцированное дыхание среднеокультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

Обработка анализа данных по субстрат-индуцированному дыханию показала, что количество добавление биоугля в среднеокультуренную почву - контроль (без добавления биоугля) с 1 по 3 сутки поднимается с 20,65 до 21,77 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Далее постепенно снижается с 3 по 30 сутки со

значениями 21,77 – 15,44 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Последующие значения субстрат индуцированного дыхания резко опускаются вниз с 15,44 – 12,31 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. За короткий промежуток времени с 30 по 35 сутки. Далее содержание незначительно возрастает с 35, по 40 сутки в значениях 12,31 до 13,04 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. И к концу проведения эксперимента значения дыхания понижаются с 40 по 45 сутки с 13,04 – 11,62 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 10 т/га<sup>-1</sup> показывает, субстрат-индуцированное дыхание с 1 по 3 сутки резко возрастает с 21,90 до 23,97 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. С 3 по 25 сутки содержание дыхания плавно протекает до значений с 23,97 до 16,72 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Далее равномерное повышение с 25 по 30 сутки, значения дыхания составляют с 16,72 до 16,93 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. К концу опыта содержание дыхания плавно опускается с 30 по 45 сутки до значений с 16,93 до 12,46 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час.

При внесении биоугля в пробу при внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 20 т/га<sup>-1</sup> показывает, что субстрат-индуцированное дыхание с 1 по 3 сутки резко возрастает с 21,02 до 22,94 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Далее с 3 по 20 сутки количество дыхания плавно снижалось с 22,94 по 18,55 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. С 20 по 25 происходит спад значений с 18,55 по 19,40 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Далее видно постепенное уменьшение дыхания с 25 по 41 сутки, со значениями с 19,40 по 14,92 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час.

При внесении биоугля в пробу при внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 30 т/га<sup>-1</sup> показывает, что субстрат-индуцированное дыхание с 1 по 3 сутки плавно возрастает с 23,66 до 24,12 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Далее с 3 по 45 сутки количество дыхания плавно снижалось с 24,12 по 15,29 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час.

Исходя из полученных результатов по внесению биоугля в среднеокультуренную дерново-подзолистую почву, биоуголь служит

причиной изменения показателя субстрат-индуцированного дыхания. При внесении биоугля при дозе 10 т/га<sup>-1</sup> увеличило показатель субстрат-индуцированное дыхание на 6%, при дозе 20 т/га<sup>-1</sup> увеличило на 12% и 30 т/га<sup>-1</sup> увеличило на 14%. Изученные варианты субстрат-индуцированного дыхания можно представить в следующий убывающий ряд: почва +30 т/га биоугля > почва +20 т/га > почва +10 т/га биоугля.

На рисунке 6 представлено субстрат-индуцированное дыхание высококультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

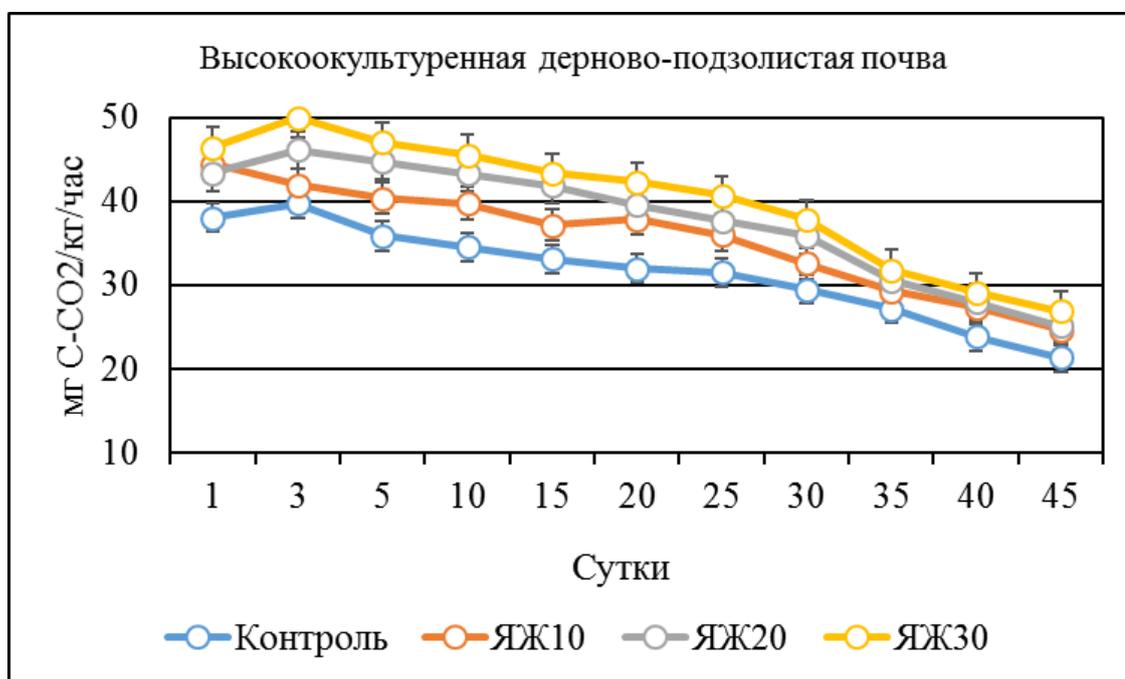


Рисунок 6 - Субстрат-индуцированное дыхание высококультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

Обработка анализа данных по субстрат-индуцированному дыханию высококультуренной почвы - контроль (без добавления биоугля) с 1 по 3 сутки поднимается с 38,06 до 39,76 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час. Далее постепенно снижается за оставшийся период инкубации с 3 по 45 сутки со значениями 39,76 –21,44 мгС-СО<sub>2</sub>/кг почвы в час.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета  $10 \text{ т/га}^{-1}$  показывает, субстрат-индуцированное дыхание с 1 по 3 сутки резко уменьшается с 44,43 до 39,95  $\text{мгС-CO}_2/\text{кг}$  почвы в час. С 3 по 10 сутки дыхание резко увеличивается до значений с 39,95 до 42,74  $\text{мгС-CO}_2/\text{кг}$  почвы в час. Далее за короткий промежуток времени с 10 по 15 сутки вновь скачек значений дыхания вниз с 42,74 до 37,19  $\text{мгС-CO}_2/\text{кг}$  почвы в час. С 15 по 20 сутки равномерно движется вверх со значениями 37,19 – 37,90  $\text{мгС-CO}_2/\text{кг}$  почвы в час. К концу опыта содержание дыхания плавно опускается с 20 по 45 сутки до значений с 37,90 до 24,72  $\text{мгС-CO}_2/\text{кг}$  почвы в час.

Привнесение в высококультуренную почву биоугля из яблочного жмыха из расчета  $20 \text{ т/га}^{-1}$  показывает, субстрат-индуцированное дыхание с 1 по 3 сутки резко снижается с 44,42 до 35,11  $\text{мгС-CO}_2/\text{кг}$  почвы в час. С 3 по 10 сутки дыхание резко увеличивается до значений с 15,11 до 41,33  $\text{мгС-CO}_2/\text{кг}$  почвы в час. Далее за короткий промежуток времени с 10 по 15 сутки вновь скачек значений дыхания вниз с 41,33 до 35,87  $\text{мгС-CO}_2/\text{кг}$  почвы в час. С 15 по 45 сутки плавно движется вниз со значениями 35,87–25,11  $\text{мгС-CO}_2/\text{кг}$  почвы в час.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета  $30 \text{ т/га}^{-1}$  показывает, субстрат-индуцированное дыхание с 1 по 3 сутки резко понижается с 46,44 до 40,96  $\text{мгС-CO}_2/\text{кг}$  почвы в час. С 3 по 10 сутки содержание дыхания резко увеличивается в значениях с 40,96 до 44,56  $\text{мгС-CO}_2/\text{кг}$  почвы в час. Далее равномерное повышение с 10 по 45 сутки, значения дыхания составляют с 44,56 до 26,94  $\text{мгС-CO}_2/\text{кг}$  почвы в час.

