



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
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

На тему Биологическая активность и эмиссия диоксида углерода из некоторых
почв Ленинградской области

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)

« ____ » _____ 2024 г.

Санкт-Петербург

2024

Оглавление	
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	7
1.1 Эмиссия CO ₂ почвы и ее роль в биосфере.....	7
1.2 Влияние разных факторов на эмиссию CO ₂ почвы.....	8
1.2.1 Гидротермические условия.....	9
1.2.2 Химические и физические свойства почвы.....	10
1.3 Биологическая активность.....	10
2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
2.1 Объекты.....	12
2.1.1 Характеристика объектов исследования.....	13
2.1.2. Полевые исследования.....	16
2.2 Методы.....	20
2.2.1 Эмиссия CO ₂ из почвы.....	20
2.2.2 Микробное дыхание почвы.....	21
2.2.3 Химические свойства почв.....	22
2.2.4 Статистическая обработка экспериментальных данных.....	22
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	23
3.1 Химические показатели почв.....	23
3.2. Показатели функционирования микробного сообщества почвы....	33
3.2.1. Содержание органического углерода.....	33
3.2.2 Базальное дыхание почвы.....	38
3.2.3 Содержание микробного углерода в почвах.....	42

3.2.4 Отношение Смик/Сорг	46
3.3 Эмиссия диоксида углерода из почв реперных участков Ленинградской области	48
4. Содержание тяжелых металлов в пахотных горизонтах почв Ленинградской области	51
4.1 Концентрация меди.....	51
4.2. Концентрация цинка в профиле почв	54
4.3 Концентрация кобальта в профиле исследуемых почв.....	56
4.4 Концентрация свинца в профиле почв исследуемых участков..	58
4.5 Концентрация кадмия в профиле почв исследуемых реперных участков.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	67
РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ.....	71
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	73
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	78

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

СО ₂	Диоксид углерода
ОС	Окружающая среда
БА	Биологическая активность
ТМ	Тяжелые металлы
СИД	Субстрат-индуцированное дыхание
БД	Базальное дыхание
МЛН	Мельниково
АГР	Агротехника
ПН	Приневское
МЕН	Меньково

ВВЕДЕНИЕ

Важное место в сфере рационального использования биологических ресурсов занимает всесторонний учет экологических функций почв. Почва является ключевым компонентом наземной экосистемы и выполняет основную роль в ее функционировании. Эмиссия CO₂ с поверхности почв требует постоянного мониторинга для разработки способов снижения парникового эффекта на Земле [26].

Показатели биологической активности при проведении мониторинга почв являются ведущими. Для их оценки исследователи используют микробиологические показатели, среди которых отмечают не только общий пул почвенных микроорганизмов, но и их активность, в первую очередь, респирометрическую [1, 26]. Микробное сообщество почвы или ее «живая часть» обеспечивает большинство почвенных функций, например, образует гумус почвы, фиксирует азот из воздуха, высвобождает питательные вещества для растений, выполняет санитарную функцию [8, 25, 1, 11, 20].

В Ленинградской области сельское хозяйство имеет ярко выраженную пригородную специализацию, с преобладанием продукции животноводства над растениеводством. По данным Росреестра Ленинградской области на 1 января 2021 года площадь земель сельскохозяйственного назначения в области составила 798,5 тыс. га, на которой осуществляют деятельность 270 различных сельскохозяйственных предприятий и 6097 фермерских хозяйств [35].

Актуальность исследования. Поиск рациональных путей и методов сокращения поступления парниковых газов в атмосферу относится к наиболее актуальным вопросам современной экологии. Небольшие постепенные изменения в общем органическом веществе почвы могут быть трудно отслеживаемым и обнаруживаемым в краткосрочной перспективе, в то время как живая фракция органического вещества, микробная биомасса может

служить чувствительным показателем изменения состояния органического вещества, влияющего на потоки CO₂ в атмосферу.

Цель исследования – изучение эмиссии CO₂ почв и микробиологической активности реперных участков сельскохозяйственных почв Ленинградской области

Задачи:

1. Анализ экологической ситуации, уровней техногенной нагрузки, природно-климатических условий исследуемых реперных участков
2. Изучение микробиологической активности дерново-подзолистых почв реперных участков.
3. Оценка эмиссии CO₂ из исследуемых почв
4. Оценка загрязненности почв тяжелыми металлами
5. Рекомендации по снижению эмиссии диоксида углерода из почв сельскохозяйственного назначения.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Эмиссия CO₂ почвы и ее роль в биосфере

Биогеохимический процесс – это способ углерода варьировать от абиотической среды к живыми организмами и в обратном направлении. Один из самых значительных круговоротов в котором отмечается самая высокая скорость обмена живой и неживой природной средой, является цикл углерода [3].

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

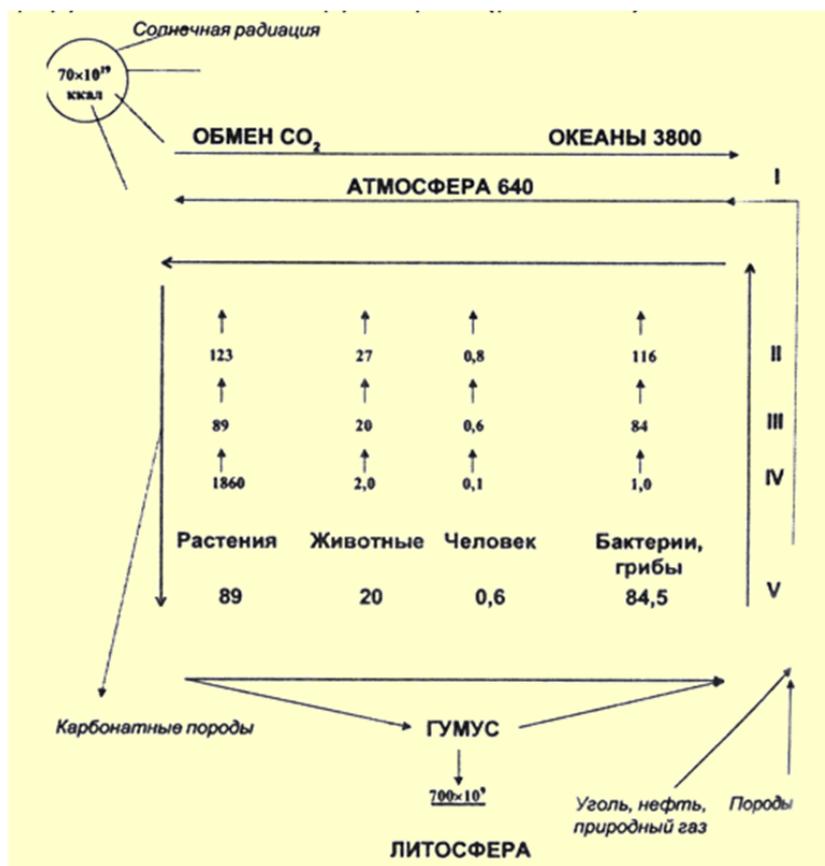


Рисунок 1 - Роль углерода в биосфере [17].

Углерод возвращается в окружающую среду 2-мя основными способами. В результате процесса дыхания [17, 24] и через разложение

органического вещества. Процесс проходит в условиях биосферы при кислородной среде [17]. Биологическое разложение органического материала и выброс продуктов в атмосферу не обязательно требуют участия неорганического окислительно-восстановительного партнера, такого как кислород или сера. Сообщества микроорганизмов, обитающие в отложениях, способны осуществлять процесс ферментации, при котором электроны перемещаются между органическими соединениями. Здесь задействовано множество отдельных стадий, катализируемых различными организмами.

1.2 Влияние разных факторов на эмиссию CO₂ почвы

Исследования показывают, что эмиссия углекислого газа (CO₂) из почвы зависит от множества факторов. Один из основных факторов, влияющих на это, это тип почвы. Например, кислотность почвы может значительно влиять на скорость дыхания почвенных микроорганизмов, что в свою очередь влияет на процесс образования CO₂. Также важным фактором является влажность почвы - чем выше влажность, тем быстрее происходит процесс дыхания и выделения CO₂. Температура также оказывает значительное влияние на этот процесс, поскольку при повышенных температурах активность микроорганизмов увеличивается, что также увеличивает эмиссию CO₂ [26].

Кроме того, тип почвенного покрова, наличие растительности и ее состав, и другие факторы могут сказываться на уровне эмиссии CO₂ из почвы. Понимание всех этих факторов имеет важное значение для более точного прогнозирования и контроля уровня эмиссии углекислого газа в атмосферу [27].

Наряду с типом почвы, другим важным фактором, влияющим на эмиссию углекислого газа из почвы, является использование удобрений. Внесение удобрений в почву может увеличить количество питательных веществ для микроорганизмов, что приводит к увеличению скорости дыхания

и, следовательно, к увеличению эмиссии CO₂. Кроме того, растительные остатки, такие как листья, стебли и корни, также могут влиять на процесс образования этого газа в результате их разложения под воздействием почвенных микроорганизмов [19, 27].

Другим важным аспектом, который следует учитывать при анализе эмиссии углекислого газа из почвы, является изменение использования почвы. Необходимо учитывать не только состав почвы, но и историю ее использования для более точной оценки потенциала почвы на эмиссию углекислого газа [35].

Наконец, также важно отметить, что изменения в климате могут значительно влиять на процесс образования CO₂ в почве. Повышение температуры, изменения в осадках, а также другие аспекты изменения климата могут повлиять на активность микроорганизмов и, следовательно, на уровень эмиссии углекислого газа. Таким образом, учет всех этих факторов является ключевым для разработки эффективных стратегий уменьшения уровня эмиссии CO₂ и снижения воздействия на изменение климата [19].

1.2.1 Гидротермические условия

Увлажненность и пересыхание почв ведут к усилению процессов нитрификации, а наполнение поровых участков почв водой при 60%, с наивысшей вероятностью ведут к росту эмиссии диоксида углерода из почв [16].

Если устранить увеличение доли воды в почве, можно получить возможность минимизировать потенциальную эмиссию диоксида углерода. Вода в почве увеличивает скорость процессов разложения органических материалов и увеличивает процессы дыхания микроорганизмов. Это может послужить, как помощь в минимизации увеличения выбросов углерода в атмосферную среду. Таким образом, вклад такого фактора, как контроль

уровня влажности может быть одним из способов управления углеродным балансом. [44].

1.2.2 Химические и физические свойства почвы

Кислотность почв.

Одним из главных показателей влияния на эмиссию диоксида углерода является рН, он определяется воздействием (положительным или отрицательным) на саморазвитие микроорганизмов, которые несут ответственность за процессы нитрификации и денитрификации [43].

Качество почвы определяется ее плотностью, диаметром и залеганием почвенных материалов. При обработке почвы используют различное агротехнологическое оборудование, которое ведет к росту показателей плотности сложения почвенных горизонтов. К ним относятся, такие как трактор, сеялка, и др. После использования этих агротехнологий аэрация почвы нарушена и находится на низком уровне. В особенности это относится к почвам с высокой влажностью. Пониженная плотности сложения почвенных горизонтов влечет за собой низкий риск денитрификации и эмиссии диоксида углерода, при этом одновременно и к снижению риска накоплению и выделению эмиссии метана. [43, 18].

1.3 Биологическая активность

Под биологической активностью понимается интенсивность всех биологических процессов, протекающих в почве. В данном случае речь идет о совокупности биологических и биохимических процессов, связанных с жизнедеятельностью организмов [3, 9, 13].

Широко признано, что биологическая активность в почве играет жизненно важную роль в круговороте питательных веществ и их доступности

для растений, а также в развитии и поддержании структуры почвы, а также способствует «здоровью почвы». К примеру, к ним относятся микоризные грибы. Они составляют лишь одну из функциональных групп организмов, важных в почвенной экосистеме, но их роль в формировании прямых связей между корнями растений и почвенной тканью означает, что они играют ключевую роль в почвенно-растительных взаимодействиях [13, 43].

Таким образом, биологическая активность является важным, но достаточно трудноопределимым показателем качества почв [5, 6].

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объекты

По данным Управления Реестра по Ленинградской области на долю земель сельскохозяйственного назначения на 2022 год приходится 20,3% (1,73 млн га) от общего числа земель области, представлено на рисунке 2.

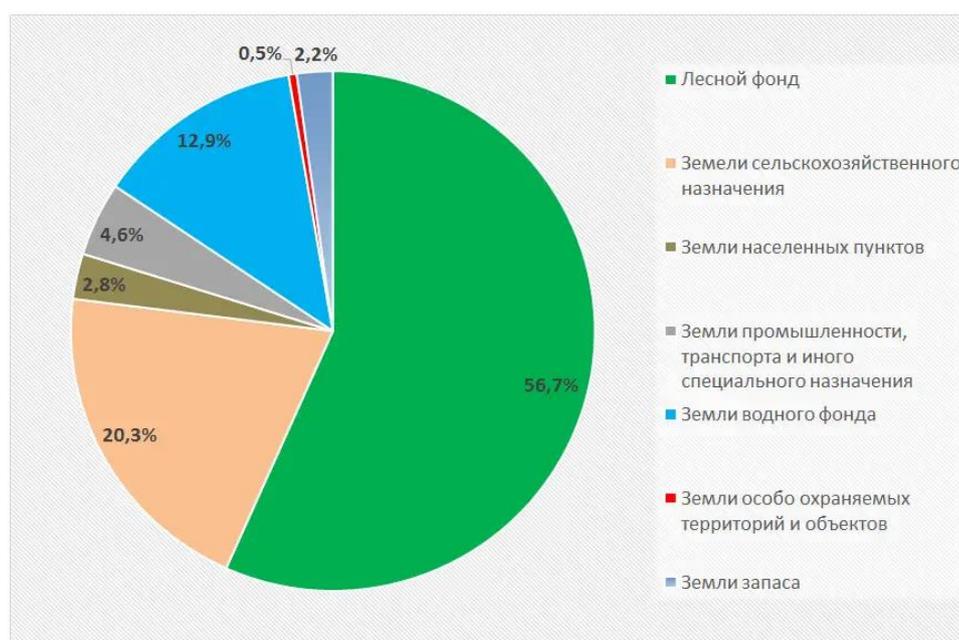


Рисунок 2. - Структура земельного фонда Ленинградской области

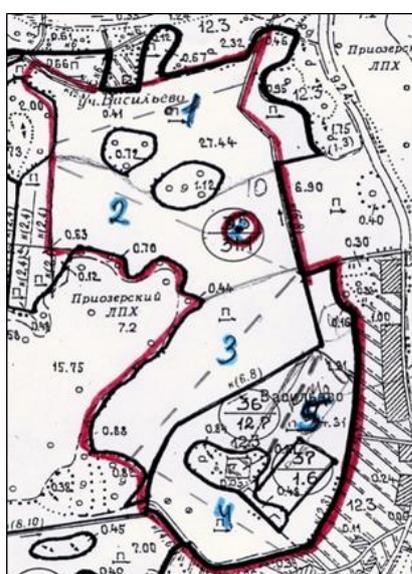
Как видно из представленного рисунка, основное предназначение земель – лесное хозяйство. Поэтому, в апреле-мае 2023 года в Ленинградской области проводился отбор почвенных образцов для мониторинга биологической активности и эмиссии CO₂ из почв, где в качестве объектов исследования были выбраны 4 полигона, площадью 30-40 га, расположенные в основных агроклиматических районах области - Карельский перешеек, Пригородный, Западный и Центральный с сельскохозяйственным использованием [34].

Локализация объектов исследования представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Локализация объектов исследования в Ленинградской области. Где: №1 – Мельниково, №2 – Приневское, №3 – Агротехника, №4 – Меньково

2.1.1 Характеристика объектов исследования

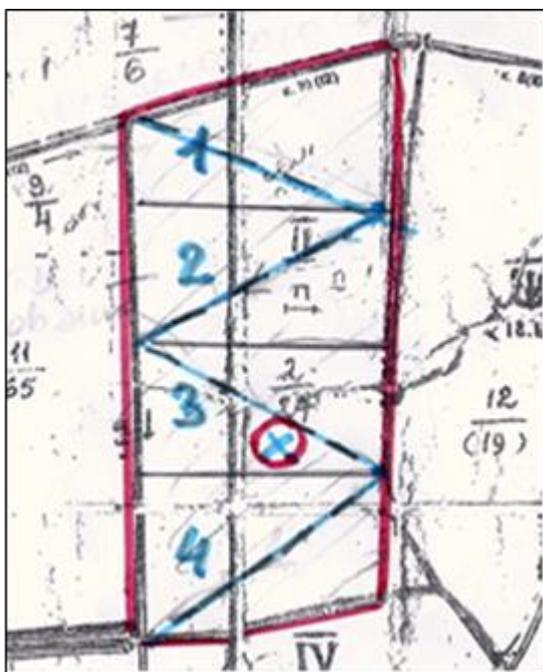


1. Мельниково (Приозерский район).

