



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 Экологическое состояние дерново-подзолистой почвы при внесении различных биогумусов

Исполнитель \_\_\_\_\_ Устюжанина Кристина Алексеевна  
(Ф.И.О. полностью)

Руководитель \_\_\_\_\_ кандидат биологических наук, доцент  
(для выполнения работы)  
Рижия Елена Яновна  
(Ф.И.О. полностью)

«Защителю допускаю»  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ (подпись)  
\_\_\_\_\_ кандидат географических наук, доцент  
(для выполнения работы)  
) \_\_\_\_\_  
Дроздов Владимир Владимирович  
(Ф.И.О. полностью)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Санкт-Петербург,  
2022

## Оглавление

Введение .....	4
Глава 1. Обзор литературы .....	6
1.1. Оценка экологического состояния почвенно-земельных ресурсов Ленинградской области .....	6
1.2. Основные характеристики дерново-подзолистых почв .....	8
1.3. Мировой опыт внесения биоуглей в почву.....	10
1.4. Основная биомасса, используемая для приготовления биоугля.....	11
1.4.2. Биоуголь из растительных остатков .....	12
2. Объекты .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Почва.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Биоуголь.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3. Закладка лабораторного эксперимента .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4. Методы.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Глава 3. Полученные результаты .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1. Влияние различных биоуглей на динамику кислотности почвы.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2. Динамика общего углерода в дерново-подзолистой почве с разными биоуглями .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3. Содержание минеральных форм азота в дерново-подзолистой супесчаной почве с разными биоуглями .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.1. Определение нитратного азота .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4. Влияние биоугля на содержание ТМ в почве. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Заключение .....	14
Список использованной литературы.....	17

## Используемые сокращения

ТМ	Тяжелые металлы
ЛО	Ленинградская область
CO <sub>2</sub>	Углекислый газ
Собщ	Общий углерод
N-NO <sub>3</sub>	Нитратный азот
pH <sub>KCl</sub>	Обменная кислотность
N-NH <sub>4</sub>	Ион аммония
ПДК	Предельно допустимая концентрация
Zn	Цинк
Cu	Медь
Ni	Никель
Co	Кобальт
Pb	Свинец
Fe	Железо
Mn	Марганец

## Введение

Увеличение антропогенной нагрузки на окружающую природную среду требует оценки ее экологического благополучия. Среди компонентов окружающей среды особое внимание уделяется почвам, по изменению свойств которых можно судить о фактическом развитии процессов. Столь важное значение почвы обусловлено разнообразием их экологических функций и относительно невысокой динамичностью многих свойств, что позволяет использовать почвенный мониторинг для индикации воздействий на окружающую природную среду, а знание и оценка химического состава служит интегральным показателем эффективности природоохранных мероприятий [9].

Решение проблемы эффективного и экологически безопасного управления качеством почв остается актуальнейшей проблемой современности, которое возможно при рациональном природопользовании. Качество почвы определяется наличием в ней воздуха, минеральных веществ, почвенной влаги и гумуса [12]. Различные минеральные и органические удобрения, а также мелиоранты, могут обеспечить полноценное развитие почвенных органо-минеральных комплексов. В условиях изменяющегося климата, когда пристальное внимание уделяется всем источникам углеродного следа, в том числе и из почв сельскохозяйственной направленности, стал широко применяться карбонизированный продукт, полученный бескислородным пиролизом, получивший название биоуголь. Согласно литературным данным, внесение биоугля в почву способствует не только долговременной секвестрации углерода в почве, но и улучшению физического, биологического и физико-химического качества почв [22],[20].

Данный продукт, не смотря на огромное содержание органического углерода, находящегося в недоступной биоте и растениям ароматической форме, не является органическим удобрением, а мелиорантом. Использование в сельском хозяйстве биоугля, как продукта утилизации органических

сельскохозяйственных и промышленных отходов, является одним из перспективнейших направлений рационального природопользования. Кроме того, внесение данного продукта в почву рассматривается как способ снижения эмиссии парниковых газов из почв, что также является актуальнейшим направлением политики нашего государства в вопросе глобального изменения климата [16, 18].