По результатам исследования при внесении биоугля в высококультуренную дерново-подзолистую почву, происходит изменение динамики субстрат-индуцированного дыхания. Таким образом можно разложить убывающий ряд: почва +30 т/га биоугля > почва +20 т/га > почва +10 т/га биоугля. Вроде бы не сошлось с рисунком по старым значениям

### 5.3. Углерод микробной биомассы в почве с различными дозами биоугля

Для определения содержания углерода микробной биомассы почвы (Смик) широко используют метод СИД, который информирует о физиологическом состоянии почвенных микроорганизмов.

На рисунке 7 представлен углерод микробной биомассы среднеокультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

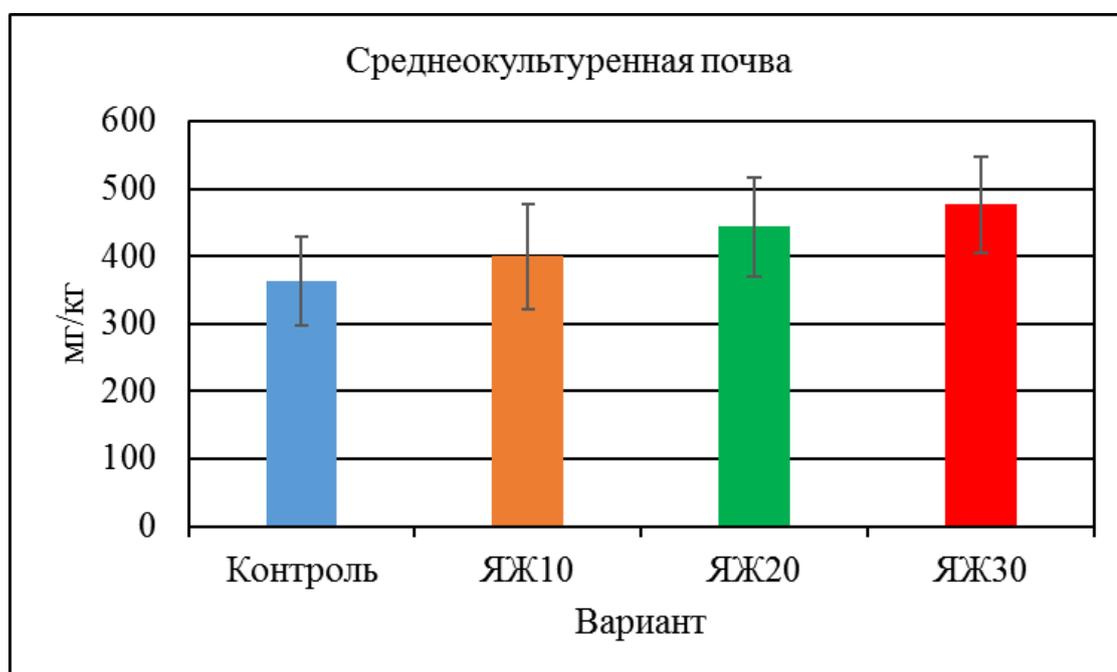


Рисунок 7 - Углерод микробной биомассы высокоокультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

Анализируя полученные данные по показателю - углерод микробной биомассы среднеокультуренной почвы - контроль (без добавления биоугля), можно сказать, что с 1 по 3 сутки показатель повысился с 458,41 до 483,16 мг/кг. Далее с 3 по 30 сутки эксперимента значения плавно снижались в промежутке от 483,16 до 342,78 мг/кг. С 30 по 35 сутки произошел резкий спад значений от 342,78 до 274,84 мг/кг. Далее с 35 по 40 сутки значения возросли

с 274,84 до 290,86 мг/кг. И к окончанию эксперимента значения понизились в течении пяти суток с 40 по 45 в промежутке от 290,88 до 259,67 мг/кг.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 10 т/га<sup>-1</sup> показывает, углерод микробной биомассы среднекультуренной почвы, с 1 по 3 сутки увеличивается с 485,90 до 531,61 мг/кг. С 3 по 30 сутки содержание дыхания постепенно снижается до значений с 531,61 до 376,59 мг/кг. Далее с 30 по 45 сутки вновь скачек значений дыхания вниз с 376,59 до 278,03 мг/кг.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 20 т/га<sup>-1</sup> показывает, углерод микробной биомассы среднекультуренной почвы, с 1 по 3 сутки увеличивается с 466,48 до 508,77 мг/кг. С 3 по 20 сутки дыхание постепенно снижается до значений с 508,77 до 412,28 мг/кг. Далее с 20 по 25 сутки вновь скачек значений дыхания вверх с 412,28 до 430,89 мг/кг. С 25 по 45 сутки эксперимента значения плавно снижаются с 430,89 до 332,20 мг/кг.

Внесение биоугля из яблочного жмыха из расчета 30 т/га<sup>-1</sup> показывает, что углерод микробной биомассы среднекультуренной почвы, с 1 по 3 сутки постепенно увеличивается с 524,72 до 534,92 мг/кг. С 3 по 45 сутки содержание дыхания плавно снижается до самого конца эксперимента с 534,93 до 340,42 мг/кг значений.

Исходя из полученных результатов по внесению биоугля в среднекультуренную дерново-подзолистую почву, биоуголь служит причиной изменения показателя - углерод микробной биомассы. При внесении биоугля из расчета 10 т/га<sup>-1</sup> увеличило на 6%, 20 т/га<sup>-1</sup> – на 11%, и 30 т/га<sup>-1</sup> на 14%. Изученные варианты углерода микробной биомассы можно сопоставить в следующий убывающий ряд: почва+30 т/га биоугля > почва +20 т/га >почва+10 т/га биоугля.

На рисунке 8 представлен углерод микробной биомассы, высококультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