Реперный участок полигона располагается в пределах осушаемой пашни, на которой выращиваются кормовые травы на сено (тимофеевка, райграс, овсяница, клевер, вика, люцерна, кострец) [8]. Характерные для данной зоны дерново-подзолистые глеевые почвы занимают около 29% от общей площади сельхозугодий. Основные экологические

проблемы: отсутствие навозохранилища, слив отходов КРС на поля, наличие незаконных свалок твердых бытовых отходов [16, 21].

2. Приневское (Всеволожский район).



Тестовый полигон входит в состав Приневской низины. Представляет собой плоскую равнину с отметками 10-25 м над уровнем моря. Дерново-подзолистые почвы здесь образуются на мощной толще суглинков и глин. Благодаря длительной, начавшейся еще в прошлом веке осушительной мелиорации удалось избежать процессов оглеения и торфообразования. В настоящее время территория хозяйства используется под

выращивание пропашных овощных культур. Основные экологические проблемы для почв сельскохозяйственного назначения – близость города, и все последствия, вытекающие из-за выбросов загрязняющих веществ со стороны Санкт-Петербурга. При этом, Санкт-Петербург – мегаполис, соответственно наблюдаются проблемы загрязнения воздуха и почв автотранспортом. Земли активно выводятся под массовое жилищное строительство. Городу требуются большое количество промзон, которые строятся рядом с сельскохозяйственными землями, существует проблема утилизации твердых коммунальных отходов [37].

3. Агротехника (Тосненский).

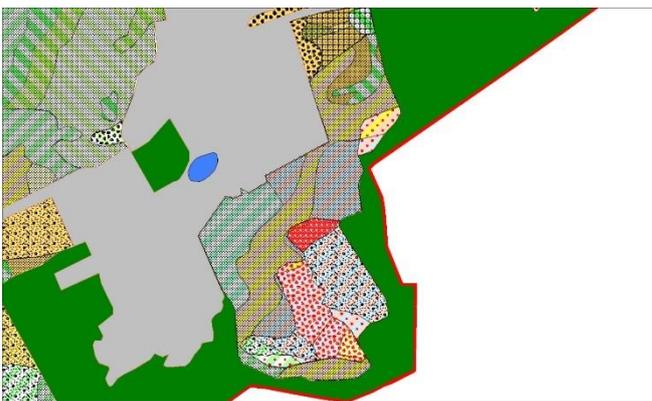
Предприятие находится в поселке Сельцо (городское поселение Любанское) Тосненского района, в 60 км на юг от г. Санкт-Петербурга. Входит в состав Мгинско-Тосненской равнины. Направление деятельности предприятия - молочное животноводство и овощеводство. Пахотные почвы в



основном суглинистые, разной степени оглеености, а также легкого гранулометрического состава - супесчаные и песчаные с иллювиально-железистыми горизонтами, указывающими на проявление восстановительного процесса в результате кратковременного переувлажнения [28, 31].

Почвообразующие породы района представлены в основном моренными и ленточными суглинками и озерно-ледниковыми супесями, и песками. На

полях полигона выращиваются овощи открытого грунта (картофель, свекла) и злаковые травы [8].



4. Меньково (Гатчинский).

Тестовый полигон расположен в лесной зоне Ижорской возвышенности, в Гатчинском районе Ленинградской области. Участок полигона располагается в пределах

интенсивно обрабатываемых почв и расположена на равнинной местности с правильным профилем поля. Основные почвы – дерново-подзолистые супесчаные на девонских красноцветных песках. Полигон используется для проведения научно-исследовательских работ сотрудниками Агрофизического института и в основном тестируются культуры зерновой и овощной направленности.

На каждом тестовом полигоне заложен полнопрофильный почвенный разрез на реперном участке, включенном в сеть экологического мониторинга Ленинградской области. Произведен отбор почвенных образцов по генетическим горизонтам из каждого почвенного разреза и отбор объединенных проб почв из пахотного горизонта, по 4-5ти ключевым участкам с каждого полигона.

2.1.2. Полевые исследования

При проведении мониторинга в сельском хозяйстве руководствовались нормами и принципами проведения определенного типа экологического мониторинга на реперных участках. Закладка реперных участков проводилась с учетом всех природно-сельскохозяйственных и производственно-технологических условий, влияющих на сельскохозяйственное производство.

В идеале эталонные объекты должны подвергаться минимальному вмешательству со стороны человека, то есть они должны подвергаться минимальному вмешательству. Однако во многих крупных регионах таких участков не существует из-за широкого и длительного использования земель человеком. В этих регионах лучшие места можно считать лишь наименее нарушенными.

В итоге были выбраны 4 реперных участка, которые охватывают центральную часть Ленинградской области с наиболее развитыми центрами сельского хозяйства и расположенные в Гатчинском, Тосненском, Выборгском и Кировском районах.

При работе на реперных участках локального мониторинга использовались крупномасштабные (1:10000 – 1:25000) и детальные (1:1000 – 1:5000) карты.

При выборе места для закладки реперного участка использовались материалы почвенного, агрохимического анализа. Помимо закладки разреза

были проведены отборы почвенных образцов с использованием методики агрохимического анализа.

В таблице 1 представлено описание почвенного профиля реперного участка в Мельниково

Таблица 1. Описание профиля дерново-подзолистой глеевой тяжелосуглинистой почвы на ленточных глинах.

	Горизонт, глубина, (см)	Описание горизонта
	A₁ 0- (20) 22	Влажный, темно-серый, тяжелый суглинок, зернисто-комковатый, уплотнен, пронизан корнями, переход в следующий горизонт по плотности
	A ₁ 22- (30) 33	более влажный, темно-серый, тяжелый суглинок, более плотный, зернисто-комковатый, много червей, переход четкий по цвету
	(A ₂) B _g 33 – 46	влажный, сизый, тяжелый суглинок, комковато-глыбистый, осветленные и ржавые пятна, переход по плотности, влажности, липкость увеличена
	B _g 46-69	сырой, сизый с вертикальными ржавыми полосами и примазками, тяжелосуглинистый, глыбистый, липкий
	BC _g 69 – 81	мокрый, сизый, тяжелосуглинистый, с тонкими

Описание почвенного профиля дерново-слабоподзолистой иллювиально-железистой супесчаной почвы на озерно-ледниковых отложениях реперного участка на полигоне «Агротехника»

Таблица 2. Почвенный профиль дерново-слабоподзолистой иллювиально-железистой супесчаной почвы

	Горизонт, глубина, (см)	Описание горизонта
	Апах 0-22	Влажный, серый, комковатый, разрыхлен обработкой местами с припашкой В горизонта, супесь, переход постепенный по плотности
	A ₁ 22-32	Влажный серый, комковатый, очень уплотненный, переход резкий по цвету ровный, супесь
	A ₂ B 32-52	Влажный, палево-коричневый с отдельными окрашенными крапинками, кремнеземистая присыпка, плотный, переход постепенный неровный, супесь/песок
	B _{1r} 52-68	влажный, пестрый, буроватый, с белесыми пятнами, супесь с пятнами легкий суглинок, переход неровный, волнистый по цвету и плотности,
	BC 68-90	бурый, темные крапинки, плотнее других, комковато-плитчатая, переход постепенный, легкосуглинистый, с прослойками тонкого песка, влажный.
	C 90-118	красновато- желтый, более плотный, тонкий песок, с прослойками суглинка и более крупного песка.

Приневское: Описание почвенного профиля пахотной дерново-глееватой среднесуглинистой почвы на моренных отложениях.

Таблица 3. Описание почвенного профиля пахотной дерново-глееватой среднесуглинистой почвы на морене

	Горизонт, глубина, (см)	Описание горизонта
	A ₀₋₂₈ сильно	Влажный, темно-серый, средний суглинок, комковатый, уплотнен, пронизан корнями, переход в следующий горизонт по плотности
	A ₁ 28-38	Влажный, коричневато-серый, средний суглинок, более плотный, комковатый, много мелких каменных , переход четкий по цвету
	B _g 38 – 52	Влажный, коричнево-сизый , тяжелый суглинок, комковато-глыбистый, осветленные и ржавые пятна, галька, переход по плотности, влажности, липкость увеличена
	BC _g <u>52</u> – 81	Сырой, сизый, тяжелосуглинистый, с тонкими прослойками желто-ржавого песка, плотный
	C _g <u>81</u> -112	Сырой, серовато-сизый, тяжелый суглинок, стоит вода, камни

Меньково: описание почвенных горизонтов агродерново-подзолистой супесчаной почвы на красноцветных девонских песках.

Таблица 4. описание почвенных горизонтов агродерново-подзолистой супесчаной почвы

	Горизонт, глубина, см	Диагностические признаки
	A1 0 – 24	Черный, свежий, супесчаный, комковатый, рыхлый, переход четкий, граница ровная
	A2B 24 – 36	Серовато-желтый, свежий, супесчаный, комковатый, уплотненный, переход постепенный, граница ровная
	B1 36 – 71	Буровато-желтый, свежий, плотный, песчаный, бесструктурный, переход постепенный, граница неровная
	BC 71 – 86	Красновато-желтый, свежий, плотный, песок, бесструктурный, переход постепенный, граница неровная
	C 86 – 125	Красновато-бурый, влажный, песок, бесструктурный, плотный

2.2 Методы

2.2.1 Эмиссия CO₂ из почвы

Прямую эмиссию CO₂ из вариантов почвы определяли методом закрытых камер, который позволяет измерять концентрацию интересующего газа с дальнейшим анализом на хроматографе Кристалл 2000 [9].

В качестве камеры использовали пластиковые ведра объемом 3 литра. На поверхность камеры был вмонтирован трехходовый кран, через который отбирался воздух, накопившийся в камере за 1 час. Основание камеры вставлялось в почву достаточно глубоко, чтобы предотвратить утечку газа из свободного пространства камеры. В литературе нет четкого консенсуса

относительно минимальной глубины заделки оснований камер в почву. Глубины, встречающиеся в литературе, колеблются от 5 до 20 см.

Пробы воздуха при помощи 6—мл шприца или вакуумной помпы переносятся в герметично-закрытые стеклянные флаконы или сосуды для временного хранения и транспортировки проб газа из поля в лабораторию перед анализом газа. Для кратковременного хранения большого количества проб иногда используются недорогие полипропиленовые шприцы; однако их применение весьма ограничено из-за возможности потери пробы газа при длительном хранении, например, когда срок хранения превышает 2 суток [9, 11].

2.2.2 Микробное дыхание почвы

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).



Рисунок 4. – Инкубирование почвы во флаконах для определения базального дыхания микроорганизмов

2.2.3 Химические свойства почв

Определение содержания общего органического углерода проводилось по методу мокрого сжигания Тюрина [23].

Определение обменной кислотности почвы (рНКСl) по методу ЦИНАО при соотношении почва-раствор 1:25 потенциметрически, с использованием стеклянного и хлорсеребряного (сравнения) электродов [32].

Определение подвижного фосфора (Р) и обменного калия (К) по методу Кирсанова [29].

2.2.4 Статистическая обработка экспериментальных данных

Статистическая обработка результатов включала вычисления значений средних, стандартных отклонений и коэффициентов линейной корреляции при помощи пакета программ «Microsoft Excel» и «Statistics 8.0»

3. Экспериментальная часть

3.1 Химические показатели почв

Химический и физический анализ почв служат наиболее важным средством познания природы почв, используются для оценки их плодородия и пригодности использования в сельскохозяйственном использовании.

По полученным результатам химического исследования были построены графики, по которым выявлена зависимость показателей биологической активности почвы всех реперных участков Мельниково, Агротехника, Приневское, Меньково. Результаты химического анализа содержат необходимую информацию о свойствах почв и химических почвенных процессах, которые могут изменяться при антропогенном воздействии, и поэтому составляют основу мониторинга и прогноза изменения свойств почв в процессе их сельскохозяйственного использования [19].

Углерод является одним из основных строительных блоков органического вещества. Общее содержание органического вещества в почве нелегко измерить точно, тот же используемый метод мокрого сжигания Тюрина имеет ошибку до 20 % [2, 18].

Органический углерод почвы является основным индикатором здоровья почвы. Во всем мире почва содержит около 2344 Гт органического углерода, что является крупнейшим земным хранилищем органических соединений. Органическое вещество почвы влияет на функции и свойства почвы. Он играет ключевую роль в общем поведении почв и агроэкосистем, поскольку обеспечивает энергию почвенным микроорганизмам, сохраняет и поставляет питательные вещества (азот, фосфор и калий) для производства растений, улучшает структуру почвы и, таким образом, участвует в способности почвы удерживать воду и противостоять эрозии [37].

Сохранение органического углерода в почве эквивалентно сохранению органического вещества почвы и части плодородия почвы. Вследствие этого

содержание органического углерода в почве часто считается основным показателем качества почвы с точки зрения ее сельскохозяйственных и экологических функций [18].

В таблице 5 представлено общее содержание углерода в почвах изучаемых участков.

Таблица 5. Содержание общего углерода (%) в профилях изучаемых почв четырех реперных участков

Собщ, %	Млн	АгТ	ПН	Мен
0	1,72	2,4	3,22	2,6
-20	1,94	2,6	3,31	3,18
-35	0,98	0,89	1,35	1,12
-50	0,31	0,28	0,44	0,42
-70	0,25	0,47	0,93	0,18
-90	0,09	0,02	0,06	0,03
-120	0,09	0,02	0,06	0,03

Как видно из представленной таблицы, содержание данного показателя существенно варьирует, в зависимости от типа почвы и снижается с глубиной. При этом, можно отметить, что наибольшее количество органического углерода накапливается не в самом верхнем слое гумусового горизонта, а на глубине 20 см, что свидетельствует о миграции данной формы вниз по профилю и даже на глубине 100 см отмечается его некоторое незначительное количество. Обработка почвы разрушает почвенные агрегаты, позволяя большему количеству органических веществ теряться в результате микробной активности и эрозии (особенно на голых паровых полях) или переноситься глубже в почву. Минимальная обработка почвы может помочь свести к минимуму потери органических веществ.

Более подробно это можно рассмотреть на рисунке 5.

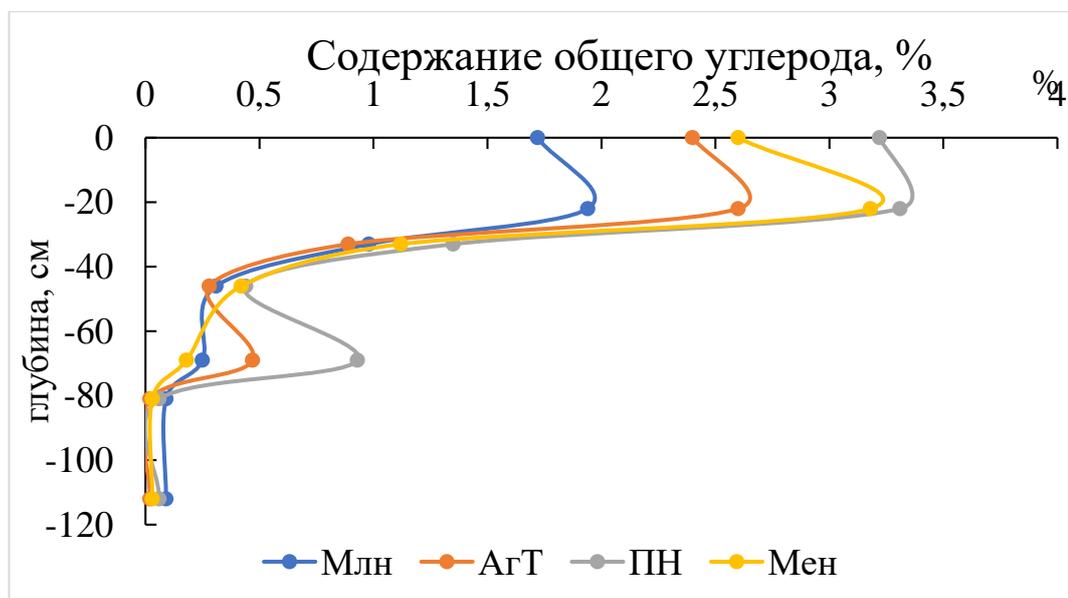


Рисунок 5. - Содержание общего углерода в профиле почв четырех реперных участков Мельниково, Агротехника, Приневское, Меньково

Содержание общего углерода во всех участках в слое от 0 до 20 см достигало следующих значений: Млн – 1,72 %, Агр – 2,4 %, ПН – 3,22 %, Мен – 2,6 %, являются максимальными. Это связано с активной деятельностью микроорганизмов и растений. Поверхность почвы – наиболее деятельный слой, где протекают наиболее активные физические и химические процессы. Но основное накопление данного показателя отмечается именно на глубине 20 см во всех изучаемых участках, в среднем на 10% по сравнению с верхним слоем.

На глубинах от 20 см, до 40 см, происходило постепенное снижение общего углерода на всех четырех участках, значения снизились до следующих показателей: содержание на участке ПН составляло 1,35 %, в Мен – 1,12 %. Далее значения идут на понижение, в среднем на 0,37 %, где в Млн данный показатель составил 0,98 %, а в Агр – 0,89 %. В большей степени это связано с гранулометрическим составом. Последние – имеют тяжелый (глинистый)

состав, задерживают перемещение углеродистых веществ вниз по почвенному профилю.