В нашей стране более известен древесный уголь, предназначение которого ориентировано на использование в металлургии, в коммунальном хозяйстве, в медицине (активированный уголь), но не в сельском хозяйстве (кроме золы, получаемой от сжигания растительных остатков).

Перспективы широкого применения биоугля в сельском хозяйстве остаются открытыми и требуют междисциплинарных исследований в каждом регионе, где предполагается его использование. Для обоснования эффективности использования в сельском хозяйстве мелиорантов из карбонизированной биомассы и представления направленности их влияния на процессы, протекающие в почве, необходимо иметь достоверные данные о трансформации химических соединений в почве. Особенно это касается почв умеренной зоны, где данные вопросы недостаточно изучены [13].

Особое внимание в настоящее время уделяется биоуглю, полученному из отходов агропромышленного комплекса – шелухи семян подсолнечника и риса, фруктовым косточкам, скорлупы грецкого ореха и фундука и т.д., как остаткам сырья, утратившим свои потребительские свойства, но долговременное хранение которых увеличивает потоки CO<sub>2</sub> в атмосферу. Данные биоугли стали производиться в РФ с 2021 года и поэтому требуется их предварительное тестирование для дальнейшей рекомендации перед использованием в земледелии. Поэтому данная работа является актуальной.

Цель данного исследования – оценка экологического состояния дерново-подзолистой супесчаной почвы после внесения различных биоуглей.

Задачи исследования:

1. Изучить влияние различных биоуглей на динамику кислотности почвы

3.2. Оценить влияние различных биоуглей на изменение содержания общего углерода

3.3. Определить динамику минерального азота в почве при использовании различных видов биоуглей

3.4. Установить влияние биоугля на содержание ТМ в почве.

## Глава 1. Обзор литературы

1.1. Оценка экологического состояния почвенно-земельных ресурсов Ленинградской области

Ленинградская область представляет собой регион, в котором интенсивно развивается большинство отраслей сельского хозяйства. В настоящее время Ленинградский регион, входящий в состав Северо-Западного федерального округа, производит около 40% валовой продукции сельского хозяйства СЗФО. Более того, следует отметить, что в настоящее время Ленинградская область производит 1,8% всего объема сельскохозяйственной продукции страны.

Достижение высоких показателей в развитии сельского хозяйства во многом зависит от того, насколько эффективно используются земельные ресурсы сельскохозяйственного назначения. На 1 января 2021 года земли сельскохозяйственного назначения в Ленинградской области составляют 1703,0 тыс. га. К данной категории земель относят земли, предоставленные сельскохозяйственным предприятиями и организациям, земли фермерских хозяйств, а также земли, предоставленные для ведения личного подсобного хозяйства, садоводства, дачного хозяйства, животноводства, огородничества, сенокосения и выпаса сельскохозяйственных животных [5].

В Ленинградской области эти земли имеют свои особенности, в отличие от южных регионов России: в составе данной категории земель большой удельный вес занимают лесные земли – 848,4 тыс. га (49,8%), сельскохозяйственные угодья составляют 617,5 тыс. га (36,3%) (данные на 01.01.2021 г.). В составе сельскохозяйственных угодий пашня составляет 359,8 тыс. га (21,2%). Под многолетними насаждениями занято 36,4 тыс. га (2,15), под сенокосами 120,2 тыс. га (7%), под пастбищами – 101,1 тыс. га (6%) [5].

Главные пользователи сельскохозяйственных угодий – сельскохозяйственные предприятия и организации, а также граждане, занятые производством сельскохозяйственной продукции, в собственности, владении и использовании которых находится 630,4 тыс. га сельскохозяйственных угодий. При этом хозяйственные товарищества и общества имеют в своем пользовании 338,4 тыс. га сельскохозяйственных угодий, производственные кооперативы 30,9 тыс. га, государственные унитарные предприятия 28,0 тыс. га, научно-исследовательские и учебные учреждения и заведения соответственно 15,3 тыс. га. Реформирование земельных отношений в России привело к формированию различных форм собственности на землю. В Ленинградском регионе на 1 января 2021 года в государственной собственности находилось 1248,8 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения, в собственности граждан – 361,4 тыс. га, в собственности юридических лиц – 92,8 тыс. га. Наибольшая часть земель сельскохозяйственного назначения находится в государственной и муниципальной собственности – 72,8% [5]. При этом значительная часть земель сельскохозяйственного назначения продолжает использоваться гражданами без оформления соответствующих документов.