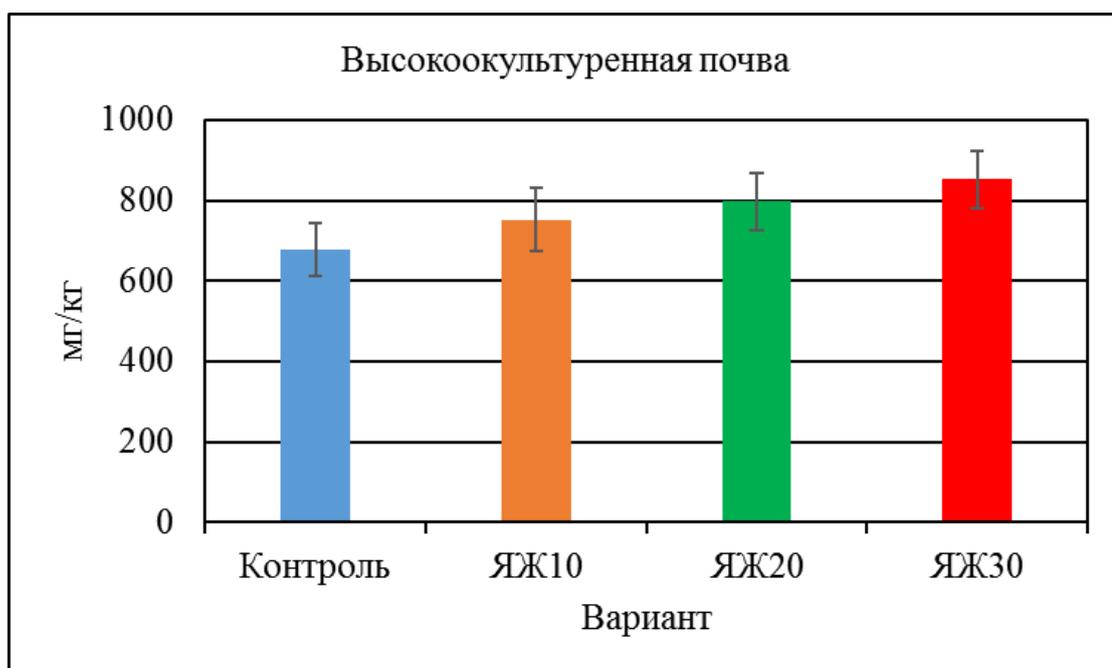


Рисунок 8 - Углерод микробной биомассы высококультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

Анализируя полученные данные показатель углерода микробной биомассы высококультуренной почвы - контроль (без добавления биоугля), можно сказать, что с 1 по 3 сутки количество углерода микробной биомассы повысилось с 841,83 до 879,28 мг/кг. Далее с 3 по 45 сутки эксперимента значения плавно снижались с 879,28 до 475,72 мг/кг.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 10 т/га<sup>-1</sup> показывает, что углерод микробной биомассы высококультуренной почвы, с 1 по 3 сутки снижается с 981,97 до 883,39 мг/кг. С 3 по 10 сутки углерод микробной биомассы постепенно увеличивается с 883,39 до 944,90 мг/кг. Далее с 10 по 15 сутки скачек значений дыхания вниз с 944,90 до 822,74 мг/кг. Далее с 15 по 20 сутки повышаются значения с 822,74 до 838,30 мг/кг. С 20 по 45 сутки эксперимента значения постепенно снижаются с 838,30 до 548,15 мг/кг.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 20 т/га<sup>-1</sup> показывает, что углерод микробной биомассы высококультуренной почвы, с

1 по 3 сутки резко снижается с 959,75 до 776,76 мг/кг. С 3 по 10 сутки углерод микробной биомассы резко увеличивается с 776,76 до 913,79 мг/кг. Далее с 10 по 15 сутки вновь скачек значений идет вниз с 913,79 до 793,65 мг/кг. С 15 по 45 сутки эксперимента значения плавно снижаются с 793,65 до 534,62 мг/кг.

Внесение биоугля из яблочного жмыха из расчета 30 т/га<sup>-1</sup> показывает, что углерод микробной биомассы высококультуренной почвы, с 1 по 3 сутки резко снижаются с 1026,42 до 905,72 мг/кг. С 3 по 10 сутки показатель идет вверх с 905,72 до 985,02 мг/кг. Далее с 10 по 45 сутки значения постепенно снижаются с 985,02 до 574,93 мг/кг.

Исходя из полученных результатов по внесению биоугля в высококультуренную дерново-подзолистую почву, показатель углерод микробной биомассы из расчета дозы можно сопоставить в следующий убывающий ряд: почва+30 т/га биоугля > почва +20 т/га >почва+10 т/га биоугля.

#### 5.4. Коэффициент микробного дыхания в почве с различными дозами биоугля

Что бы оценить продуктивность эксперимента нужно воспользоваться показателем, таким как метаболическое частное ( $qCO_2$ ). Его величина показывает обмен (энергии поддержания) микробного взаимодействия с окружающей средой. В целом  $qCO_2$  – это индикатор стресса микробного сообщества. Чем он ниже, тем благоприятнее условия микроорганизмов, и они тратят меньше энергии на формирование единицы биомассы.

На рисунке 9 представлен коэффициент микробного дыхания среднекультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

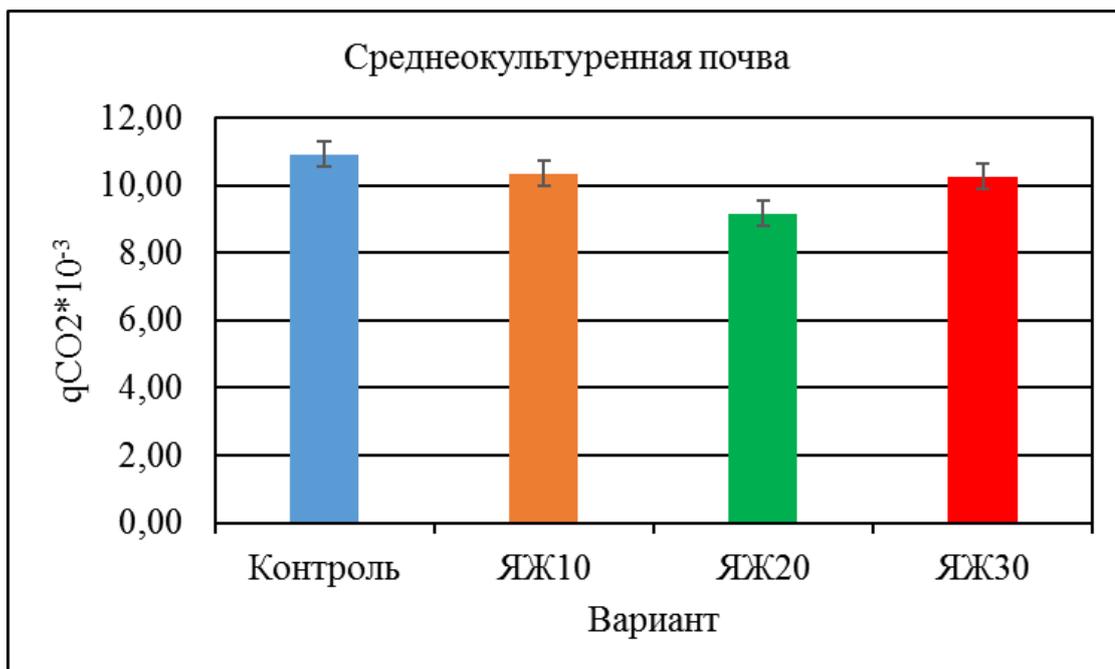


Рисунок 9 - Коэффициент микробного дыхания среднеокультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

Анализируя полученные данные показателя коэффициент микробного дыхания среднеокультуренной почвы - контроль (без добавления биоугля), можно сказать, что с 1 по 25 сутки коэффициент дыхания снижается с 11,91 до 10,73 мг/кг. Далее с 25 по 35 сутки эксперимента значения резко повышаются в промежутке от 10,73 до 12,43. С 35 по 45 сутки произошел резкий спад значений от 12,43 до 8,68.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 10 т/га<sup>-1</sup> показывает, что коэффициент микробного дыхания в среднеокультуренную почву, с 1 по 5 сутки резко увеличивается с 10,60 до 12,47. С 5 по 10 сутки коэффициент дыхания резко снижается до значений с 12,47 до 9,93. Далее с 10 по 25 сутки повышение значений дыхания с 9,93 до 10,69. С 25 по 40 сутки эксперимента коэффициент снижается с 10,69 до 9,42. С 40 по 45 сутки значения плавно повышаются с 9,41 до 9,66.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 20 т/га<sup>-1</sup> показывает, что коэффициент микробного дыхания среднеокультуренной

почвы, с 1 по 5 сутки увеличивается с 10,60 до 12,01. С 5 по 10 сутки содержание дыхания резко снижается до значений с 12,01 до 8,92. Далее с 10 по 15 сутки вновь скачек значений дыхания вверх с 8,92 до 9,52. С 15 по 25 сутки эксперимента значения коэффициента плавно снижаются с 9,52 до 8,27. С 25 по 30 сутки эксперимента значения плавно повышаются с 8,27 до 8,41. Далее с 30 по 40 идет снижение значений коэффициента с 8,41 до 7,26. К концу опыта происходит скачек вверх с 7,26 до 7,71.