В слое 70 см отмечено заметное изменение содержания изучаемого показателя, которое резко снижается, кроме значений, выявленных на участке Приневское, где отмечен скачок увеличения содержания общего углерода до 0,93 %, значительно превышающий показатели в других вариантах исследования.

На глубине 80 см, значения не сильно отличаются от значений на глубине 120 см. а Последующее понижение идет на участке Агр – 0,47 %, Млн – 0,25 %, Мен – 0,18%.

pH почвы является показателем кислотности и щелочности почвы, тем самым отражая концентрацию H^+ в почвенном растворе. pH почвы является ключевым показателем свойств почвы, который рассматривался как одна из основных переменных, влияющих на другие свойства почвы [44].

Исследования показали, что pH почвы может в значительной степени влиять на урожайность сельскохозяйственных культур, высвобождение питательных веществ из почвы и микробную активность почвы. Если почва сельскохозяйственных угодий слишком кислая или слишком щелочная, то продуктивность земли будет ограничена.

pH почвы является важным регулятором почвы и неизбежно контролируется различными почвообразующими факторами. Факторы, связанные с изменениями pH почвы, различаются в зависимости от местоположения и масштаба. Осадки и потенциальное суммарное испарение контролируют изменения pH почвы в глобальном масштабе [17, 36].

Кроме того, на pH почвы влияет землепользование и управление, тип выращиваемой растительности. Например, лесные массивы имеют тенденцию быть более кислыми, чем площади лугов. Изменения в почвенном профиле вызваны потерей органического вещества, удалением минеральных веществ из почвы при сборе урожая, эрозии поверхностного слоя и воздействия

различных минеральных азотных, фосфорных, калийных и серных удобрений [49, 50].

На рисунке 6 представлено изменение рН в профиле почв на четырех реперных участках Мельниково, Агротехника, Приневское, Меньково.

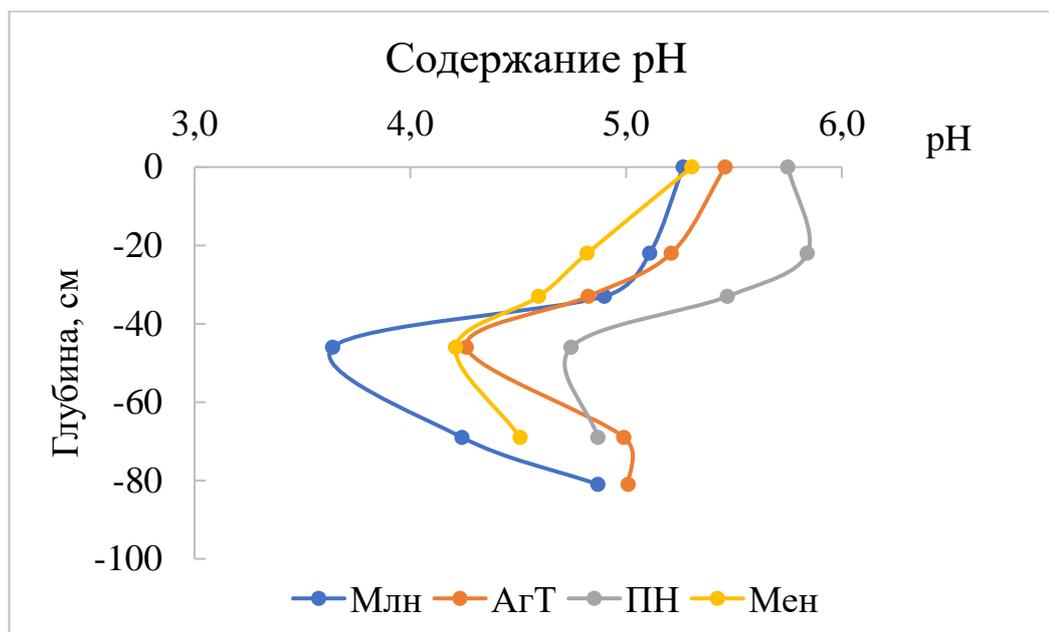


Рисунок 6. - Изменение рН в профиле почв на четырех реперных участках Мельниково, Агротехника, Приневское, Меньково

Как видно из представленного рисунка, верхние гумусовые горизонты исследуемых почв относятся к слабокислым почвам, близким к нейтральной.

На глубине от 0 до 20 см выявлены максимальные значения степени кислотности, так самое максимальное значение на исследуемом участке Приневское, оно составило 5,8. Далее с глубиной до 20 см мы можем видеть спад значений, например на участке Меньково получилась самая большая разница с 5,3 до 4,8, она составляет 0,5 см. Максимальное значение тут достигает на участке ПН - 5,8 которое остается стабильным. На остальных исследуемых участках кислотность почв, постепенно спадает, так Агр – 5,1., Мен – 5,2.

На глубине от 20 см, до 40 см, Млн – резкий скачек на понижение рН имеет значение 3,6.

На глубине от 40 см, до 60 см, все значения идут на повышение рН, так Максимальное значение составило 4,9 на участке Приневское, далее Млн – 4, 2, Агр – 5,0, Мен – 4,5. На глубине 80 см, Млн – 4,9 Агр – 5,0.

Максимальные значения на графике показывают ПН – 5,8., Высокий уровень рН снижает плодородность и урожайность почвы. Кислотность почвы сильно зависит от таких показателей, как переувлажнённость, деятельность микроорганизмов, и состава материнской породы почв. На данном участке производятся сельскохозяйственные работы, выращивание овощей, что является фактором изменения рН среды, например: внесение удобрений (калий, аммоний), что может нарушить баланс веществ в почве, орошение, ведущее к переувлажнению почвы, осадки (кислотные дожди) и др., [44].

Среди химических индикаторов особенное внимание уделяется общему азоту (N), поскольку N является наиболее ограничивающим питательным веществом во многих сельскохозяйственных регионах. Являясь основным компонентом пула земного азота (N), общий азот почвы не только обеспечивает необходимые питательные вещества для роста растений, но также влияет на функцию почвы и концентрацию парниковых газов в атмосфере [42]. Недостаточное использование N приводит к экономическим потерям, напротив, чрезмерное использование N приводит к потере удобрений, вызывает загрязнение нитратами и увеличивает затраты [23].

На рисунке 7 представлено содержание общего N % в профиле почв на четырех реперных участках Мельниково, Агротехника, Приневское, Меньково.

Как видно из представленного рисунка, изучаемые почвы существенно отличались по содержанию общего азота, например, с различиями в 1,6 раза между Приневское и Мельниково. При этом, можно отметить, что достаточно узкое соотношение $\text{Собщ}/\text{Nобщ}$ свидетельствует о том, что в почвах

преобладают процессы минерализации органического вещества в почве над его иммобилизацией.

Также как и при анализе варьирования общего углерода в почве, из графика, представленного ниже, видно, что на глубине от 0 см до 20 см наблюдается максимальное количество общего азота, которое достигало значений от 1,72 до 3,3: Распределение исследуемых участков по содержанию общего азота можно представить в виде следующего убывающего ряда: Приневское > Меньково = Агротехника > Мельниково.

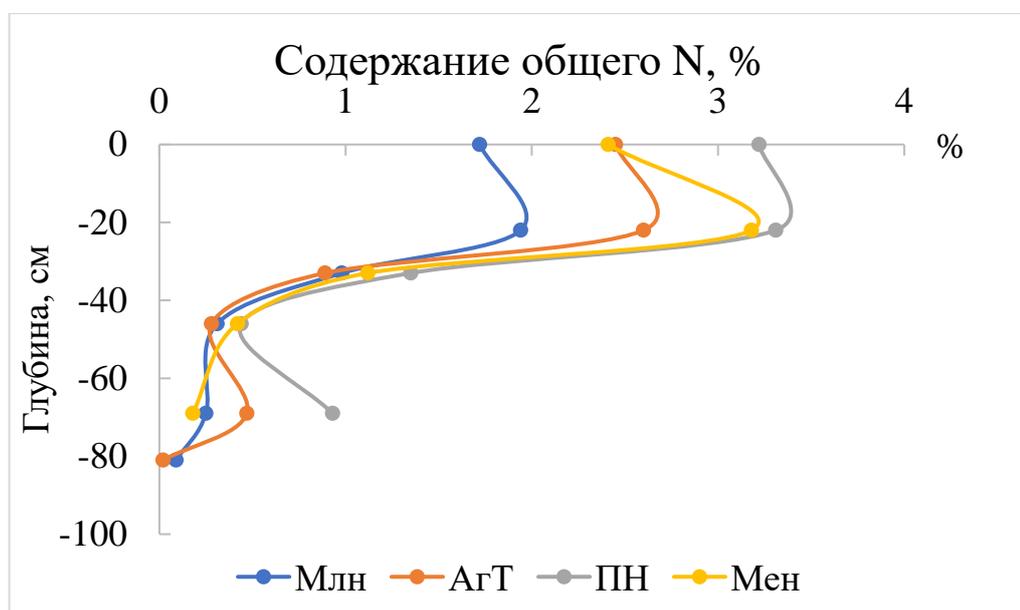


Рисунок 7. - Содержание общего N % в профиле почв на четырех реперных участках Ленинградской области (где Млн - Мельниково, АгТ - Агротехника, ПН - Приневское, Мен - Меньково)

На глубине от 20 см, до 60 см, происходит резкий скачек на снижение содержания общего азота, так, например, в Мельниково с разницей на 1,41 % по сравнению со слоем 0-20 см, а далее - Агротехника на 2,17 %, Приневское на 2,78 %, и Меньково на 1,99 %, соответственно. Таким образом можно сказать, что максимальный скачек произошел на участке Приневское, где

данный показатель составил 2,78 %. На глубине 80 см наименьшие значения были определены на участках в Млн – 0,09 и Агр – 0,02%.

По исследованию содержания общего азота, из рисунка можно сказать, что на всех участках с глубиной он сокращается. Самые максимальные значения на данном графике, видны на участках ПН - 3,31 %, и Мен – 3,18 % на глубине 20 см, это свидетельствует, о том, что в почве находится много остатков животных и растений. Так же процессом азотфиксации свободноживущими микроорганизмами в почве, вымывание различных соединений азота с внутрипочвенным стоком.

Фосфор является важным питательным веществом. Поэтому важно понимать динамику фосфора в почве и мобилизовать резервные пулы. Фосфор является менее мобильным, чем азот, но необходимо определять его пространственную изменчивость.

На рисунке 8 представлено изменение содержание P_2O_5 мг/кг в профиле почв на четырех реперных участках Мельниково, Агротехника, Приневское, Меньково.

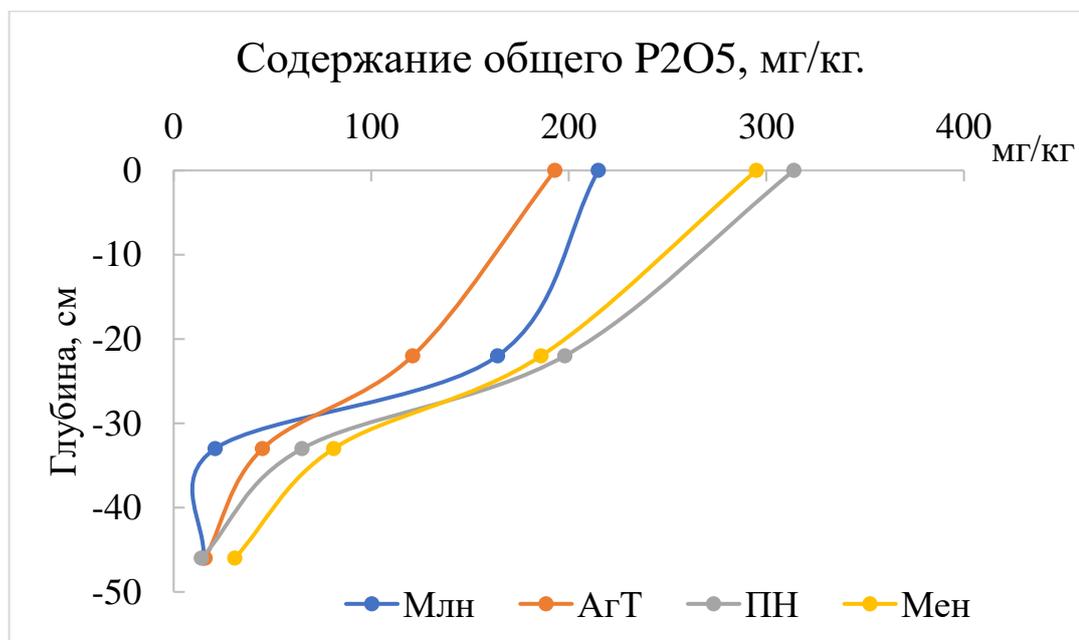


Рисунок 8. - Содержание P_2O_5 мг/кг в профиле почв на четырех реперных участках Ленинградской области (где Млн - Мельниково, АгТ - Агротехника, ПН - Приневское, Мен – Меньково)

По полученным данным, из графика видно, стабильность снижения содержания оксида фосфора происходит с глубиной. Его максимальное количество концентрируется в верхнем гумусовом горизонте, и резко снижается с глубиной. Так, установлено, что на реперном участке Приневское наблюдалось уменьшение значений с 314 мг/кг, до 198 мг/кг.

На глубине от 0 до 20 см содержание P_2O_5 на участках Мельниково и Приневское так же стабильно снижается с большей глубиной - Млн – 143 мг/кг, ПН – 133 мг/кг. Таким образом максимальное значение на участке ПН – 198 мг/кг, Минимальное, на Агр – 121 мг/кг.

На глубине от 20 см, до 50 см, общее содержание P_2O_5 стремительно снижается. Максимальное значение на участке Приневское – 198 мг/кг, опускается с разницей 184 мг/кг и составляет оно 184 мг/кг, становится самым минимальным содержанием P_2O_5 по сравнению с другими участками, которые имеют значения Млн – 15 мг/кг, Агр – 16 мг/кг, Мен – 31 мг/кг. Меньково является самым максимальным значением на этой глубине.

Таким образом минимальные значения накапливаемого количества оксидов фосфора, ведет к низкому уровню урожайности, не качественная производительность сельхозпродукции, период созревания растений и плодов становится длительным, поэтому этот важнейший микроэлемент необходим в почве, а так, же по максимальным значениям мы можем судить о загрязнении почвы, на которой ранее проводились внесения большого количества фосфорных удобрений, для повышения урожая. К этому можно добавить, что максимальное содержание отмечалось на участке Приневское, которое расположено вблизи автотранспортной дороги, где почвы подвергаются массовому строительству жилищ рядом с полигоном, дополнительно к этому там находится большое количество промышленных зон.

Калий является одним из важнейших макроэлементов питания растений. Он расположен в тканях с высокой биологической активностью и встречается почти исключительно в форме иона. Среднее содержание калия в растениях составляет 10 мг/г. На рисунке 9 представлено содержание K_2O мг/кг в профиле почв на четырех реперных участках Мельниково, Агротехника, Приневское, Меньково.

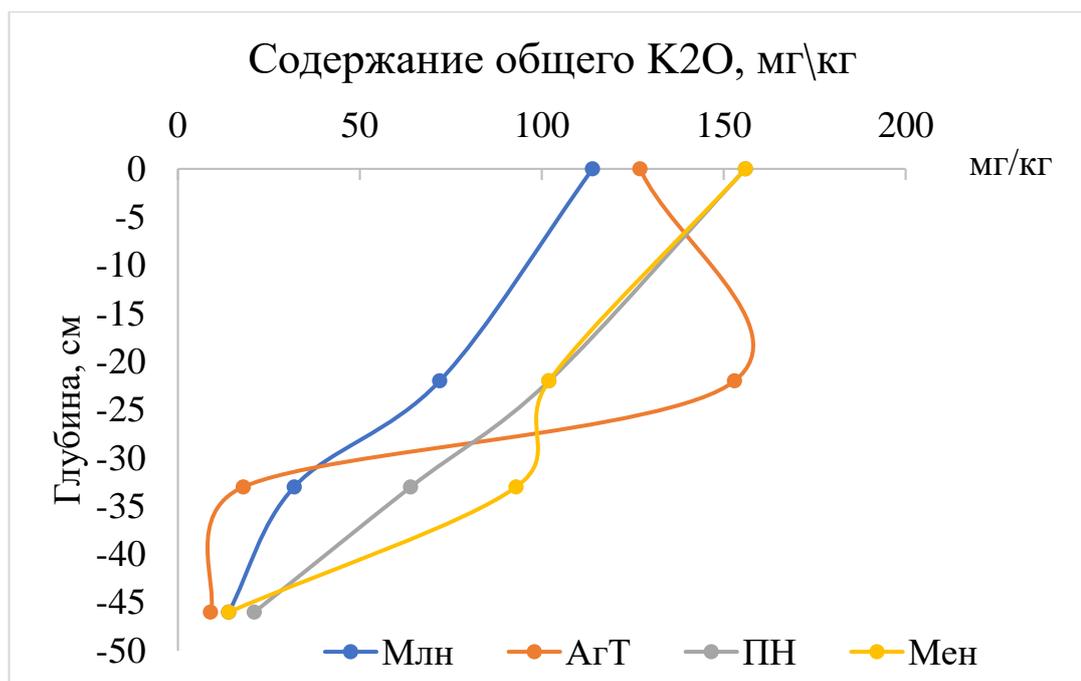


Рисунок 9. - Содержание K_2O мг/кг в профиле почв на четырех реперных участках Мельниково, Агротехника, Приневское, Меньково

По полученным данным можно заметить, что содержание оксидов калия на глубине 50 см изучаемого профиля на всех исследуемых участках было минимальным, без существенных различий между исследуемыми вариантами. Оно варьировало, от 9 до 21 мг/кг почвы соответственно.