Достижение высоких показателей аграрного производства возможно лишь на основе неуклонного повышения качественного состояния земель.

За последние десятилетие в Ленинградском регионе в результате неблагоприятной экономической ситуации отмечается нарастание темпов деградации почв. Очень широко распространено зарастание

сельскохозяйственных угодий кустарниками и мелколесьем, подтопление и переувлажнение.

Результаты исследования использования и состояния земель на 1 января 2021 года показывают, что 25,12 тыс. га земель подвержены водной эрозии, 58,7 тыс. га характеризуется подтоплением и переувлажнением. Работы по анализу и качественной оценке земель не проводятся более 25 лет [11].

Анализ агрохимических и агрофизических показателей почв по данным выборочных обследований говорит о том, что наметилась тенденция увеличения площадей сельскохозяйственных угодий, обладающих неблагоприятными свойствами практически по всем видам почв.

Развитие интенсивных методов хозяйствования, которые активно применялись в Ленинградском регионе в дореформенный период, привело к ускоренному истощению природно-ресурсного потенциала, разрушению почвенных экосистем, загрязнению поверхностных и грунтовых вод. К тому же изменение организационных форм хозяйствования оказало существенное влияние на развитие сельского хозяйства в целом[5].

Для Ростовской области таким отходом является шелухаподсолнечника. Она плохо подвергается переработке и вторичному использованию, вследствие чего накапливается в больших объёмах. Также, шелуха подсолнечника не содержит токсических веществ, что делает её хорошим сырьём для производства биочара.

## 1.2. Основные характеристики дерново-подзолистых почв

Формирование дерново-подзолистых почв происходит в результате дернового и подзолистого процесса почвообразования. Верхняя часть профиля состоит из гумусового, перегнойно- аккумулятивного горизонта, который формируется под действием дернового процесса.

Описание профиля Дерново-подзолистой почвы представлено в таблице 1.



Таблица-1. Описание профиля Дерново-подзолистой почвы

Индекс горизонта	Морфологические признаки
A <sub>0</sub>	лесная подстилка бурых или коричневых тонов, состоящая из растительных остатков различной степени разложения, при мощности более 7 см разделяется на два-три подгоризонта
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	переходный органоминеральный горизонт, содержащий значительное количество как минеральных частиц, так и полуразложившихся органических остатков
A <sub>1</sub>	гумусовой горизонт мощностью от 3 до 20 см и более, серый или белесо-темно-серый, комковато-порошистой или порошистой структуры, рыхлый
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	переходный, неравномерно окрашенный горизонт: участки с серым и белесо-серым окрашиванием чередуются с участками, окрашенными в буроватые и палевые тона; структура комковато-порошистая, заметна горизонтальная делимость
A <sub>2</sub>	подзолистый горизонт, белесовато-светло-серый, иногда с легким палевым оттенком; структура плитчатая с заметной тонкой чешуйчатостью или листоватостью, в песчаных почвах часто бесструктурен
A <sub>2</sub> B	переходный горизонт мощностью 10-20 см, буровато-белесый, непрочной комковато-мелкоореховатой структуры, содержит обильную белесую присыпку, встречаются языки горизонта A <sub>2</sub>
B	иллювиальный горизонт, самый плотный в профиле, бурый, коричнево-бурый или красно-бурый, ореховатой, ореховато-призматической структуры, может подразделяться на подгоризонты (B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>3</sub> ), в каждом из которых становится менее интенсивным окрашивание, более грубой и крупной структура, меньшей плотность
BC	переходный, светло-бурых, светло-коричневых тонов, глыбистой или глыбисто-призматической структуры
C	Материнская порода

Характеристики дерново-подзолистой почвы:

- Кислая реакция pH 4-5;
- Обменная кислотность 1-2 мг-экв/100 г.
- Гидролитическая кислотность 3-6 мг-экв/100 г;
- ЕКО 5-15 мг-экв/100 г;
- степень насыщенности основаниями 30-70%.