Внесение биоугля из яблочного жмыха из расчета 30 т/га<sup>-1</sup> показывает, что коэффициент микробного дыхания среднекультуренной почвы, с 1 по 5 сутки постепенно увеличивается с 10,91 до 11,85. С 5 по 20 сутки содержание коэффициента дыхания плавно снижается с 11,85 до 10,08 значений. С 20 по 30 сутки эксперимента значения плавно повышаются с 10,08 до 10,25. С 30 по 45 сутки значения снижаются с 10,25 до 8,62.

На рисунке 10 представлен коэффициент микробного дыхания высококультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

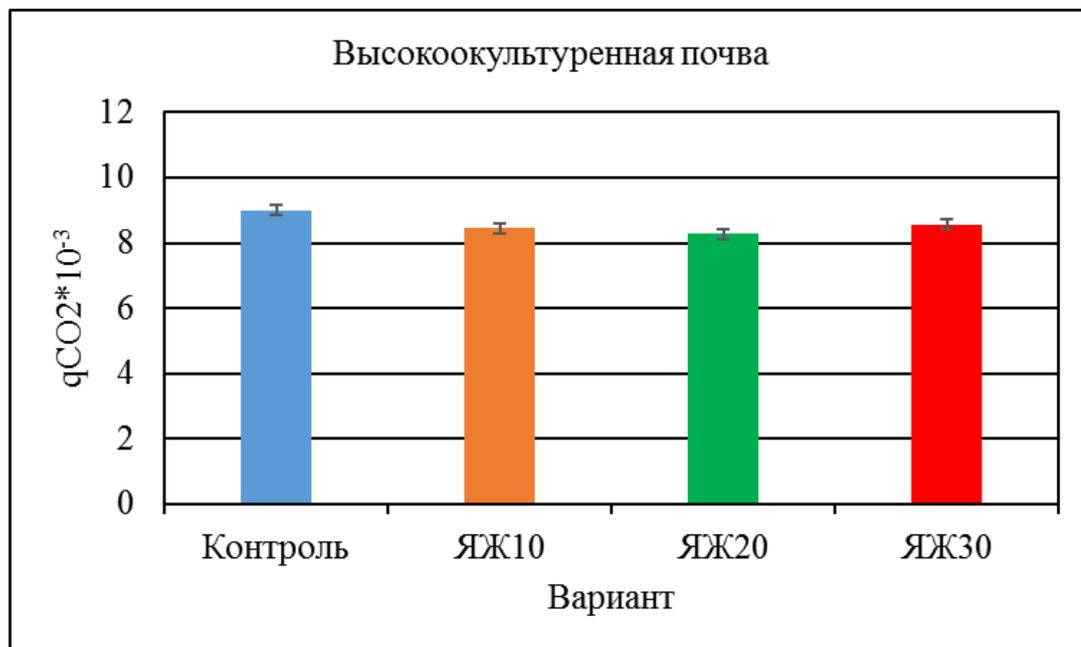


Рисунок 10 - Коэффициента микробного дыхания высокоокультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

Анализируя полученные данные по показателю – коэффициент микробной биомассы высокоокультуренную почву - контроль (без добавления биоугля), можно сказать, что с 1 по 3 сутки коэффициент дыхания резко снижается с 10,78 до 9,30 мг/кг. Далее с 3 по 10 сутки эксперимента значения постепенно повышаются в промежутке от 9,30 до 9,44 мг/кг. С 10 по 15 сутки произошел резкий спад значений с 9,44 до 8,59 мг/кг. С 15 по 25 сутки эксперимента значения повышаются с 8,59 до 9,11 мг/кг. С 25 по 35 сутки у значений коэффициента дыхания произошел скачек вниз с 9,11 до 8,95 мг/кг. И к концу опыта с 35 по 45 сутки происходит резкое понижение значений коэффициента с 8,95 до 7,54 мг/кг.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 10 т/га<sup>-1</sup> показывает, что коэффициент микробного дыхания в высокоокультуренную почву, с 1 по 3 сутки плавно увеличивается с 9,8 до 9,91 мг/кг. С 3 по 10 сутки коэффициент дыхания резко снижается до значений с 9,91 до 8,16 мг/кг. Далее с 10 по 15 сутки повышение значений дыхания с 8,16 до 8,98 мг/кг. С 15 по 20 сутки эксперимента коэффициент равномерно движется с 8,98 до 9,01 мг/кг. С 20 по 25 сутки значения резко снижаются с 9,1 до 7,63 мг/кг. Далее с 25 по 30 сутки значения стремятся вверх с 7,63 до 8,10 мг/кг. С 30 по 45 сутки значения постепенно опускаются с 8,10 до 7,31 мг/кг.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 20 т/га<sup>-1</sup> показывает, что коэффициент микробного дыхания в высокоокультуренную почву, с 1 по 3 сутки увеличивается с 9,02 до 9,77 мг/кг. С 3 по 5 сутки содержание дыхания резко снижается до значений с 9,77 до 8,04 мг/кг. Далее с 5 по 10 сутки значения дыхания идут вверх с 8,04 до 8,12 мг/кг. С 10 по 25 сутки эксперимента значения коэффициента плавно снижаются с 8,12 до 7,64 мг/кг. С 25 по 35 сутки эксперимента значения резко повышаются с 7,64 до

8,99 мг/кг. Далее с 35 по 45 идет снижение значений коэффициента с 8,99 до 7,26 мг/кг.

Внесение биоугля из яблочного жмыха из расчета 30 т/га<sup>-1</sup> показывает, что коэффициент микробного дыхания высококультуренной почвы, с 1 по 3 сутки постепенно увеличивается с 9,36 до 9,90 мг/кг. С 3 по 5 сутки содержание коэффициента дыхания резко снижается с 9,90 до 8,57 мг/кг. значений. С 5 по 10 сутки эксперимента значения плавно повышаются с 8,57 до 8,71 мг/кг. Далее с 10 по 15 сутки значения снижаются с 8,71 до 8,31 мг/кг. С 15 по 20 сутки эксперимента значения коэффициента резко увеличиваются с 8,31 до 9,67 мг/кг. С 20 по 45 сутки значения постепенно снижаются с 9,61 до 7,40 мг/кг.

По результату обработки данных, из рисунка 9 и 10 видно, динамика показателя меняется при внесении дозы биоугля из яблочного жмыха, максимальное содержание было заметно при внесении биоугля в дозе 30 т/га<sup>-1</sup> – 8,62 и 7,40 мг/кг. Но оценка показателя в большей степени зависит от наименьшего значения, таким образом самое минимальное значение при внесении дозы в 20 т/га<sup>-1</sup> – 7,71 и 7,26 мг/кг в почвах разной обработки. А это свидетельствует о том, что сформировались хорошие условия для микроорганизмов, и для формирования биомассы они не тратят много энергии, что сказывается на повышении плодородия дерново-подзолистой почвы.