Максимальное количество K_2O наблюдалось в верхних горизонтах, в слое от 0 до 20 см. Наибольшее содержание данного оксида установлено в Меньково и Приневское, где значение K_2O составляло 156 мг/кг, а минимальное значение на участке Мельниково – 114 мг/кг.

При снижении с глубиной во всех вариантах, кроме Агротехника происходило снижение концентрации подвижной формы калия на 25-50 %, по сравнению с верхним гумусовым слоем. В то же время на участке Агротехника происходило увеличение данного показателя с 127 мг/кг на 26 мг/кг.

Возможно, это связано с тем, что почвы Тосненского района были тяжелого гранулометрического состава, способные в большей степени задерживать питательные элементы по сравнению с легкими почвами Меньково и каменистых почв Мельниково.

А вот далее происходило постепенное снижение изучаемого показателя. Данная картина характерна для почв Северо-Запада Российской Федерации, так как для роста и развития растений требуется постоянное внесение калийных удобрений, которые накапливаются в верхних слоях почвы и постепенно вымываются вниз лежащие горизонты.

3.2. Показатели функционирования микробного сообщества почвы

Поддержание содержания органических веществ в почвах желательно для долгосрочного землепользования из-за множественного благотворного воздействия органических веществ на статус питательных веществ, водоудерживающую способность и структуру. Однако небольшие постепенные изменения в общем органическом веществе почвы может быть трудно отслеживаемым и обнаруживаемым в краткосрочной перспективе из-за, как правило, высоких фоновых уровней углерода и естественной изменчивости почв. Живая фракция органического вещества, микробная биомасса, а не общее количество органического С, была предложена в качестве полезного и более чувствительного показателя изменения состояния органического вещества [1].

3.2.1. Содержание органического углерода

По полученным данным были построены гистограммы, которые отражают варьирование значений Сорг, г/кг по глубине залегания в почве на четырех реперных участках Мельниково, Агротехника, Приневское, Миньково, обратите внимание на рисунок 10.

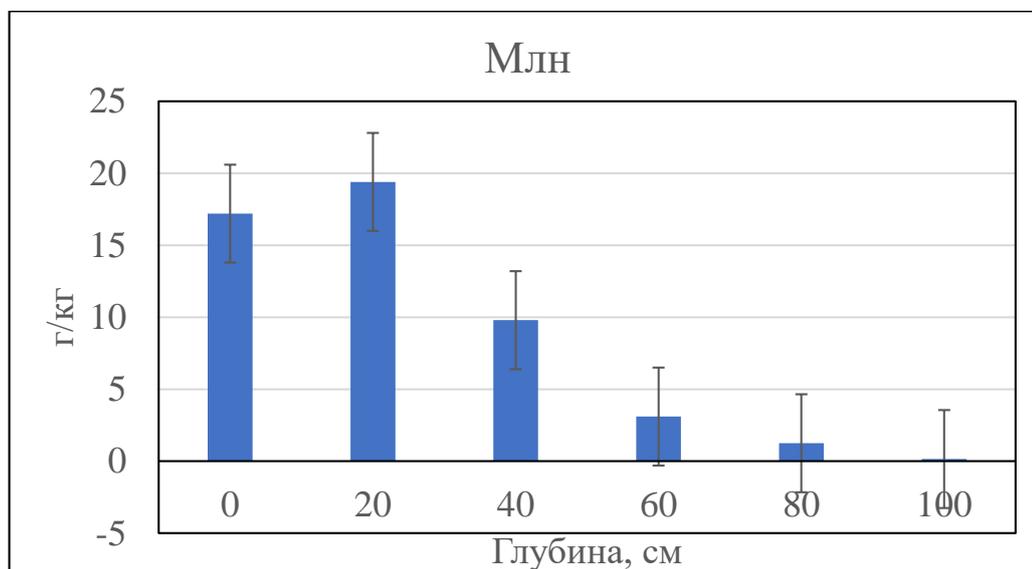


Рисунок 10. - Содержание Сорг, г/кг на реперном участке Мельниково.

По данным полученных результатов из рисунка видно, максимально содержание органического углерода выявлено на глубине залегания почвы 20 см, значение 19,4 г/кг. Самое минимальное значение просматривается при 100 см. оно составляет 0,15 г/кг. Среднее значение содержания органического углерода при 40 см, составляет 9,8 г/кг.

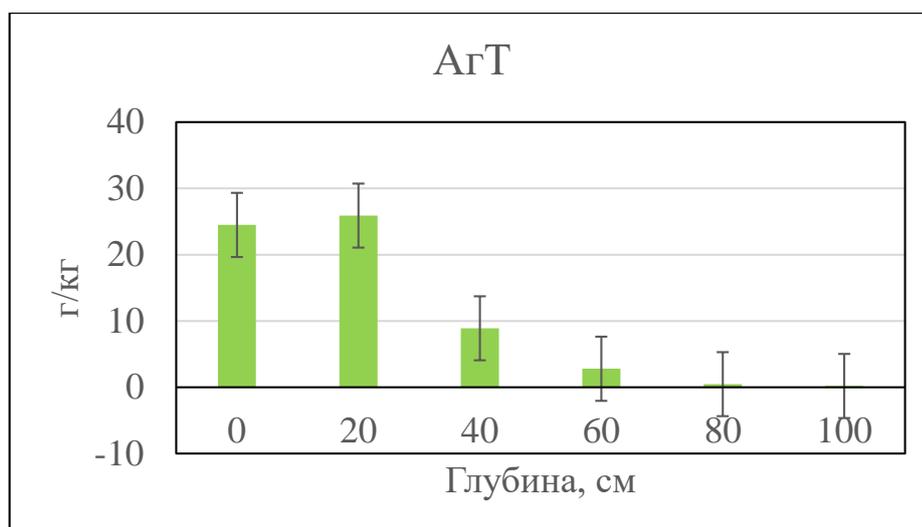


Рисунок 11. - Содержание Сорг, г/кг на реперном участке Агротехника

Исходя из полученных результатов на реперном участке Агротехника, можно сказать максимальное значение зафиксировано при глубине 20 см, которое составляло 25,9 г/кг, но на ряду с этим значением мы можем увидеть не существенную разницу показателя в слое 0-10 см, где значения не сильно отличаются и составляют 24,5 г/кг. Среднее значение составляет 8,9 г/кг, при глубине 40 см. Минимальное значение 0,2 при глубине 100 см.

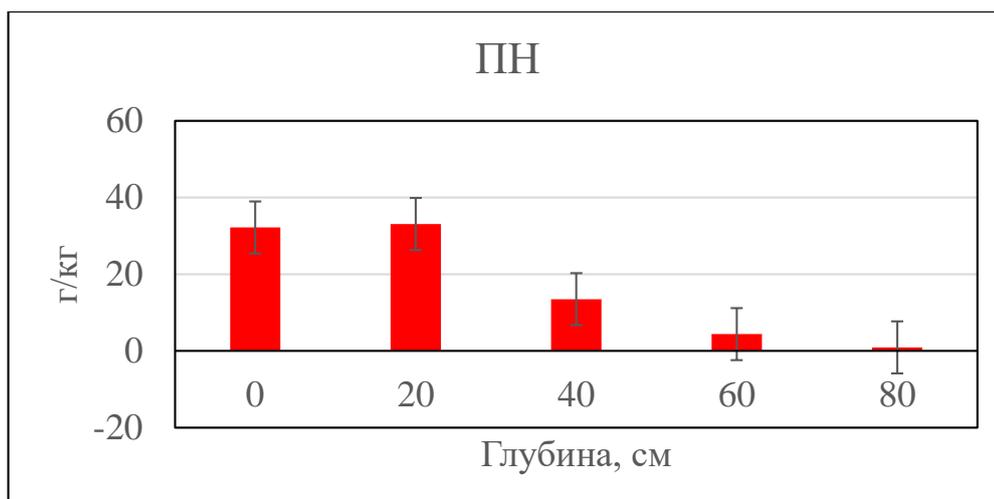


Рисунок 12. - Содержание Сорг, г/кг на реперном участке Приневское

Из рисунка видно, максимальное значение при глубине 20 см, составляет 33,1 г/кг. Так же значение, которое близко к максимальному, при глубине 0 см составляет 32,2 г/кг. Минимальное значение при глубине 80 см, это 0,93 г/кг.

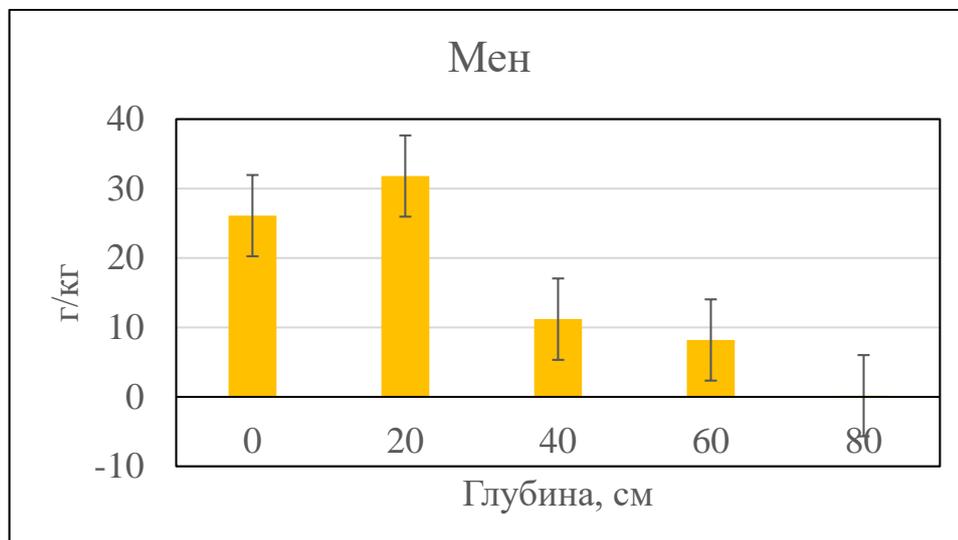


Рисунок 13. - Содержание Сорг, г/кг на реперном участке Меньково

Из рисунка видно максимальное значение органического углерода составляет 31,8 г/кг на глубине 20 см залегания почвы. Значения на глубине 40 см и 60см, не сильно отличаются друг от друга лишь на 3г/кг, так они составляют 11,2 г/кг и 8,2 г/кг. Минимальное значение, как и на предыдущих реперных участках находится на глубине 80 см, и оно составляет 0,18 г/кг.

Из полученных результатов можно сделать вывод, максимальные значения из всех заложенных реперных участков Мельниково, Агротехника, Приневское и Меньково, самое большое содержание органического углерода зафиксировано на участке Приневское на глубине 20 см, оно составило 33,1 г/кг, что нам может говорить о хорошей плодородности почвы и она владеет такими преимуществами, как развитая способность влагоудерживания, которая предотвращает и снижает способность к пересыханию почвы.

Так же при высоком содержании органического углерода повышается количество органического вещества, оно играет важную функцию для подачи

питательных вещества растениям, плюс к этому улучшает урожайность сельскохозяйственных угодий. Самая главная задача органического углерода, в том, что он способствует росту корней и прокладывает путь к питательным элементам, всеми этими преимуществами он улучшает биологическую активность почвы.

Минимальное содержание органического углерода наблюдается на участке Агротехника при глубине 100 см. значение составляет всего лишь 0,2 г/кг. Это свидетельствует о том, что уровень плодородия низкий и нужно применять действия по улучшению плодородия, например, севообороты и выращивание многолетних культур, что способствует повышению органического углерода в почве, и ведет к повышению плодородия.

В настоящее время имеется множество данных по биологическим индикаторам. Эта информация была собрана с использованием широкого спектра методов, каждый из которых применяется в конкретной экологической ситуации, что усложняет значимое сравнение данных. Примером, рассмотренным в этой статье, является оценка микробного базального дыхания, часто используемая для количественной оценки изменений активности почвенного микробного сообщества.

Углерод микробной биомассы — это мера углерода (C), содержащегося в живых компонентах органического вещества почвы (т.е. бактериях и грибах). Микробы разлагают органическое вещество почвы, выделяя углекислый газ и доступные для растений питательные вещества.

Микробная биомасса состоит в основном из бактерий и грибов, которые разлагают растительные остатки и органические вещества в почве. В результате этого процесса в почву высвобождаются питательные вещества, такие как азот (N), которые доступны для поглощения растениями. Около половины микробной биомассы находится на поверхности почвы толщиной 10 см, и здесь же происходит большая часть выделения питательных веществ.

3.2.2 Базальное дыхание почвы

Базальное дыхание почвы определяется как устойчивая скорость дыхания в почве, которая возникает в результате минерализации органического вещества и оценивается либо на основе выделения CO_2 , либо поглощения O_2 . Измерение базального дыхания почвы применялось в различных научных исследованиях, и как микробное дыхание почвы, так и минерализация органического вещества обычно считаются ключевыми индикаторами для измерения изменений качества почвы.

По проведенным инкубационным исследованиям были построены гистограммы, которые показывают варьирование базального дыхания в почвах исследуемых реперных участков ($\text{мг С-CO}_2/\text{кг/час}$) (Рис. 14).

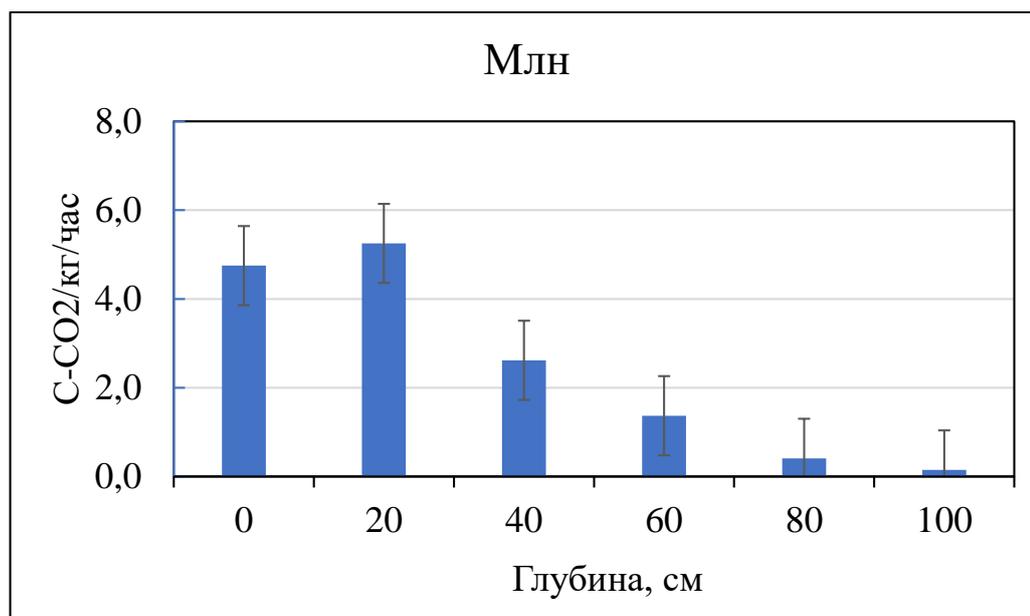


Рисунок 14. - Базальное дыхание в почве реперного участка Мельниково

По данным результатам, видно максимальное значение БД – $5,25 \text{ мг С-CO}_2/\text{кг/час}$ достигало в слое на глубину до 20 см. Среднее значение можно выделить на глубине 40 см, которое составляло $2,62 \text{ мг С-CO}_2/\text{кг/час}$, и

минимальное значение на данном участке наблюдалось на глубине 100 см, так это значение составляет 0,15 мг С-СО₂/кг/час.