Дерново-подзолистые почвы имеют кислую реакцию, высокую обменную кислотность (1-2 мэкв на 100г) и гидролитическую кислотность (3-6 1-2 мэкв на 100г). Емкость поглощения низкая (5-15 мэкв), степень осыщенности основаниями (30-70%) [14].

Агрохимические показатели сильно варьируются в зависимости от механического состава и степени окультуренности (таблица 2).

Таблица-2. Агрохимические показатели.

Степень окультуренности	pH солевой вытяжки	Мощность пахотного горизонта, см	Содержание гумуса, %	Подвижный фосфор мг на 100г почвы	Подвижный калий мг на 100г почвы
Слабая	4-4,5	до 20	1,5-2	до 5	до 10
Средняя	4,6-5,0	20-22	2-2,5	5-10	10-15
Сильная	5,1-6,0	22-25	2,5-4	18-25	20-30

Повышением степени окультуренности почв снижается кислотность, увеличивается содержание гумуса и общего азота, подвижного фосфора и обменного калия, повышается плодородие почв [1].

### 1.3. Мировой опыт внесения биоуглей в почву

Применение карбонизированных материалов в сельском хозяйстве В конце 90-х годов XX века ряд ученых из Германии и США обратил внимание на антропогенные, искусственно созданные почвы, активно используемых в сельском хозяйстве бразильской части Латинской Америки (Бразилия, Колумбия, Эквадор, Французская Гвиана). Данные почвы, получившие название «Terra Preta», сформировались в результате регулярного сжигания местными жителями травянистой и кустарниковой растительности и заделки полученного материала в пахотный слой. Некоторые участки данных почв датируются, по проведенному спектральному и радиологическому анализу угля, началом нашей. При этом почвы «Terra Preta» резко отличаются от естественных почвенных аналогов данной местности, поскольку обладают высоким уровнем агрохимической, агрофизической и микробиологической

окультуренности, связанной с содержанием большого количества угля в профиле [8]. Почвы, с большим количеством древесного угля в генетических профилях почв, были обнаружены также в Европе – «немецкие черноземы» Германии, в Африке (Гана, Сьерра-Леоне, Либерия, Гвинея), в Индонезии.

Следует отметить, что использование карбонизированных материалов в сельском хозяйстве нашей страны также не является исторически новым. Во времена Древней Руси, при переходе к оседлому образу жизни, практиковалось подсечно-огневое земледелие. Угольную пыль вносили в почву при посадке корнеплодов и луковичных, что являлось дешевым и высокоэффективным способом борьбы с болезнями растений. Внесение золы, как поставщика макро- и микроэлементов, практикуется фермерами на садово-приусадебных участках и в настоящее время.

#### 1.4. Основная биомасса, используемая для приготовления биоугля

Из различных материалов возобновляемой биомассы сельскохозяйственных и лесных остатков можно производить биоуголь. Так же для производства биоугля используют отстой сточных вод, отходы пищевой промышленности, а также птичий помет и навоз крупного рогатого скота.

На рисунке 1. представлено процентное соотношение основных отходов органического природного происхождения по усредненным данным 2020-2021 годов.