### 5.5 Эмиссия С-СО<sub>2</sub> в почве с различными дозами биоугля

Эмиссия углекислого газа - это процесс, выделения СО<sub>2</sub> с поверхности почвы в атмосферу, он определяется содержанием дыхания корней растений и почвенных микроорганизмов

На рисунке 13 представлена эмиссия С-СО<sub>2</sub> срднкеокультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

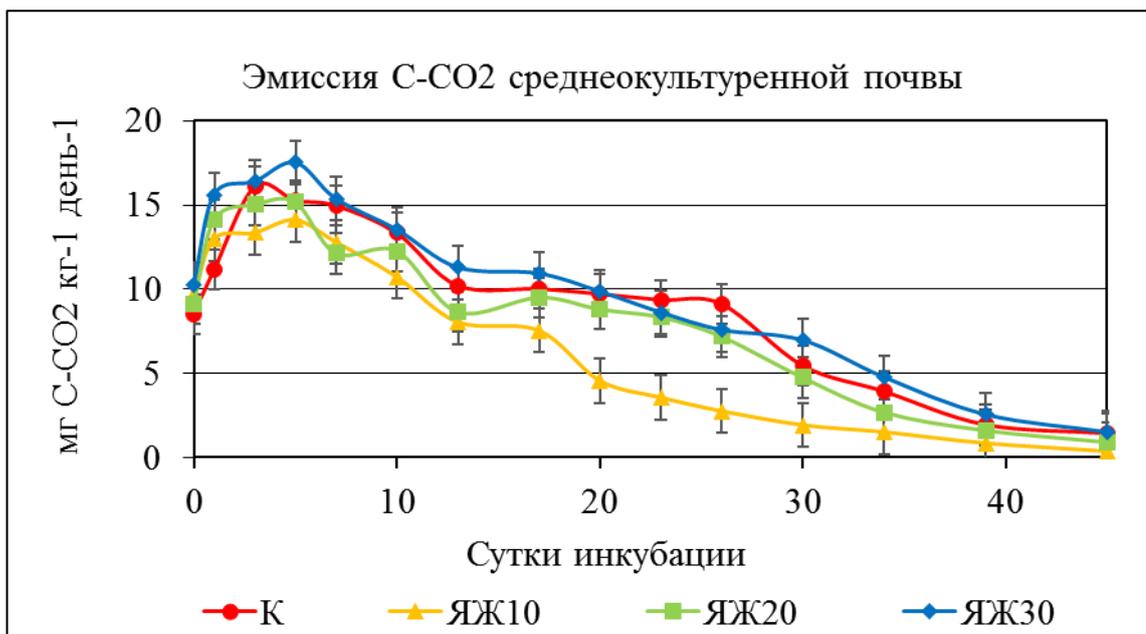


Рисунок 13 - Эмиссия C-CO<sub>2</sub> среднекультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

Анализируя полученные данные эмиссии C-CO<sub>2</sub> среднекультуренной почвы - контроль (без добавления биоугля), можно сказать, что в 1 час инкубации показатель составил – 8,53 мг/кг/сутки, а уже после стечения суток, он резко увеличился до 11,14 мг/кг/сутки. В последующие с 3 до 45 суток инкубации показатель плавно снижался от 11,14 до 1,42 мг/кг/сутки.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 10 т/га<sup>-1</sup> показывает, выделение C-CO<sub>2</sub> среднекультуренной почвы. В 1 час инкубации показатель составил – 9,08 мг/кг/сутки, а уже после стечения 5 суток, он увеличился до 14,11 мг/кг/сутки. С 5 по 17 сутки резко снижается выделение C-CO<sub>2</sub> до значений - с 14,11 по 7,54 мг/кг/сутки. С 17 по 45 сутки показатель эмиссии плавно снижается до значений с 7,54 до 0,37 мг/кг/сутки.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 20 т/га<sup>-1</sup> показывает, выделение эмиссии C-CO<sub>2</sub> среднекультуренной почвы. В 1 час инкубации показатель составил – 9,11 мг/кг/сутки, а уже после стечения 5 суток, он резко увеличился до 15,17 мг/кг/сутки. С 5 по 7 сутки выделение C-CO<sub>2</sub> резко снижается до значений с 15,17 до 12,12 мг/кг/сутки. Далее с 7 по 10

сутки вновь происходит скачек значений эмиссии вверх с 12,12 до 12,27 мг/кг/сутки. С 10 по 13 сутки эксперимента значения резко падают вниз с 12,27 до 8,65 мг/кг/сутки. С 13 по 17 сутки выделение С-СО<sub>2</sub> плавно повышается с 8,65 до 9,51 мг/кг/сутки. С 17 по 45 происходит постепенное снижение эмиссии с 9,51 до 0,91.

Внесение биоугля из яблочного жмыха из расчета 30 т/га<sup>-1</sup> показывает, выделение эмиссии С-СО<sub>2</sub> среднекультуренной почвы. В 1 час инкубации показатель составил – 10,27 мг/кг/сутки, а уже после стечения 5 суток, он резко увеличился до 17,51 мг/кг/сутки. С 5 по 45 сутки выделение С-СО<sub>2</sub> волнообразно снижается до значений с 17,51 до 1,51 мг/кг/сутки.

На рисунке 14 представлена кумулятивная эмиссия С-СО<sub>2</sub> высококультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

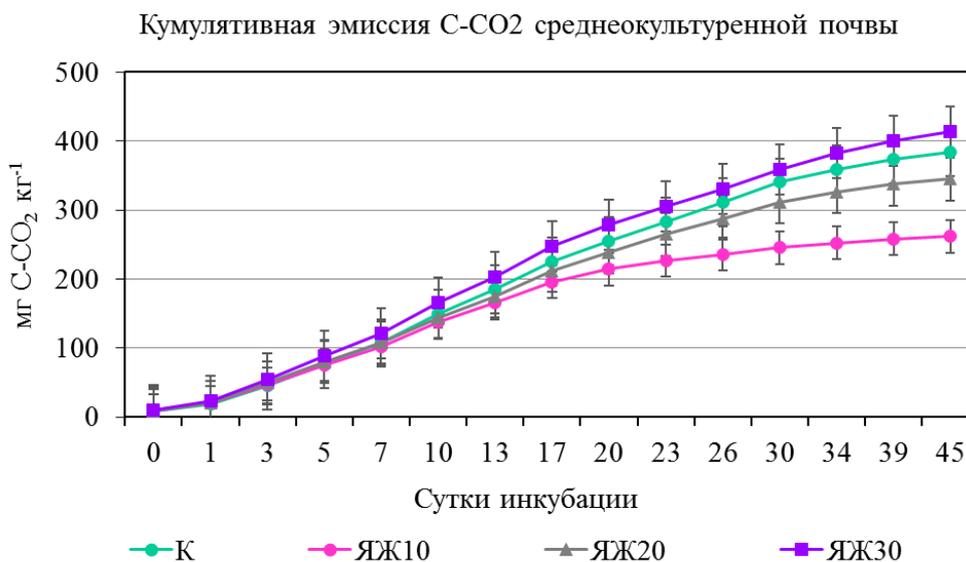


Рисунок 14 - Кумулятивная эмиссия С-СО<sub>2</sub> среднекультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

Анализируя полученные данные кумулятивной эмиссии С-СО<sub>2</sub> среднекультуренной почвы - контроль (без добавления биоугля), можно