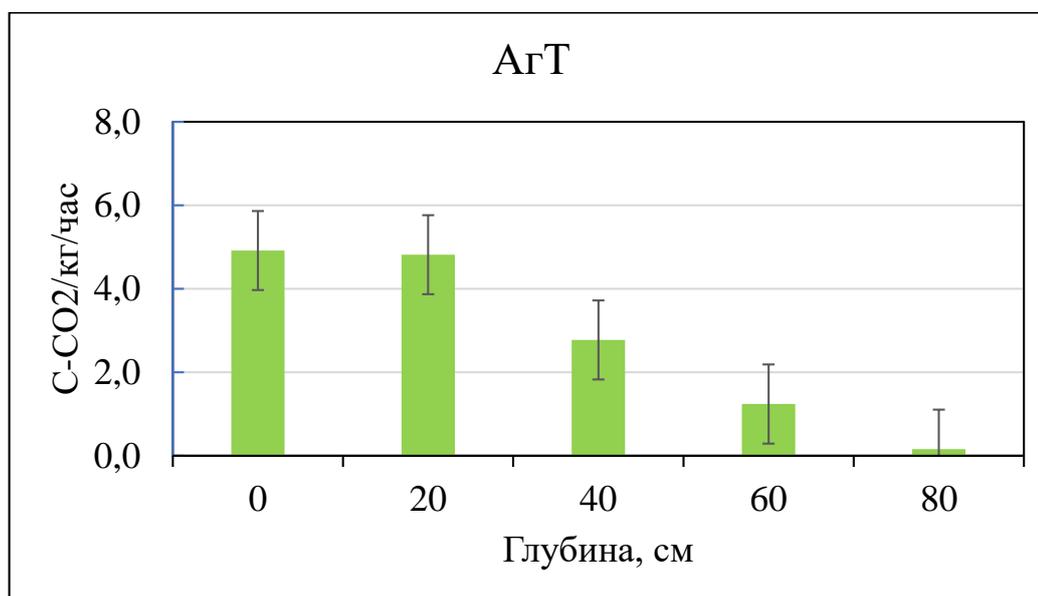


Рисунок 15. - Базальное дыхание в профиле почвы реперного участка Агротехника

Как и в других вариантах исследования максимальное значение приходится на глубину 0-20 см, это – 4,92 мг С-СО₂/кг/час, совсем рядом на ряду с этим значением, выявлено значение 4,82 мг С-СО₂/кг/час, Минимальное значение находится на глубине 80 см.

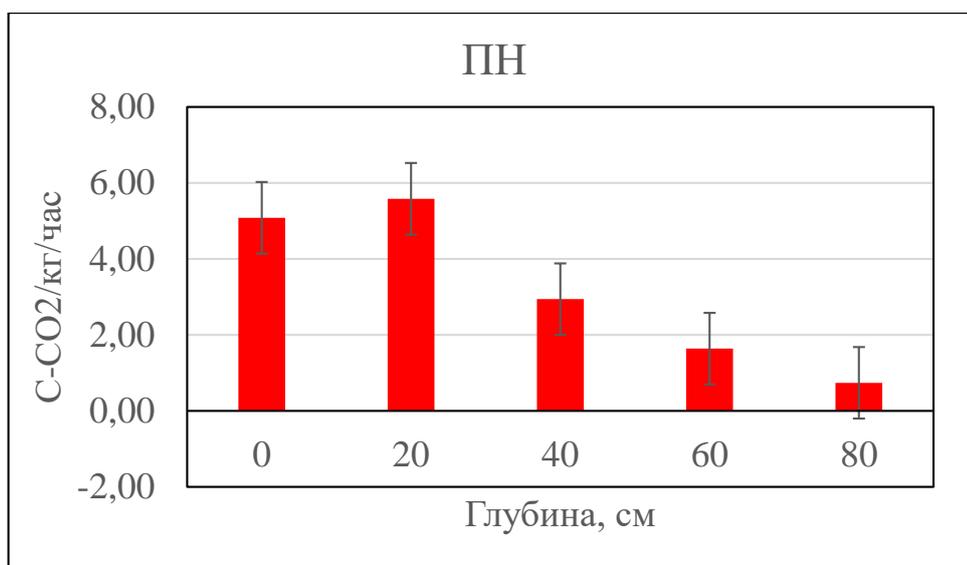


Рисунок 16. - Базальное дыхание в профиле почвы реперного участка Приневское

По сравнению с показателями базального дыхания в профиле почвы на участке Агротехника, можно отметить, что в верхнем гумусовом горизанте Приневского базальное дыхание было существенно выше. Максимальное значение БД на данном участке зафиксировано на глубине 20 см. оно составляет 5,58 мг С-CO₂/кг/час. Среднее значение на глубине 40 см. составило 2,94 мг С-CO₂/кг/час. Минимальное значение зафиксировано на глубине 80 см, это – 0,74 мг С-CO₂/кг/час.

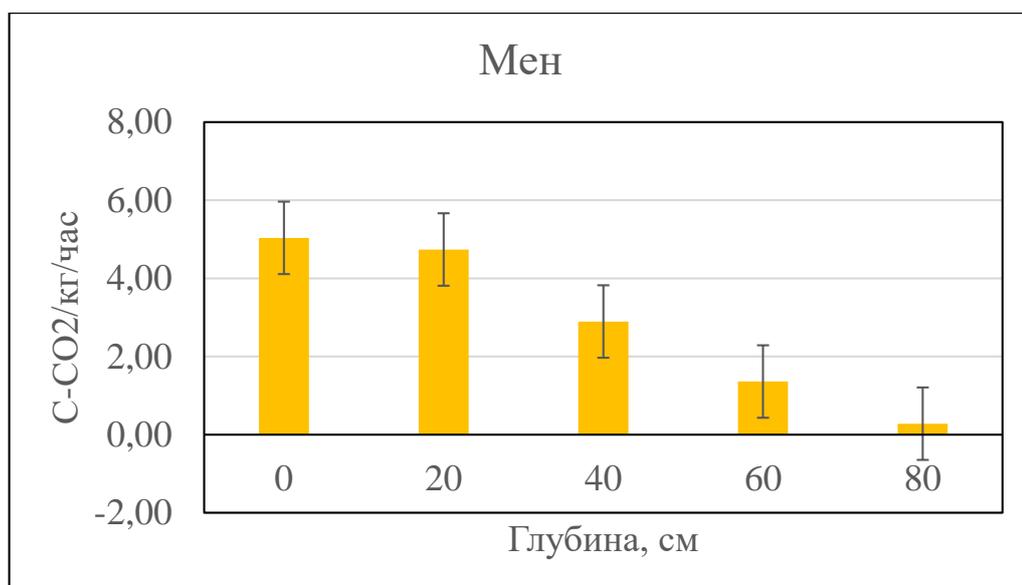


Рисунок 17. - Базальное дыхание в профиле почвы реперного участка Меньково

Максимальное значение из полученных данных можно наблюдать на глубине 0 см, оно составляет 5,04 мг С-CO₂/кг/час. Среднее значение на глубине 40 см. составило 2,9 мг С-CO₂/кг/час. Минимальное содержание базального дыхания составило 0,28 мг С-CO₂/кг/час, на глубине 80 см.

По данным полученных результатов можно сделать вывод о том, что максимальное значение базального дыхания почвы выявлено на реперном участке Приневское, значение достигает 5,08 мг С-CO₂/кг/час., на глубине 0-5 см. Базальное дыхание очень сильно зависит от таких показателей, как влажность и температура почвы. Таким образом можно сделать вывод, что на этом участке хорошая проницаемая способность и большое поступление влаги, это помогает поступлению питательных веществ в глубь почвы. А так же на участке благоприятная климатическая температура, чем она выше тем лучше она влияет на показатели почвы взаимодействуя с растениями, тем самым увеличивается базальное дыхание почвы. Дополнением к этому можно сказать, что на этом участке благоприятная микрофауна, такие как дождевые

черви и термиты, которые взаимодействуют с почвой, улучшают аэрацию и уменьшают насыпную плотность почвы.

Минимальные значения базального дыхания, говорят нам об обратном, что в нижние слои почвы данного участка, мало проникает влаги и температура там ниже, и от этих показателей почва теряет способность для большого выделения почвенного дыхания. Так же мы видим, что на всех участках базальное дыхание уменьшается с повышением глубины почвенного разреза.

3.2.3 Содержание микробного углерода в почвах

Микробный углерод также действует как критический пул углерода, на который приходится ~ 1% органического углерода почвы.

Почвенные микроорганизмы играют центральную роль в поддержании функций экосистемы, управляя множеством биохимических процессов, таких как разложение, минерализация питательных веществ, фиксация азота и секвестрация углерода. Микробные сообщества можно описать разными способами, например, на основе их численности, разнообразия и состава сообщества, что является важным аспектом того, как эти сообщества выполняют конечные функции почвенной экосистемы. Углерод почвенной микробной биомассы представляет собой количество углерода в бактериальных и грибковых клетках на единицу сухой почвы и является ценным показателем для количественной оценки размера микробного сообщества.

Микробные сообщества формируются в результате взаимодействия геохимических и биологических процессов и зависят от конкретных условий окружающей среды, что затрудняет обобщение наблюдаемых закономерностей и разработку прогнозного понимания их динамики.

По расчетным данным были построены гистограммы, которые отражают варьирование микробного углерода в почве по глубине залегания на четырех

реперных участках Мельниково, Агротехника, Приневское, Миньково. (Рис. 18).

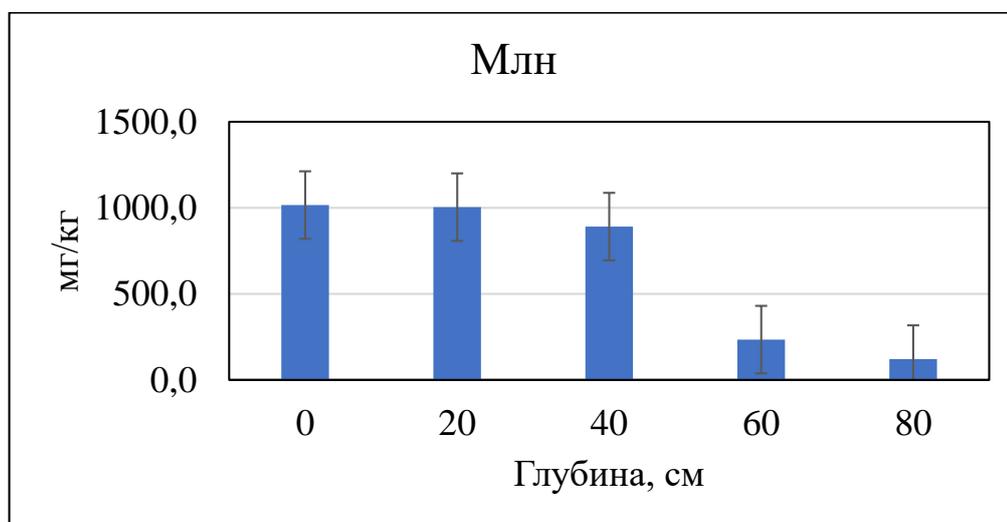


Рисунок 18. - Содержание микробного углерода в профиле почвы реперного участка Мельниково

Максимальное значение достигает на поверхности почвы, на глубине 0 см. оно составляет 1016,9 мг/кг. Рядом при следующем залегании с глубиной 20 см. значение не сильно разнится, оно составляет 1004,1 мг/кг. Минимальное значение наблюдается на глубине 80 см, оно 121,3 мг/кг.

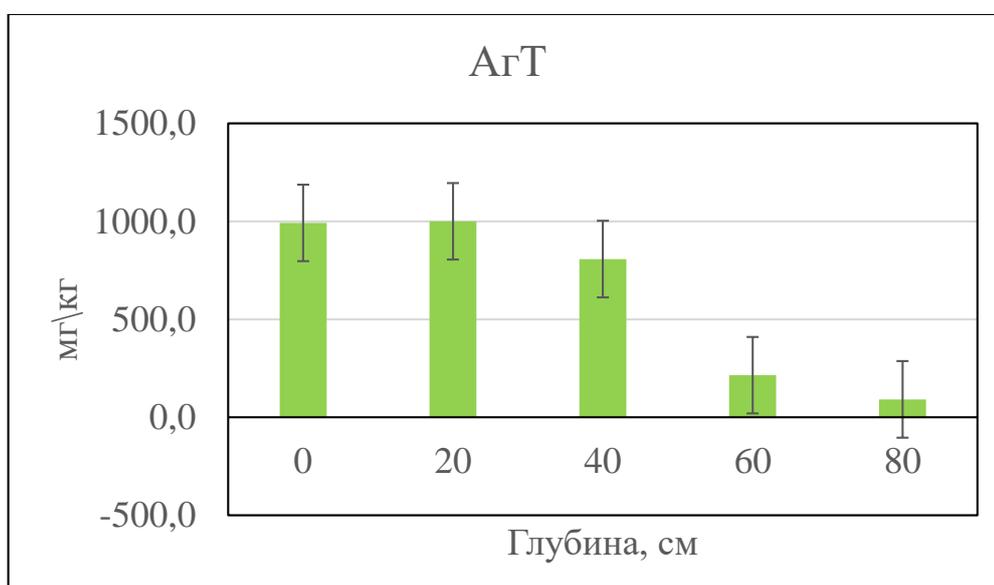


Рисунок 19. - Содержание микробного углерода в профиле почвы реперного участка Агротехника

По данному рисунку видно. Максимальное значение наблюдается на глубине 20 см, оно составляет 1000,1 мг/кг. Минимальное значение на глубине 80 см, составило 91,5 мг/кг.

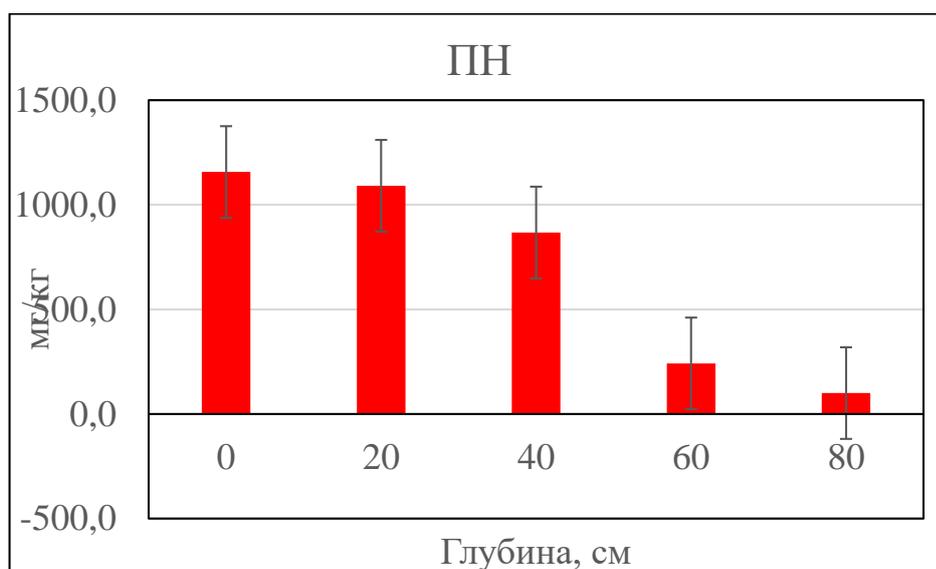


Рисунок 20. - Содержание микробного углерода в профиле почвы реперного участка Приневское

По данным полученных результатов, видно максимальное значение микробного углерода составило на поверхности почвы, при глубине 0 см, оно составило 1156,9 мг/кг. Минимальное значение зафиксировано на глубине 80 см, оно составило 100 мг/кг.

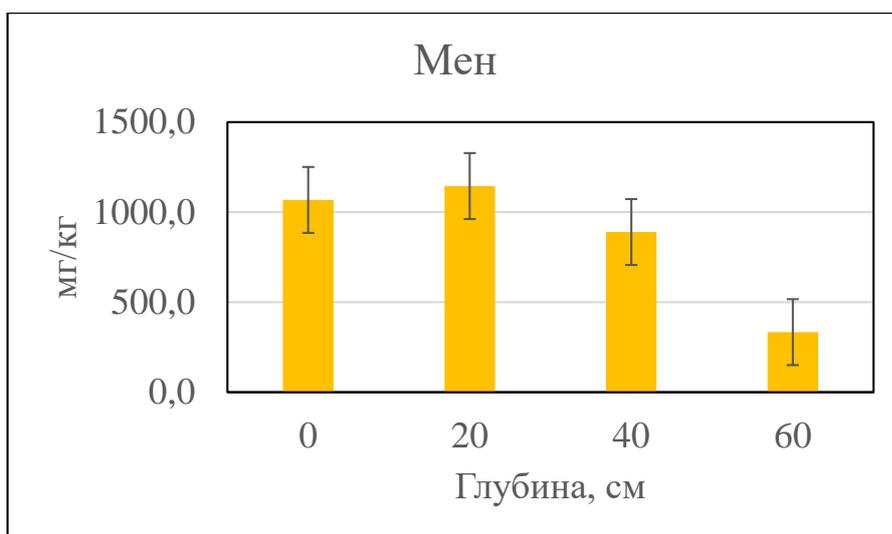


Рисунок 21. - Содержание микробного углерода в профиле почвы реперного участка Меньково

Из рисунка видно, что максимальное число микробного углерода составило 1145,3 мг/кг на глубине 20 см. но при этом на поверхности почвы при глубине 0 см, значение не сильно отличается от максимального, оно составляет 1068,9 мг/кг. Минимальное значение достигает 333,9 мг/кг, на глубине 60 см.

Таким образом, исходя из полученных результатов можно заключить, что максимальное значение органического углерода на участках наблюдалось в почвах реперных участков Приневское и Меньково, где значения $S_{мик}$ достигли значений 1156,9 мг/кг и 1145,3 мг/кг, соответственно. Это свидетельствует нам о благоприятном и интенсивном процессе разложения биомассы почвенными микробами, которое приводит к потере углерода в виде CO_2 из почвы из-за микробного дыхания, в то время как небольшая часть исходного углерода сохраняется посредством образования гумуса. Тем самым доказывая нам, что данные участки содержат много гумуса.