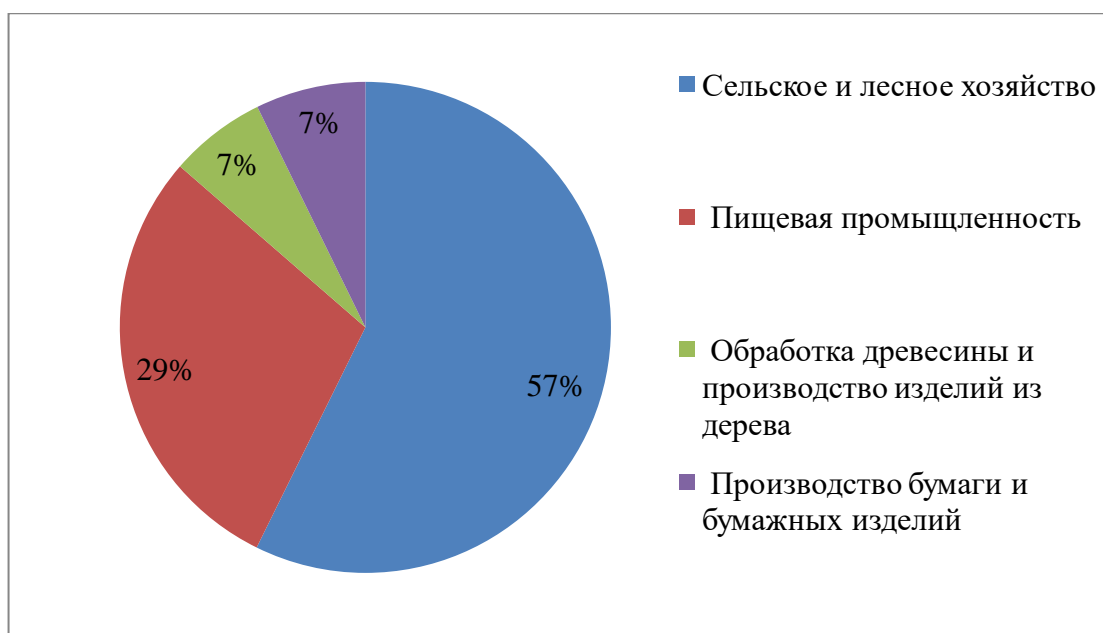


Рисунок 1. – Доля основных отходов органического природного происхождения, среднее за 2020-2021 годы.

Проблема отходов, в том числе рассмотренных органических отходов в стране в целом решается, но остается существенный процент неиспользованных отходов, негативно влияющих на окружающую среду, но которые потенциально могут использоваться в качестве сырья для производства биоугля [7].

#### 1.4.1. Древесный биоуголь

Для производства биоугля чаще всего используют отходы лесной промышленности и аграрной отрасли. Способность биоугля вступать в химические реакции зависит от размера его кусков, степени пористости, модификации углерода, находящегося в его ячейках. Выше перечисленные свойства зависят от породы и качества исходной древесины.

#### 1.4.2. Биоуголь из растительных остатков

Биоуголь - материал создаваемой из растительных остатков, при пиролизе, более устойчив к разложению чем исходная биомасса и любое не пиролезное органическое вещество. Потенциальное увеличение устойчивости углерода почв, включенного в биоуголь по сравнению с углеродом, содержащимся в растительной биомассе. Предполагаемое время полного разложения углерода в биоугле находится в диапазоне от сотен до тысяч лет, в то время как период разложения углерода растительного материала находится в диапазоне десятилетий. Внесение биоугля уменьшает поток  $\text{CO}_2$  из почв в атмосферу и позволяет углероду постоянно храниться в почве [21].

#### 1.5. Влияние биоугля на химические свойства почв и содержание тяжелых металлов в почвах

Добавленный биоуголь в почву способен стабилизировать Cd, Cu, Ni, Pb и Zn и снижать биодоступность за счет усиленной сорбции (основанной на электростатическом притяжении, ионном обмене и поверхностном комплексообразовании) и химического осаждения (возникающего в результате повышения pH почвы и зольного добавления карбонатов и фосфатов). Эффективность стабилизации в значительной степени определяется катионообменной емкостью, pH и зольностью биочара. Биоуголь также способен адсорбировать неполярные органические соединения (за счет заполнения пор, разделения и гидрофобного эффекта) и полярные органические соединения (за счет H-связи, электростатического притяжения, специфического взаимодействия и поверхностного осаждения). Эффективность адсорбции контролируется удельной площадью поверхности биочаров, микропористостью и гидрофобностью. Биоуголь может способствовать минерализации органических загрязнителей за счет усиления микробной активности почвы [21].