сказать, что в 1 час инкубации показатель составил – 8,53 мг С-СО<sub>2</sub>/кг, а уже после стечения суток, плавно увеличился до 384,03 мг С-СО<sub>2</sub>/кг.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 10 т/га<sup>-1</sup> показывает, выделение кумулятивной эмиссии С-СО<sub>2</sub> среднеокультуренной почвы. В 1 час инкубации показатель составил –9,68 мг С-СО<sub>2</sub>/кг. И за весь период эксперимента показатель увеличился до 261,95 мг С-СО<sub>2</sub>/кг.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 20 т/га<sup>-1</sup> показывает, выделение кумулятивной эмиссии С-СО<sub>2</sub> среднеокультуренной почвы. В 1 час инкубации показатель составил – 9,11 мг С-СО<sub>2</sub>/кг. При стечении 45 суток инкубации, показатель увеличился до максимального значения 345,07 мг С-СО<sub>2</sub>/кг.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 30 т/га<sup>-1</sup> показывает, выделение кумулятивной эмиссии С-СО<sub>2</sub> среднеокультуренной почвы. В 1 час инкубации показатель составил – 10,27 мг С-СО<sub>2</sub>/кг. При стечении 45 суток инкубации, показатель увеличился до максимального значения 413,17 мг С-СО<sub>2</sub>/кг.

Таким образом при обработке данных эмиссии С-СО<sub>2</sub> и кумулятивной эмиссии С-СО<sub>2</sub> можно сказать, что из рисунка 13 видно при вносимых дозах 10 и 20 т/га<sup>-1</sup> биоугля из яблочного жмыха приводит к снижению эмиссии, а при внесении 30 т/га<sup>-1</sup> эмиссия ведет себя не стабильно, то поднимается выше контроля (почва без внесения биоугля), то опускается ниже его первоначального значения. Это говорит о том, что при сравнении привносимых доз 10 т/га<sup>-1</sup> и 20 т/га<sup>-1</sup> выбирается самая оптимальная, которая понизит эмиссию выделения С-СО<sub>2</sub>, а именно при 10 т/га<sup>-1</sup> с самым минимальным значением выделения эмиссии – 0,37 мг С-СО<sub>2</sub>/кг, а в расчете среднего значения из всего периода опыта 45 суток – 6,98 мг С-СО<sub>2</sub>/кг. Кумулятивная эмиссия С-СО<sub>2</sub> на рисунке 14 показывает следующие результаты. При внесении биоугля в 10 и 20 т/га<sup>-1</sup> снижается от контроля (без внесения биоугля в почву), а при дозе 30 т/га<sup>-1</sup> показывает превышение значений эмиссии, над контрольным вариантом, тем самым подтверждая, что

при внесении только этих доз биоугля возможно снизить выделение эмиссии С-СО<sub>2</sub> и кумулятивной эмиссии.

На рисунке 15 представлена эмиссия С-СО<sub>2</sub> высококультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

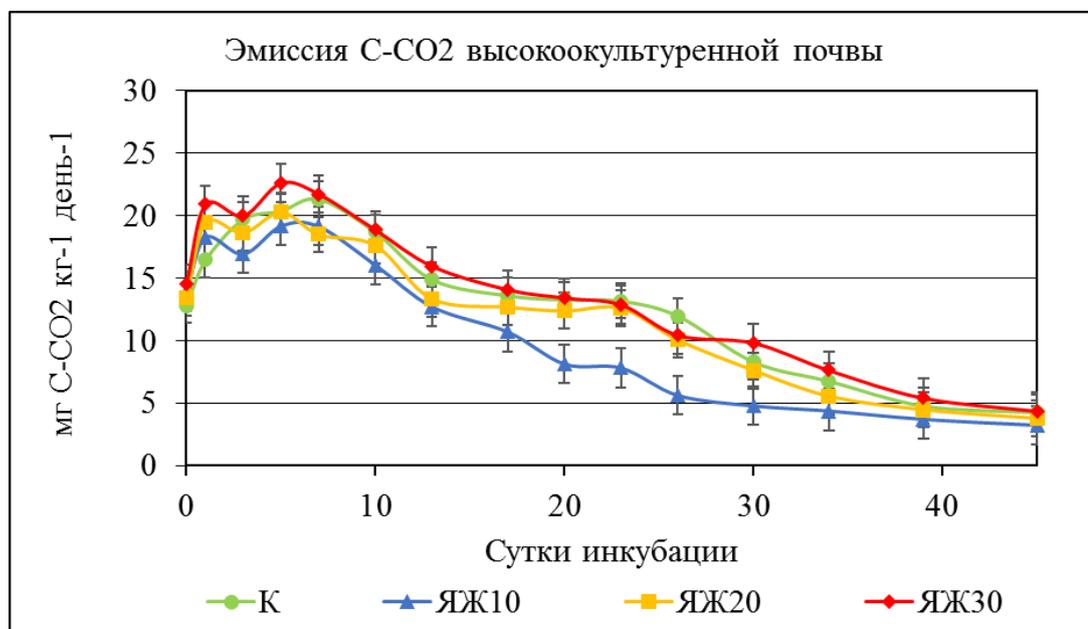


Рисунок 15 - Эмиссия С-СО<sub>2</sub> высококультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

Анализируя полученные данные эмиссии С-СО<sub>2</sub> высококультуренной почвы - контроль (без добавления биоугля), можно сказать, что в 1 час инкубации показатель составил – 12,81 мг/кг/сутки, а уже после стечения 7 суток, он резко увеличился до 21,33 мг/кг/сутки. В последующие с 7 по 45 суток инкубации показатель плавно снижался от 21,33 до 4,29 мг/кг/сутки.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 10 т/га<sup>-1</sup> показывает, выделение С-СО<sub>2</sub> высококультуренной почвы. В 1 час инкубации показатель составил – 13,96 мг/кг/сутки, а уже после стечения суток, он увеличился до 18,30 мг/кг/сутки. С 1 по 3 сутки резко снижается выделение С-СО<sub>2</sub> до значений - с 13,96 по 16,96 мг/кг/сутки. С 3 по 5 сутки

показатель эмиссии поднялась до значений с 16,96 до 19,22 мг/кг/сутки. С 5 по 45 постепенное снижение эмиссии с 19,22 до 3,24 мг/кг/сутки.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 20 т/га<sup>-1</sup> показывает, выделение эмиссии С-СО<sub>2</sub> высококультуренной почвы. В 1 час инкубации показатель составил – 13,39 мг/кг/сутки, а уже после истечения суток, он резко увеличился до 19,43 мг/кг/сутки. С 1 по 3 сутки выделение С-СО<sub>2</sub> снижается до значений с 19,43 до 18,63 мг/кг/сутки. Далее с 3 по 5 сутки вновь происходит скачек значений эмиссии вверх с 18,63 до 20,28 мг/кг/сутки. С 5 по 45 сутки эксперимента значения опускаются вниз с 20,28 до 3,78 мг/кг/сутки.

Внесение биоугля из яблочного жмыха из расчета 30 т/га<sup>-1</sup> показывает, выделение эмиссии С-СО<sub>2</sub> высококультуренной почвы. В 1 час инкубации показатель составил – 14,55 мг/кг/сутки, а уже после стечения одних суток, он резко увеличился до 20,91 мг/кг/сутки. С 1 по 3 сутки выделение С-СО<sub>2</sub> снижается до значений с 20,91 до 20,00 мг/кг/сутки. С 5 по 45 сутки инкубации процесс выделения эмиссии С-СО<sub>2</sub> понижается с 20,00 до 4,38 мг/кг/сутки.