Минимальное значение выявлено на участке Агротехника 91,5 мг/кг. Это связано так же с процессами разложения микроорганизмов, оно в большей

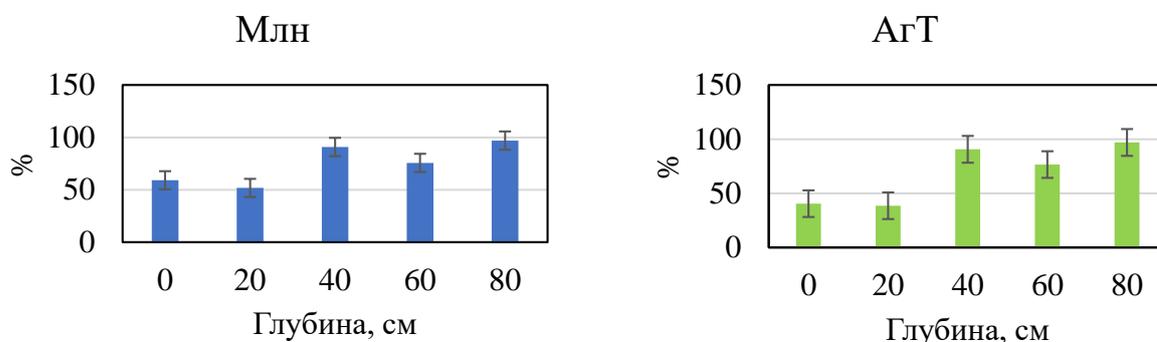
степени уменьшило количество микробного углерода и увеличило выделение эмиссии CO₂.

3.2.4 Отношение Смик/Сорг

Данный показатель характеризует эффективность использования доступного углерода микробным сообществом для формирования биомассы. Именно этот показатель характеризует основной обмен (энергию поддержания) микробного сообщества почвы. То есть Смик/Сорг используется как индикатор стресса микробного сообщества, и чем меньше этот показатель, тем лучше состояние микробного сообщества, тем меньше энергии тратят микроорганизмы на содержание и формирование единицы биомассы.

Во всех вариантах исследования установлена тесная связь Смик с Сорг ($r=0,91$ при $p<0,01$) и со снижением органического углерода в почвах показатели микробного углерода резко снижались.

На рисунке 22 представлено отношение Смик/Сорг в профиле почв четырех реперных участков: Мельниково, Агротехника, Приневское, Меньково.



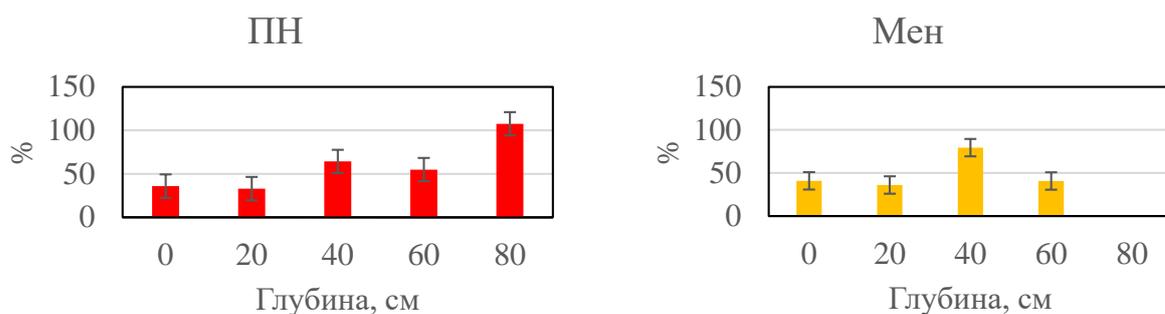


Рисунок 22. - Отношение Смик/Сорг % в профиле почв четырех реперных участков Ленинградской области: Мельниково, Агротехника, Приневское, Меньково

По данным полученных результатов, можно выделить максимальные значения на глубине 0 см, составило 59,1 %, на участке Мельниково. На глубине 20 см, составило 51,8 %. Так же на участке Мельниково. На глубине 40 см, максимальное значение составило, так же на участке Мельниково 90,9 %.

Изменения произошли на глубине 60 см, тут выявлено на участке Агротехника 76,6 % разница с участком Мельниково не большая, почти на единицу, составила 0,9 %. При глубине 80 см, является Приневское, в данном участке значение достигает наибольшего максимума 107,5, значительно выше остальных участков.

Исходя из полученных данных можно заключить, что наилучшее состояние микробного пула было характерно для почв реперного участка Приневское, далее следуют почвы реперного участка Меньково. Хуже дело обстоит с почвами реперных участков Агротехники и Мельниково, на что следует обратить внимание при ведении сельскохозяйственного использования.

3.3 Эмиссия диоксида углерода из почв реперных участков Ленинградской области

Покрытые растительностью поверхности земли играют важную роль в определении судьбы углерода в глобальном углеродном цикле. Однако наше понимание земной биосферы в глобальном масштабе подвержено значительной неопределенности, особенно в отношении воздействия климатических переменных на углеродный цикл. Почва является источником, а также поглотителем обмена CO₂ и способствует связыванию углерода. Практика управления сельским хозяйством влияет на динамику почвенных вод, а также на круговорот углерода, изменяя скорость выбросов и поглощения CO₂ почвой. Скорость выбросов CO₂ в почву варьируется для разных культур и различных органических удобрений.

В течение вегетационного периода растительный покров уменьшает площадь обнаженной почвы в окружающую среду. Например, вначале поверхность почвы была полностью открыта атмосфере, которая постепенно уменьшалась по мере роста растительности. Некоторые физические, химические и биологические свойства почв, климатические параметры (например, температура и количество осадков) и гидрологические параметры (например, влажность почвы) отвечают за характеристику пространственной и временной изменчивости выбросов CO₂. Кроме того, сельскохозяйственная деятельность и методы управления также влияют на выбросы CO₂, поскольку они могут изменить органическое вещество почвы или почвенный углерод.

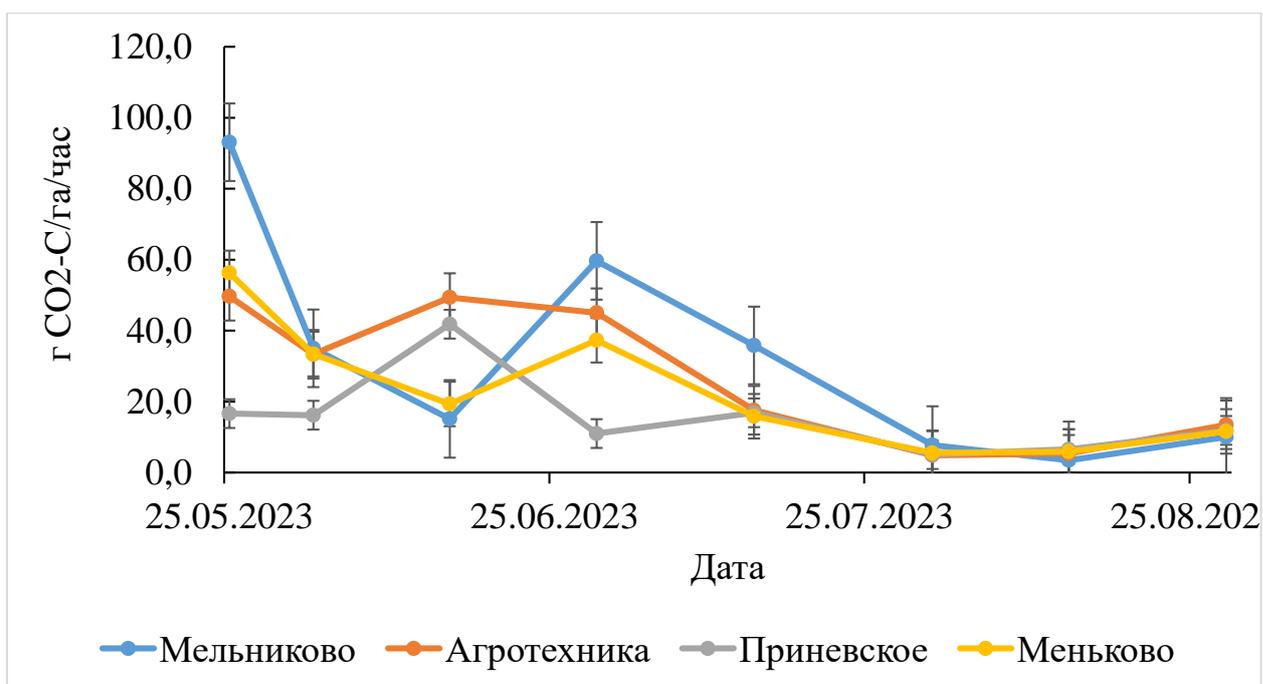


Рисунок 23. - Динамика эмиссии CO₂ из почв реперных участков Ленинградской области

Как видно из представленного рисунка, эмиссия исследуемого газа значительно варьировала в течение вегетационного периода 2023 года. Отмечены всплески выбросов CO₂ в начале вегетации, что обычно связано с увеличением биологической активности после осенне-зимне-весеннего периода, т.к. условия среды резко меняются, в частности, возрастает почвенная температура и содержится достаточное количество влажности.

В конце мая максимальные выбросы данного отмечены в Мельниково, которые достигали значений 91 г CO₂-C с 1 га в 1 час, наименьшие значения отмечены в Приневском – 16,6 г CO₂-C с 1 га в 1 час.

К середине июня, в связи с почвенной засухой, отмечено снижение эмиссии CO₂, а далее – некоторое увеличение к концу июня, после выпадения дождей. Максимальные выбросы газа вновь отмечены в Мельниково, а наименьшие – в Приневском.

С начала июля отмечена тенденция снижения выбросов CO₂ из почв реперных участков всех исследуемых участков к концу вегетационного периода.

Кумулятивные выбросы относятся к общему количеству парниковых газов, выброшенных в атмосферу за определенный период, так текущие годовые выбросы относятся к количеству парниковых газов, выбрасываемых в течение вегетационного периода.

На рисунке 24 представлена кумулятивная эмиссия CO₂ из почв реперных участков Ленинградской области.

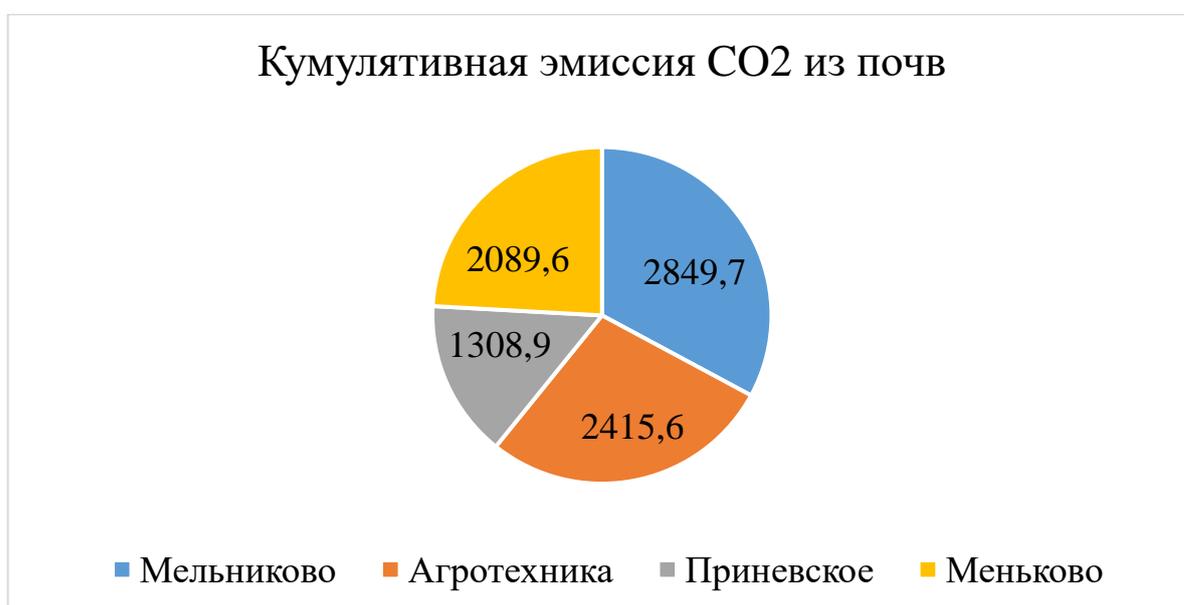


Рисунок 24. - Кумулятивная эмиссия CO₂ из почв реперных участков Ленинградской области

Как видно из представленного графика, наибольшее количество эмиссии парникового газа было установлено из почв участка Мельниково, которое за 110 дней исследования составило 2,9 т/га. На втором месте расположились почвы участка Агротехника. Меньше всего газ выделялся из почв участка Приневское, где кумулятивная эмиссия составила 1,3 т/га.

4. Содержание тяжелых металлов в пахотных горизонтах почв Ленинградской области

Общую загрязненность почвы характеризует валовое содержание тяжелых металлов, а доступность элементов для растений определяется их подвижными формами. Загрязнение подвижными формами ТМ является наиболее опасным явлением, так как именно в такой форме они могут ассимилироваться растениями и поступать в пищевые цепи [4].

Валовые формы ТМ представляются как потенциальный резерв подвижных элементов, которые активно участвуют в биологическом круговороте. Он характеризует общую загрязненность почвы, но не отражает степени доступности элементов для растений [4].

4.1 Концентрация меди

Токсичные уровни меди (Cu) редко встречаются в почве в естественных условиях. Однако медь может накапливаться в результате постоянного использования медьсодержащих фунгицидов или удобрений. Известно, что через регулирование рН почвы может уменьшить последствия фитотоксичности, вызванной избытком меди. Известкование почвы до более высокого уровня рН снижает доступность цинка и меди в почвенном растворе, обеспечивая некоторое облегчение фитотоксического воздействия этих элементов [7, 12].

На рисунке 25 представлено изменение содержания валовой формы меди в вариантах исследования почв Ленинградской области.

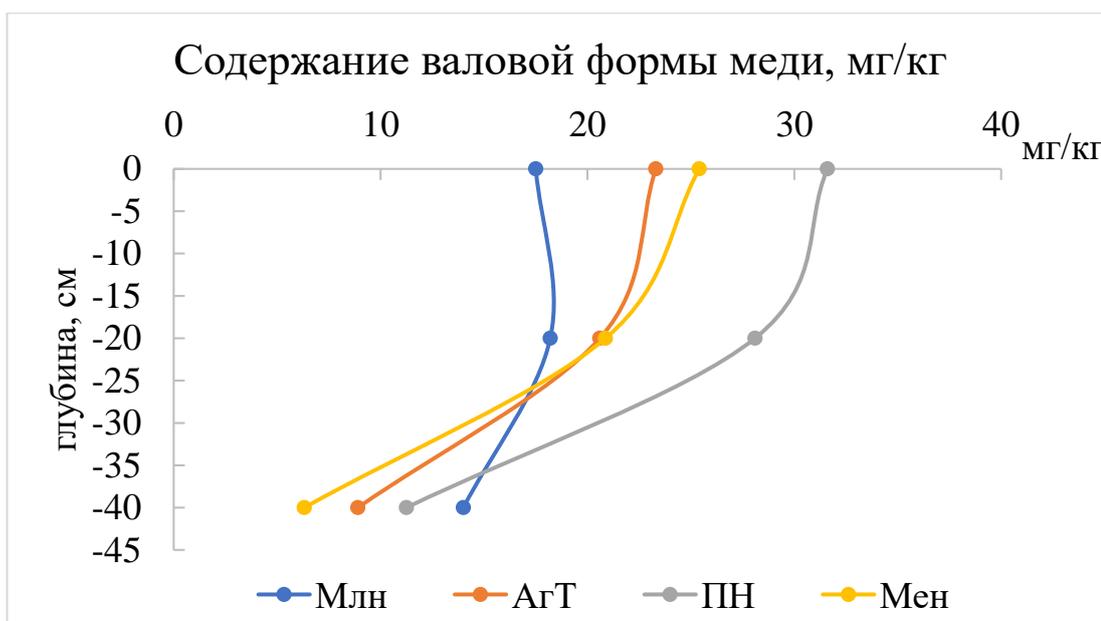


Рисунок 25. - Концентрация меди (валовая, кислоторастворимая форма) в профиле почв реперных участков Ленинградской области

По полученным данным из рисунка видно на глубине от 0 см до 20 см содержание меди, на участках Мельниково возрастает на 0,7 мг/кг, и составляет 18,2 мг/кг, а на других исследуемых участках содержание меди постепенно снижается, так Агротехника с 23,3 до 20,6 мг/кг, Приневское с 31,6 на 28,1 мг/кг, и Меньково с 25,4 на 20,8 мг/кг, таким образом максимальное содержание меди находится на участке ПН – 31,6 мг/кг, а минимальное на участке Млн – 18,2 мг/кг.