## Заключение

1. Установлено, что внесение всех исследуемых видов биоугля в среднеокультуренную и высокоокультуренную дерново-подзолистую почву приводило к существенному ( $p < 0.05$ ) изменению динамики  $pH_{KCl}$  по сравнению с контрольным вариантом от кислого до нейтрального состояния почв. Максимальное изменение  $pH_{KCl}$  зафиксировано в почве с добавлением биоугля из шелухи подсолнечника в высокоокультуренную и среднеокультуренную почву, которое достигало в конце эксперимента значений 6,6 и 6, соответственно.

2. В ходе анализа полученных данных было установлено, что внесенные в дерново-подзолистую супесчаную почвы с разной степенью окультуренности биоугли несущественно влияли на изменение содержания общего углерода по сравнению с контролем. Основные различия были связаны со степенью окультуренности, и высокоокультуренная почва превышала содержание  $C_{общ}$  в 1,7 раза, по сравнению со среднеокультуренной почвой. По степени влияния на содержание данного показателя в вариантах почвы с разной степенью окультуренности изучаемые биоугли расположились в следующий убывающий ряд: биоуголь из шелухи подсолнечника > древесная опилка > скорлупа грецкого ореха.

3. Определено, что внесение изучаемых биоуглей приводило к изменению содержания минерального азота в почвах. Анализ динамики нитратного азота показал, что увеличение концентрации данной формы минерального азота как в среднеокультуренной, так и в высокоокультуренной почве в течение 20 суток, с дальнейшим падением концентрации к исходным значениям в конце эксперимента. Максимальные значения были установлены в вариантах с внесением биоугля из шелухи подсолнечника – 24,1 и 28,3 мг/кг почвы, соответственно для средне- и высокоокультуренной почвы.

В среднеокультуренной почве внесение биоугля из шелухи подсолнечника увеличивало в среднем содержание нитратного азота в 1,6 раза,

биоугля из опилок – в 1,5 раза, а биоугля из грецких орехов – в 1,3 раза, по сравнению с контролем.

Внесение изучаемых вариантов биоугля в высококультуренную почву приводило к схожей тенденции изменения содержания нитратного азота, как и в среднекультуренной почве. Внесение биоугля их шелухи подсолнечника увеличивало в среднем концентрацию в 2 раза, биоугля из опилок – в 1,9 раза, а биоугля из грецкого ореха – в 1,8 раз, по сравнению с контрольным вариантом.

4. Внесение биоуглей достоверно увеличивало содержания аммонийного азота в почве. По степени влияния на содержание данного соединения в дерново-подзолистой супесчаной почве с разной степенью окультуренности биоугли расположились в следующий убывающий ряд: биоуголь из шелухи подсолнечника > биоуголь из скорлупы грецкого ореха > биоуголь из древесной опилки и превосходило контрольные варианты в среднекультуренной почве в 1,8, 1,7 и 1,5 раза, а в высококультуренной почве – в 2,7, 2,5 и 2,3 раза, соответственно вариантам.

5. Установлено, что внесенные биоугли не превышали фоновые значения и значения ПДК химических элементов в почве. Среднее содержание водорастворимой меди, кобальта, свинца и цинка в почвах с биоуглями, уменьшилось по сравнению с контролем, тогда как железа и марганца – увеличилось на 12-20 %. Кроме того, внесение биоугля из грецкого ореха несущественно повысило содержание цинка.

Результаты расчётов значений коэффициента концентрации (Кс) химических веществ показали, что загрязнение почвы по категории загрязнения тяжелыми металлами относится к допустимым, а по количеству содержания в почвах расположились в следующий убывающий ряд: железо > марганец > цинк > медь > никель > кобальт > свинец.

6. Выявлено, что наиболее перспективным мелиорантом из изучаемых биоуглей является приготовленный из шелухи подсолнечника. Но в целом, внесение биоугля в дерново-подзолистую супесчаную почву с разной

степенью окультуренности не приводит к ухудшению изучаемых показателей экологического состояния почв. Кроме того, решен вопрос утилизации отходов, утративших свои потребительские свойства в биоуголь, возможно его захоронение в почве, не приводящее к деградации почв.