На рисунке 16 представлена кумулятивная эмиссия С-СО<sub>2</sub> высококультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

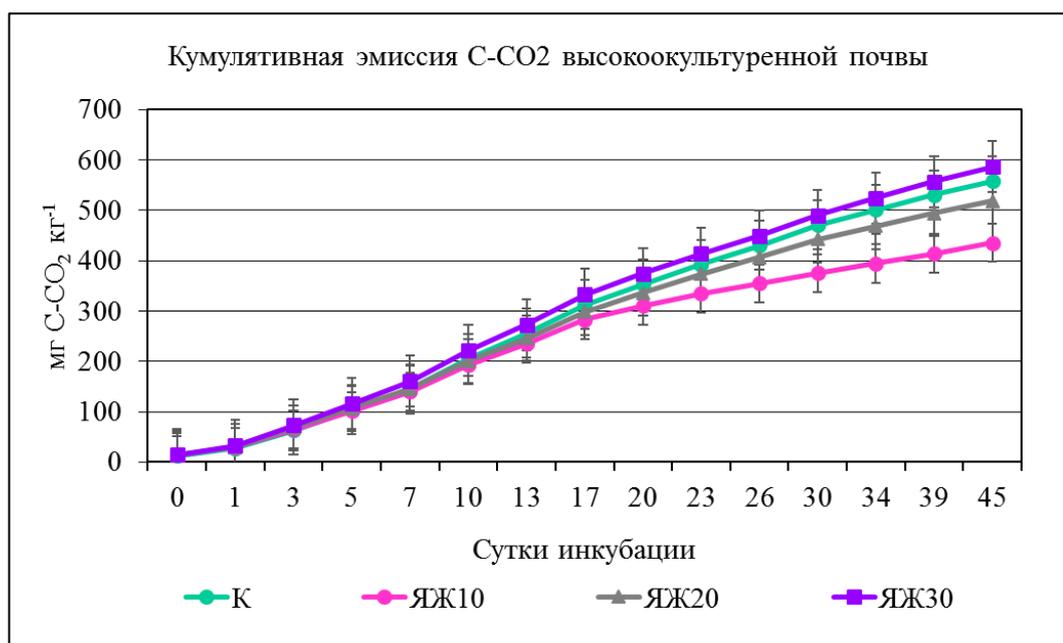


Рисунок 16 - Кумулятивная эмиссия С-СО<sub>2</sub> высококультуренной дерново-подзолистой почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в течении 45 дней инкубации.

Анализируя полученные данные кумулятивной эмиссии С-СО<sub>2</sub> высококультуренной почвы - контроль (без добавления биоугля), можно сказать, что в 1 час инкубации показатель составил –12,81 мг С-СО<sub>2</sub>/кг, а уже после стечения суток, плавно увеличился до 557,85 мг С-СО<sub>2</sub>/кг.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 10 т/га<sup>-1</sup> показывает, выделение кумулятивной эмиссии С-СО<sub>2</sub> высококультуренной почвы. В 1 час инкубации показатель составил –13,96 мг С-СО<sub>2</sub>/кг. И за весь период эксперимента показатель увеличился до 435,55 мг С-СО<sub>2</sub>/кг.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 20 т/га<sup>-1</sup> показывает, выделение кумулятивной эмиссии С-СО<sub>2</sub> высококультуренной почвы. В 1 час инкубации показатель составил –13,39 мг С-СО<sub>2</sub>/кг. При стечении 45 суток инкубации, показатель увеличился до максимального значения 518,67 мг С-СО<sub>2</sub>/кг.

При внесении в пробу биоугля из яблочного жмыха из расчета 30 т/га<sup>-1</sup> показывает, выделение кумулятивной эмиссии С-СО<sub>2</sub> высококультуренной почвы. В 1 час инкубации показатель составил –14,55 мг С-СО<sub>2</sub>/кг. При стечении 45 суток инкубации, показатель увеличился до максимального значения 586,77 мг С-СО<sub>2</sub>/кг.

Таким образом при обработке данных эмиссии С-СО<sub>2</sub> и кумулятивной эмиссии С-СО<sub>2</sub> можно сказать, что из рисунка 15 видно при вносимых дозах 10 и 20 т/га<sup>-1</sup> биоугля из яблочного жмыха приводит к снижению эмиссии, а при внесении 30 т/га<sup>-1</sup> эмиссия ведет себя не стабильно, то поднимается выше контроля (почва без внесения биоугля), то опускается ниже его первоначального значения. Это говорит о том, что при сравнении привносимых доз 10 т/га<sup>-1</sup> и 20 т/га<sup>-1</sup> выбирается самая оптимальная, которая понизит эмиссию выделения С-СО<sub>2</sub>, а именно при 10 т/га<sup>-1</sup> с самым

минимальным значением выделения эмиссии  $-3,24$  мг С-СО<sub>2</sub>/кг, а в расчете среднего значения из всего периода опыта 45 суток  $-10,99$  мг С-СО<sub>2</sub>/кг.

Кумулятивная эмиссия С-СО<sub>2</sub> на рисунке 16 показывает следующие результаты. При внесении биоугля в 10 и 20 т/га<sup>-1</sup> снижается от контроля (без внесения биоугля в почву), а при дозе 30 т/га<sup>-1</sup> показывает превышение значений эмиссии, над контрольным вариантом, тем самым подтверждая, что при внесении только этих доз биоугля возможно снизить выделение кумулятивной эмиссии.

По полученным результатам эмиссии С-СО<sub>2</sub>, можно сказать, что эмиссию возможно снизить при внесении 10 и 20 т/га<sup>-1</sup> биоугля из яблочного жмыха. Так же ее снижение зависит от обработки почвы. В эксперименте между среднекультуренной и высококультуренной почвой, привнесение биоугля снизило эмиссию С-СО<sub>2</sub> в большей степени только в среднекультуренной почве при внесении 10 т/га<sup>-1</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что биологическая активность дерново-подзолистой почвы существенно зависела от степени окультуренности. Базальное дыхание среднеокультуренной дерново-подзолистой почвы, в среднем, в 1,6 раза ниже, чем в высокоокультуренной почве.

Максимальное количество  $\text{CO}_2$  в среднеокультуренной почве отмечалось на 3 сутки эксперимента, тогда как в высокоокультуренной почве – в первые сутки, с дальнейшим падением активности к концу эксперимента.

С увеличением дозы биоугля из яблочного жмыха от 10 до 30 т/га, как в почве со средней, так и высокой степенью окультуренности, базальное дыхание возрастало на 11, 12 и 13%, соответственно, по сравнению с контролем. Существенные различия по биологической активности почвы отмечены только между контрольным вариантом и вариантом почвы с внесением дозы биоугля из расчета 30 т/га.

2. Определено, что субстрат-индуцированное дыхание дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении различных доз биоугля из яблочного жмыха в среднеокультуренной почве возрастало в среднем в 4 раза, а в высокоокультуренной почве в 6 раз, по сравнению с базальным дыханием соответствующих вариантов почвы. Тенденция увеличения СИД с увеличением дозы вносимого биоугля сохранилась и составляла 11, 12 и 13%, по сравнению с контролем.