На глубине 40 см, на участке Мельниково постепенно снижается 14 мг/кг, на всех остальных участках заметен резкий скачок на понижение содержания меди, так с разницей на 16,8 мг/кг приходится максимальное значение на участке Приневское 11,25 мг/кг. Агротехника и Меньково снижается немного ниже на 11,7 и мг/кг, составляет 8,9 мг/кг. Минимальное значение виднеется на участке Меньково 6,31 мг/кг, с разницей на 14,5 мг/кг.

На рисунке 26 представлена концентрация подвижной форма меди в профиле почв исследуемых реперных участков Ленинградской области.

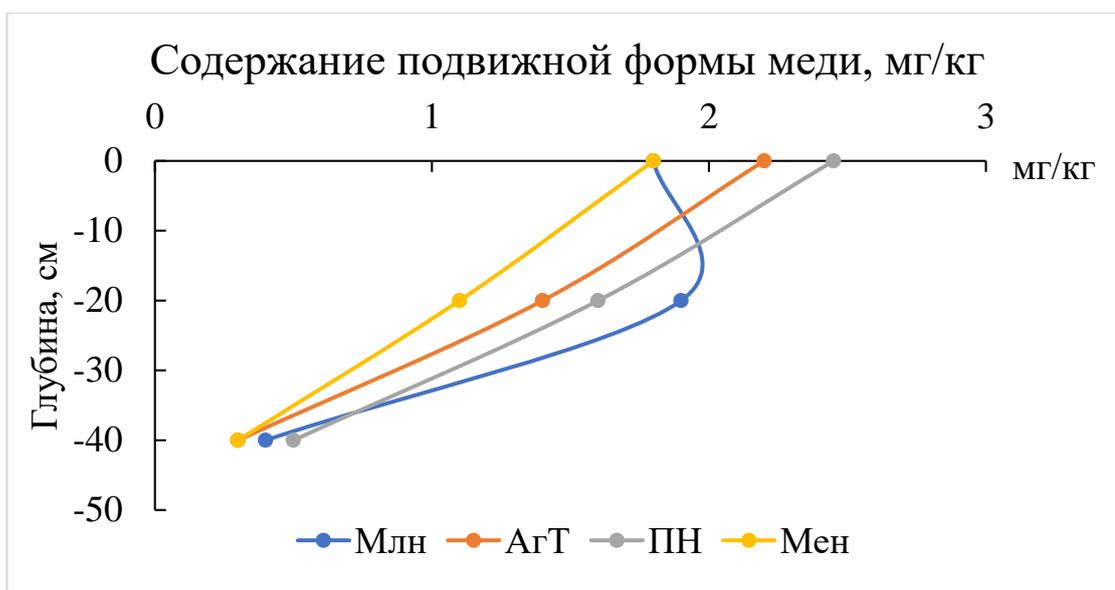


Рисунок 26. - Концентрация подвижной меди в профиле почв реперных участков Ленинградской области

Из рисунка можно сделать вывод, что максимальные значения на глубине от 0 до 20 см, наблюдаются на исследуемом участке Приневское – 2,45 мг/ кг, на остальных участках содержание подвижной меди плавно снижается, кроме одного на котором было зафиксировано минимальное значение меди, и это участок Мельниково, составило 1,8 мг/кг оно возросло на небольшое количество до 1,9 мг/кг.

На глубине 80 см наблюдалось снижение значений, так Млн - 0,4 мг/кг, Агр – 0,3 мг/кг, ПН – 0,5, и Мен – 0,3 мг/кг.

Такое движение меди по глубине непостоянно, это связано с изменением таких показателей, как рН почвы и температура, так на исследуемом участке рН снижалась с глубиной и составляло 5,3 на участке Мельниково, где медь до слоя 20 см увеличивала свое содержание, не имея возможности вымываться, образуя труднорастворимые гидраты. На других участках медь свободно вымывалась и тем самым снижала свое содержание на больших глубинах. А также, небольшая часть меди фиксируется в почве микроорганизмами.

4.2. Концентрация цинка в профиле почв

Цинк не считается токсичным тяжелым металлом. Однако его повышенное содержание в окружающей среде может оказывать существенное негативное влияние на живые организмы. Органическое вещество способно связывать цинк в устойчивые формы, что приводит к накоплению данного металла в органическом горизонте почв, но устойчивость таких цинкорганических соединений в почвах относительно низка. На рисунке 27 представлена валовая, кислоторастворимая форма цинка в профиле почв реперных участков Ленинградской области [12].

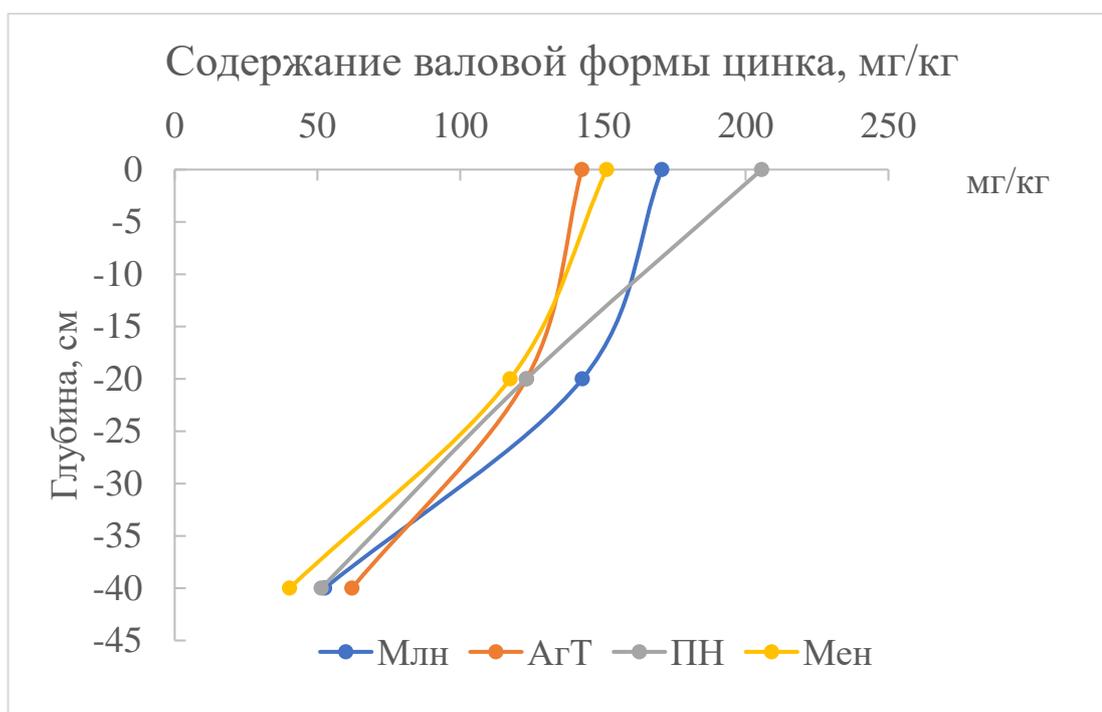


Рисунок 27. - Концентрация цинка (валовая, кислоторастворимая форма) в профиле почв реперных участков Ленинградской области

По полученным данным, можно говорить о том, что на глубине от 0 до 20 см. валовая форма цинка составила максимальное значение на участке Приневское 205,6 мг/кг, а минимальное Агротехника 123,2 мг/кг. Содержание

цинка резко снизилось с глубиной на участке Приневское, и так на глубине 40 см образовалась разница на 154,3 мг/кг, оно составило 51,3 самое минимальное значение в сравнении с остальными изучаемыми участками. Так максимальное содержание было выявлено на участке Агротехника 62,1 мг/кг. Мельниково и Меньково составили 52,5 и 40,2 мг/кг.

На рисунке 28 представлена подвижная форма цинка в профиле почв реперных участков Ленинградской области.

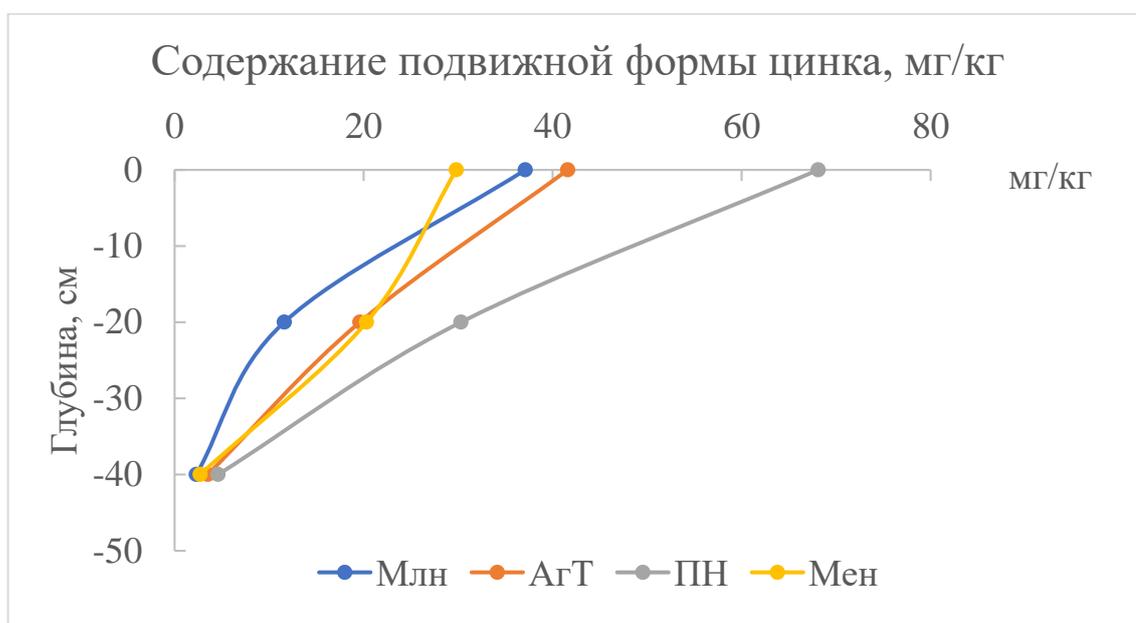


Рисунок 28. - Концентрация подвижного цинка в профиле почв реперных участков Ленинградской области

По данным исследования содержание подвижной формы цинка, можно сказать, что на глубине от 0 до 20 см, значения на участках Мельниково, Агротехника и Приневское резко снижались с разницей на 20 и 30 мг/кг, по сравнению с верхним слоем почв. Так Млн – с 37,1 до 11,6 мг/кг, Агр – с 41,6 до 19,6 мг/кг, ПН – с 68, 1 до 31,3 мг/кг. Максимальное значение зафиксировано на участке Приневское 68,1 и минимальное содержание на участке Мельниково 11,6 мг/кг.

На глубине 40 см значения составили Млн – 2,3 мг/кг, Агр – 3,5 мг/кг, ПН – 4,6 мг/кг, Мен – 2,7 мг/кг.

4.3 Концентрация кобальта в профиле исследуемых почв

Со играет жизненно важную роль во взаимодействии с железом (Fe), никелем (Ni) и цинком (Zn) в поддержании клеточного гомеостаза. Подобно другим незаменимым микроэлементам, растения реагируют на концентрацию Со в почве: при низких концентрациях он способствует росту растений, но вызывает фитотоксичность при более высоких концентрациях [13].

На рисунке 29 представлено изменение концентрации валовой формы кобальта в профиле почв реперных участков Ленинградской области .

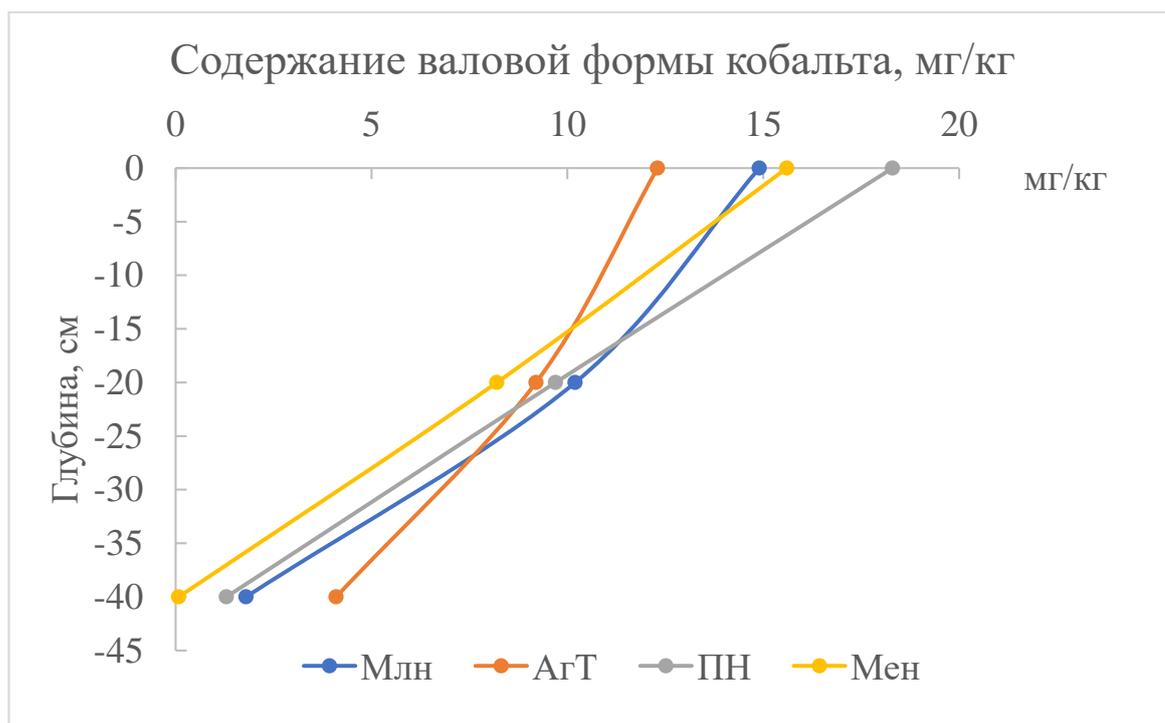


Рисунок 29. - Концентрация кобальта (валовая, кислоторастворимая форма) в профиле почв реперных участков Ленинградской области

По полученным данным можно сказать, что на глубине от 0 до 20 см, происходит постепенное снижение содержания кобальта, так максимальное значение зафиксировано на исследуемом участке Приневское 18,3 мг/ кг. Минимальное на участке Меньково 8,2 мг/кг. На глубине 40 см содержание вновь снижается, виден большой скачек значений Мельниково с 10,2 до 1,8 мг/кг, Приневское с 9,7 до 1,3 мг/кг, и Меньково имеет самое минимальное содержание кобальта с 8,2 до 0,08 мг/кг, более постепенно снижается Агротехника с 9,2 до 4,1 мг/кг,

На рисунке 30 представлена концентрация подвижной (водорастворимой) формы кобальта в профиле почв исследуемых участков.

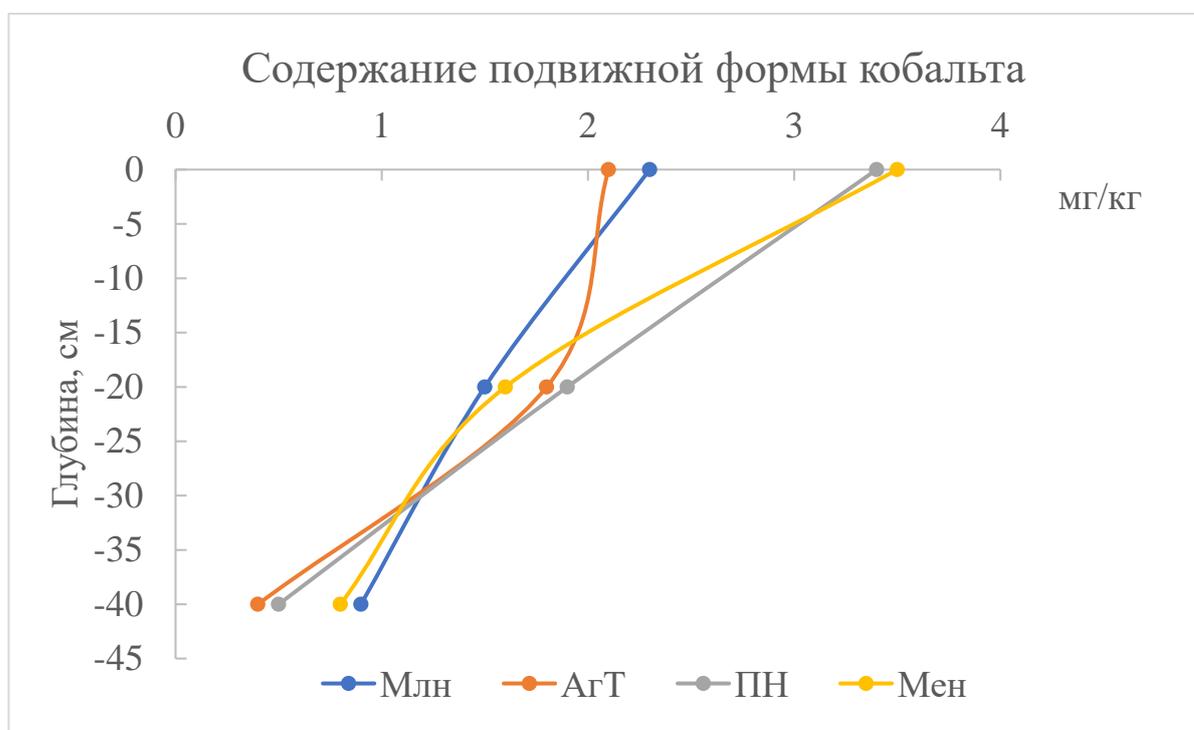


Рисунок 30. - Концентрация подвижного кобальта в профиле почв реперных участков Ленинградской области

По полученным данным из рисунка можно сказать, что с увеличением глубины профиля почв на всех исследуемых участках содержание подвижного кобальта снижается.