## Список использованной литературы

1. Агрохимия. - 2-е изд., перераб. и доп. –М.Колос, 1984. -304 с. под ред. Смирнов П.М., Муравин Э.А.
2. Банкина Т.А., Рижия Е.Я., Орлова Н.Е., Милосердова В.А.,Груздева Ю.И. Влияние биоугля на содержание лабильного углерода и минеральных форм азота в дерново-подзолистой супесчаной почве. В сборнике: Почвы в биосфере Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. Ответственный редактор А.И. Сысо.2018 С. 21-25.
3. Безуглова О.С., Горбов С.Н., Карпушова А.В., Тагивердиев С.С. сравнительная характеристика методов определения органического углерода в почвах // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-7. – С. 1576-1580.
4. Бусев А. И. Колометрические (фотометрические) методы определения неметаллов. Издательство иностранной литературы.-Москва 1963г.-156с
5. Доклад о состоянии и использовании земель в Ленинградской области // Официальный сайт Администрации Ленинградской области. URL: <http://www.lenobl.ru> (дата обращения: 11.01.2022).
6. Кидин В. В., Торшин С. П. Агрохимия.-Учебник МСХА им. К. А. Тимирязева. ООО «Проспект», 2015г, 324 с.
7. 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 г. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. – 124 С.
8. Минеев В.Г. Агрохимия Учебник . 2-е изд., перераб. и доп. М: Изд-во МГУ, КолосС, 2004 — 720 с, [16] л. ил.: — (Классический университетский учебник).

9. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв – М.: Академический проект, 2007. 237 с.
10. Мудрых Н.М., Алёшин М.А. Пособие к лабораторным занятиям по агрохимии. 324 с.
11. Об утверждении результатов государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения в Ленинградской области // Независимая оценочная компания «Топ-оценка»: [сайт]. URL: <http://www/top-osenka.ru> (дата обращения: 11.01.2022).
12. Розанов Б.Г. Морфология почв: учебник для высшей школы. М.: Академический проект, 2004. 432с.
13. Швед И. М., Вaleyша Е. Ф. Влияние способов основной обработки почвы и систем удобрения на агрофизические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. №1. С.77-83.
14. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия/Под ред. Б.А. Ягодина. — М.: Колос 2002. — 584 с.: ил.
15. Anderson C.R., Condron L.M., Clough T.J., Fiers M., Stewart A., Hill R.A. and Sherlock R.R. Biochar induced soil microbial community change: Implication for biochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus // *Pedobiologia*. 2011. 54(5-6): 309-320.
16. Blagodatsky S.A., Yevdokimov I.V., Larionova A.A., Richter O. Microbial growth in soil and nitrogen turnover: a theoretical model considering the activity state of microorganisms // *Soil Biology and Biochemistry*. 1998;30(13):1743-1755.
17. Ecosystems - A Review. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 2006 11: 403-427.
18. Grossman J.M., O'Neill B.E., Tsai S.M., Liang B., Neves E., Lehmann J., Thies J.E. Amazonian Anthrosols support similar microbial communities that differ distinctly from those extant in adjacent, unmodified soils of the same mineralogy // *Microbial Ecology*. 2010; 60:192-205.

19. Lehmann J., Gaunt J., Rondon M. Biochar Sequestration in Terrestrial Ecosystems - A Review. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 2006 11: 403-427.
20. McCormack S.A., Ostle N., Bargett R.D., Hopkins D.W. and Vanbergen A.J. Biochar in bioenergy cropping systems: impacts of soil faunal communities and linked ecosystem processes // *Global Change Biology Bioenergy*. 2013;5(2):81-95.
21. Mingxin Guo , Weiping Song ,Jing Tian. Biochar-Facilitated Soil Remediation: Mechanisms and Efficacy Variations // *Environ*.2020
22. Novak J.M., Busscher W.J., Laird D.L., Ahmedna M., Watts D.W., Niandou M.A.S. Impact of biochar amendment on fertility of a Southeastern Coastal plain soils // *Soil Science*. 2009;174(2):105-112.