3. Выявлено, что внесение биоугля увеличивало содержание углерода микробной биомассы (Смик) в почве с разной степенью окультуренности. Как в почве со средней, так и с высокой степенью окультуренности внесение дозы 10 т/га увеличивало количество микробных клеток в 1,1 раза по сравнению с контролем, тогда как внесение 20 и 30 т/га – в 1,2 и 1,3 раза, соответственно. Существенные различия ( $p < 0,05$ ) по данному показателю установлены только в высокоокультуренной почве между вариантами контрольной почвы и внесением дозы биоугля 30 т/га.

4. Рассчитанное метаболическое частное, как интегральный показатель, отражающий состояние почв по запасам питательных веществ в почве и устойчивости системы микробного сообщества, показало, что внесение биоугля в различных дозах создавало более комфортные условия для микробного сообщества, о чём свидетельствует меньшее значение метаболического частного. Наибольшее количество энергии на формирование единицы биомассы затрачивалось в контрольных вариантах почвы без использования мелиоранта - 10,9 и 9  $\text{qCO}_2 \cdot 10^{-3}$ , соответственно.

В среднеоккультуренной почве оптимальные условия для микробного сообщества складывались при применении дозы 20 т/га, тогда как при дозах 10 и 30 т/га различия с контрольным вариантом были не существенные.

Показатель метаболического частного в высокооккультуренной почве был в 1,2 раза ниже, чем в среднеоккультуренной почве. Однако внесение биоугля в различной дозе не привело к достоверному улучшению жизнедеятельности микробного сообщества.

5. Установлено, что эмиссия  $\text{CO}_2$  из дерново-подзолистой супесчаной почвы несущественно возрастала при применении дозы 30 т/га, в среднем на 10%, по сравнению с контролем. Тогда как применение дозы 10 и 20 т/га, как в почве со средней, так и с высокой степенью окультуренности снижало данный показатель на 12-15%. Минимальная кумулятивная эмиссия наблюдалась из вариантов почвы с применением дозы 10 т/га.

Таким образом, изучение влияния различных доз биоугля из яблочного жмыха показало, что применение дозы 30 т/га не желательно для дерново-подзолистой супесчаной почвы с различной степенью окультуренности, тогда как дозы 10 и 20 т/га способствуют снижению эмиссии  $\text{CO}_2$ . При этом решен вопрос с утилизацией остатков сырья, утративших свои потребительские свойства. Однако для более корректных рекомендаций по использованию данных биоуглей в качестве мелиорантов почв требуются полевые исследования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ганькин А.В., Денисов Е.П., Солодовников А.П. Влияние многолетних трав на агрохимические свойства почвы и урожайность последующих культур // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. - 2005. - № 2. - С. 5–6.
2. Голодяев Г.П. Биологическая активность горно-лесных почв южного Приморья. // – Л.: Изд-во Наука, 1972. – 246 с.
3. Деева Н. Ф., Ильина А. А. Атлас почв. // - М.: Изд-во Астрель, 2011, - 198 с.
4. Дурова А.С. Исследование влияния биоугля на биологические свойства почвы и качество семян хвойных пород в лесных питомниках. // - СПб.: Изд-во Наука, 2018. – 155 с.
5. Козлов В.Н., Нимвицкий А.А. Технология пирогазетической переработки древесины. // - М.: Изд-во Гослесбумиздат, 1954. – 64 с.
6. Крейер К.Г., Банкина Т.А., Орлова Н.Е., Юрьева Г.М. Практикум по агрохимическому анализу // - СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2005 г. 88 с.
7. Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. // - М.: Изд-во Наука, 2007. - 315 с.
8. Материалы международного научного семинара «Биоуголь: свойства, применение в сельском хозяйстве, влияние на почвы, растения и окружающую среду». ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия, 08 декабря 2020. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. – 124 с.
9. Порфирьев Б., Широков А., Колпаков А. Климат для людей, а не люди для климата // Изд-во Эксперт, 2020. - 47 с.
10. Рижия Е.Я. Бучкина Н.П., Мухина И.М. Применение биоугля в сельском хозяйстве Российской Федерации. Методические рекомендации. // - СПб.: Изд-во АФИ, 2014.
11. Рижия, Е.Я. Потенциальная нитрификационная и денитрификационная способность автоморфных и полугидроморфных дерново-подзолистых почв / Е.Я. Рижия, И.М. Мухина, М.А. Москвин, Н.П.

Бучкина, Е.В. Балашов // *Агрофизика*. – 2014. – № 2. – С. 1-7.

12. Семенов В.М., Тулина А.С., Семенова Н.А., Иванникова Л.А. Гумификационные и негумификационные пути стабилизации органического вещества в почве // *Почвоведение*. - 2013. - № 4. - С. 393–393.

13. Титова, В.И. Методы оценки функционирования микробсообщества почвы, участвующего в трансформации органического вещества. // *Нижний Новгород*, 2012. - 64 с.

14. Юдкевич Ю.Д. Производство древесного угля. // *Леспромформ*. – 2010. – №3. – С. 140-145.

15. Юрьев Ю.Л. Пиролиз древесины. Учебное пособие для вузов // *Екатеринбург*: Изд-во УГЛТА, 1997. – 99 с.

16. Czernik, S. Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil / S. Czernik, A. Bridgwater // *Energy and Fuels*. – 2004. – №18 – P. 590-598.

17. Ding Y., Liu Y., (2016) Biochar to improve soil fertility. A review // *Agron. Sustain. Dev.* – 18 p.

18. Downie A., Crosky A., Munroe P. Physical properties of biochar. In *Biochar for Environmental Management. Science and Technology*; Lehmann, J., Joseph, S., Eds.; Earthscan: London, UK, 2009; pp. 13–32.

19. Glaser B., Lehmann J., Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and fertility of soils*. 2002. 35: 219–230.

20. Kuzyakov Y., Bogomolova I., Glaser B. Biochar stability in soil: Decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific <sup>14</sup>C analysis // *Soil Biology and Biochemistry* – 2014. – 70. – P. 229-236.

21. Lehmann J., Rillig M.C., Thies J., Masiello C.A., Hockaday W.C., Crowley D. (2011) Biochar effects on soil biota—a review // *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 43: 1812-1836.

22. Lehmann, J. Bio-energy in the black / J. Lehmann // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2007a. – №5 – P. 381-387.

23. Major J., Lehmann J., Rondon M., Goodale C., Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. *Glob. Chang. Biol.* 2010. V.16. Pp. 1366–1379.

24. Malinska, K. Legal and quality aspects of requirements defined for biochar. *Inzynieriai Ochrona Srodowiska* 2015, 18, 359–371.

25. Rincon, S.L. & Gomez, A.. (2012). Comparative behaviour of agricultural biomass residues during thermochemical processing. *Global Nest Journal.* 14. 111-117.

26. Rizhiya E.Y., Buchkina N.P., Mukhina I.M., Belinets A.S., Balashov, E.V. (2015) Effect of biochar on the properties of loamy sand Spodosol soil samples with different fertility levels: A laboratory experiment // *Eurasian Soil Science.* Vol. 48, 2: 192-200.

27. Saletnik, Bogdan. (2019). Biochar as a Multifunctional Component of the Environment-A Review. *Applied Sciences.* 9. 1139. 10.3390/app9061139.

28. Sohi S., Lopez-Capel E., Krull E., Bol R. (2009) Biochar, climate change and soil: A review to guide future research// *CSIRO Land and Water Science Report.* 57 p.,

29. Verheijen F., Jeffery S., Bastos A.C. Biochar application to soils, a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Luxembourg: Office for the Official Publications of the European Communities, 2009. – 149 p.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Карта эмиссии CO<sub>2</sub> почвенным покровом России.