На глубине от 0 до 20 см максимальное содержание выявлено на участке Меньково 3,5 мг/кг. Минимальное содержание на участке Мельниково 1,5 мг/кг. На глубине 40 см происходит резкое снижение значений на участках Агротехника и Приневское с 1,8 до 0,4 мг/кг, и с 1,9 до 0,5. Максимальное значение выявлено на участке Мельниково, оно составило 0,9 мг/кг.

4.4 Концентрация свинца в профиле почв исследуемых участков

Среди тяжелых металлов свинец относится к одним из приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха, почвы и других компонентов окружающей среды, его накопление происходит наиболее интенсивно [15, 24].

На рисунке 31 представлено содержание валовой, кислоторастворимой форма свинца в профиле почв исследуемых участков.

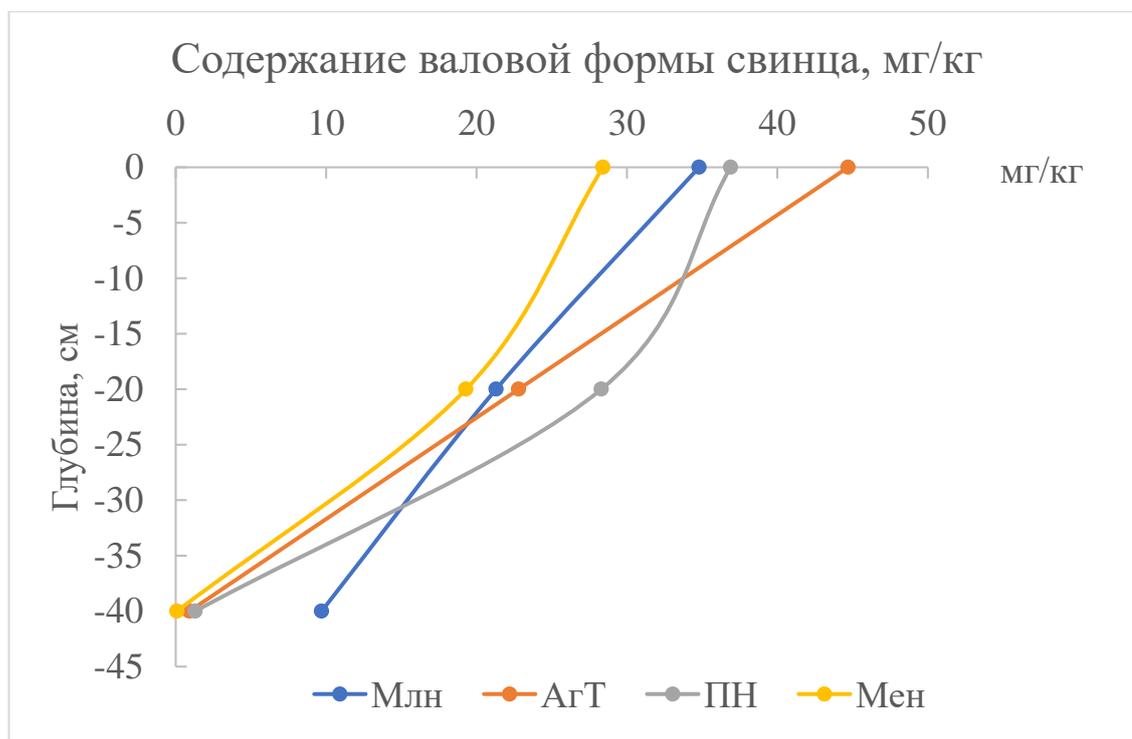


Рисунок 31. - Концентрация валовой формы свинца в профиле почв реперных участков Ленинградской области

Из данного рисунка, можно сказать, что на глубине от 0 до 20 см валовое содержание свинца понижается. Так максимальное значение выявлено на участке Агротехника 44,7 мг/кг. Минимальное значение на участке Меньково 19,3 мг/кг. Резкое снижение произошло на участке Агротехника с разницей на 21,9 мг/кг и составило 22,8 мг/кг. На глубине 40 см, резкий скачек на снижение произошел на участках Агротехника с 22,8 до 0,91 мг/кг, Приневское с 28,3 до 1,3 мг/кг, и Меньково с 19,3 до 0,09 мг/кг. так же оно является минимальным значением. На участке Мельниково более плавно снижалось до 9,1 мг/кг. На рисунке 32 представлено содержание подвижной формы свинца.

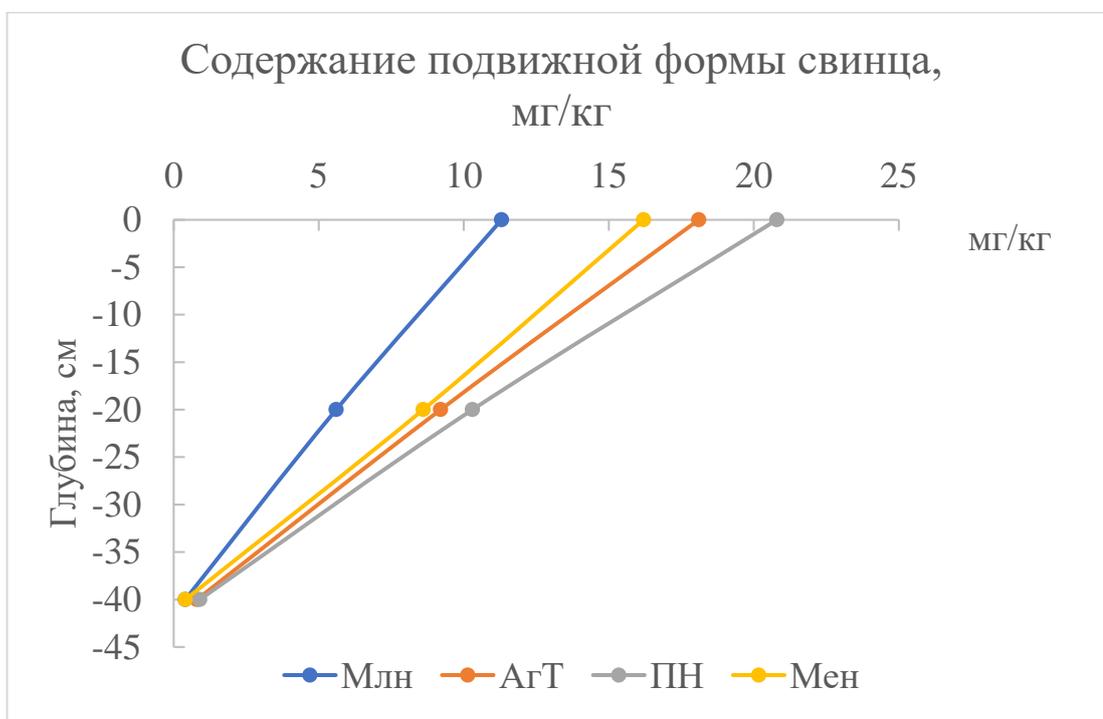


Рисунок 32. - Концентрация подвижного свинца в профиле почв реперных участков Ленинградской области

По полученным данным из рисунка видно, что максимальное значение на глубине от 0 до 20 см, выявлено на участке Приневское 20,8 мг/кг. Минимальное значение 5,6 мг/кг Мельниково. По всему генетическому профилю содержание свинца плавно снижается. На глубине 40 см значения на

участке Мельниково с 5,6 до 0,4 мг/кг, на других участках произошел резкий спад содержания свинца Агротехника 9,2 до 0,8 мг/кг, Приневское с 10,3 до 0,9 мг/кг, Меньково с 8,6 до 0,4 мг/кг. Минимальное значение зафиксировано на участке Мельниково 0,4 мг/кг.

4.5 Концентрация кадмия в профиле почв исследуемых реперных участков

Наряду со свинцом, кадмий является одним из самых опасных тяжелых металлов. Поиск новых способов снижения его обменного присутствия в почвах представляет немалый интерес [24].

На рисунке 33 представлено изменение содержания валовой, кислоторастворимой формы кадмия.

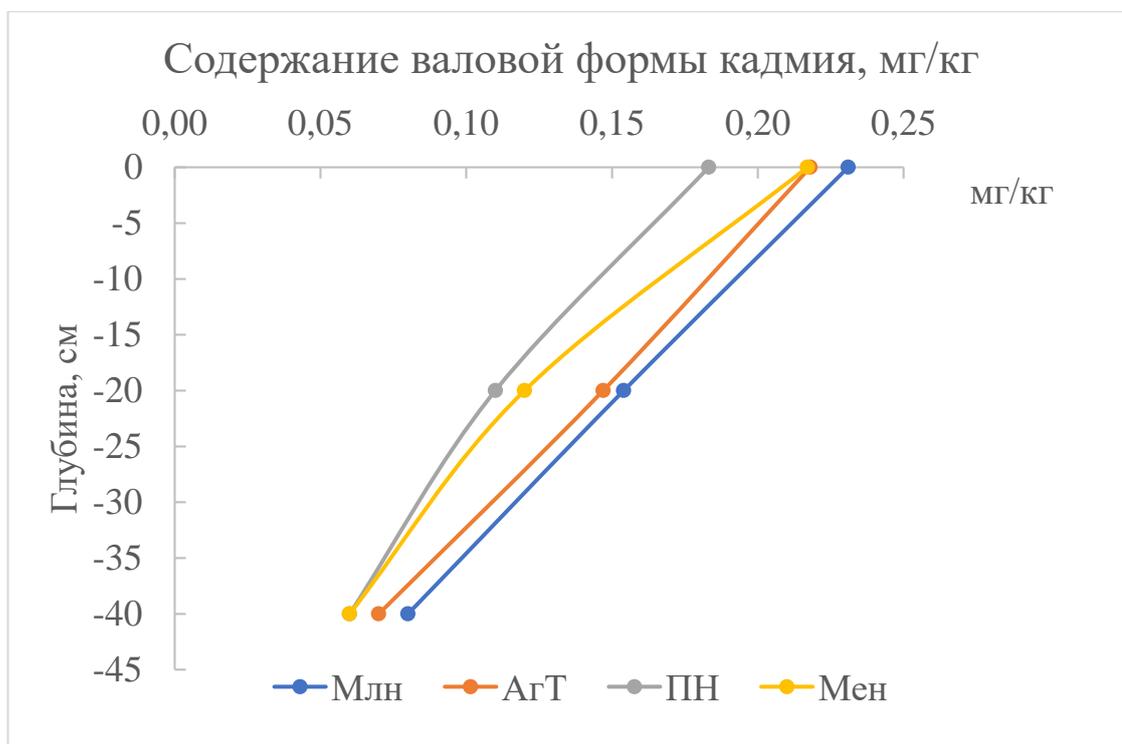


Рисунок 33. - Концентрация валовой формы кадмия в профиле почв реперных участков Ленинградской области

По данным рисунка можно сказать, что происходит плавное снижение содержания кадмия по всему генетическому профилю с увеличением глубины, так от 0 до 20 см, максимальные значения зафиксированы на участке Приневское 0,18 мг/кг, а максимальное на участке Мельниково 0,23 мг/кг, На глубине 40 см значения на всех участках уменьшаются с небольшой разницей на 0,08 мг/кг. Так значения составляют Млн – 0,08 мг/кг, Агр – 0,07 мг/кг, Приневское и Меньково составило 0,06 мг/кг.

На рисунке 34 представлена подвижная (водорастворимая) форма кадмия.

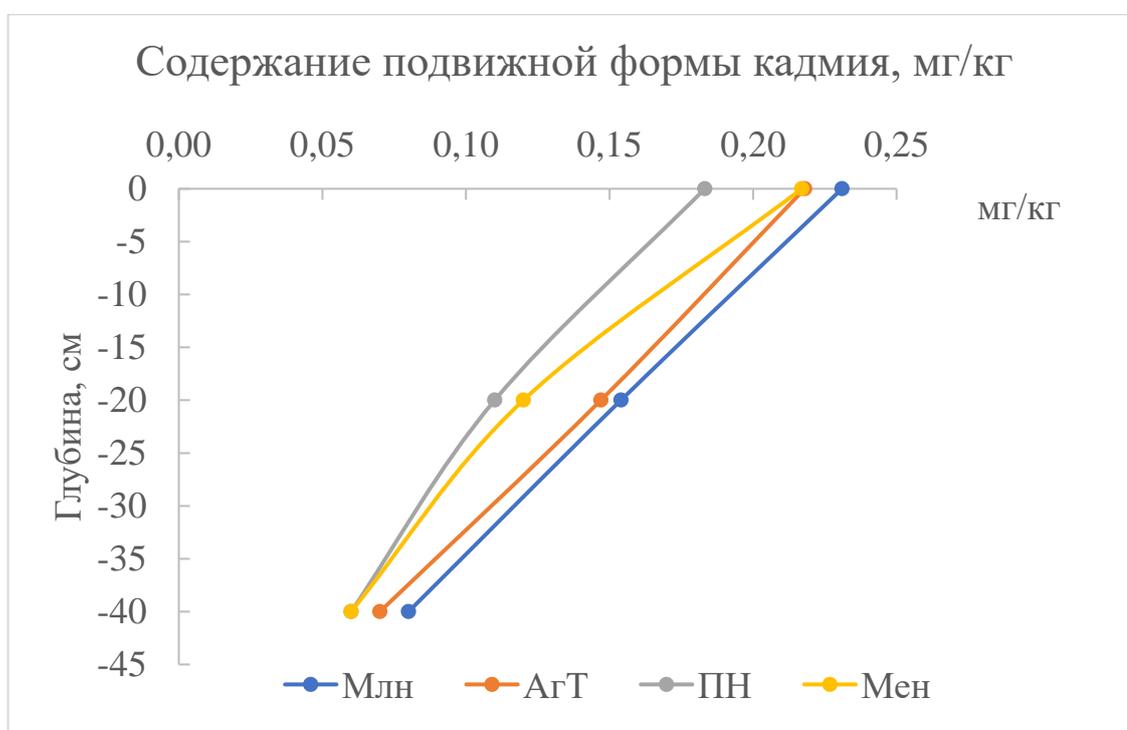


Рисунок 34. - Концентрация подвижной формы кадмия в профиле почв реперных участков Ленинградской области

По полученным данным, можно сказать на всех участках происходит снижение содержания кадмия. Там на глубине от 0 до 20 см, максимальное значение выявлено на участке Мельниково 0,23 мг/кг, минимальное значение на участке Приневское составило 0,11 мг/кг. На глубине 40 см максимальное

значение приходится на участок Мельниково 0,08 мг/кг, минимальное на участках Приневское и Меньково, составило 0,06 мг/кг.

Таблица 6. Средняя концентрация валовой формы ТМ в вариантах исследуемых почв на четырех участках Мельниково, Агротехника, Приневское, Меньково мг/кг

	Медь	Цинк	Кобальт	Свинец	Кадмий
Мел	16,6	122,0	9,0	21,9	0,2
Агр	17,6	109,3	8,5	22,8	0,4
ПН	23,7	126,7	9,8	22,2	0,2
Мен	17,5	103,0	7,7	15,9	0,2
Фоновое содержание	17,6	35,0	3,1	16,2	0,2

Исходя из полученных данных, можно выделить, что среди изучаемых форм тяжелых металлов в почве их концентрации можно расположить в следующий убывающий ряд: Цинк > Медь > Свинец > Кобальт > Кадмий

Степень загрязненности почв рассчитывается по индексу суммарного загрязнения. Результаты расчетов представлены в таблице 7.

Таблица 7. Суммарный показатель загрязненности почв на четырех исследуемых участках Мельниково, Агротехника, Приневское, Меньково

Кс	Медь	Цинк	Кобальт	Свинец	Кадмий	Zс - суммарный показатель загр
Мел	0,9	3,5	2,9	1,4	1,2	9,9
Агр	1,0	3,1	2,8	1,4	2,4	10,7
ПН	1,3	3,6	3,2	1,4	1,3	10,8
Мен	1,0	2,9	2,5	1,0	1,6	9,0

Zс – суммарный показатель загрязненности почв.

- >1,5 отсутствие загрязнения,
- 1,5 - 5 слабое загрязнение,
- 5 – 10 сильное загрязнение,
- <10 очень сильное загрязнение.

Таким образом по полученным данным из таблицы 7 видно, что на участке Меньково, Z_c – суммарный показатель загрязнения почвы составляет 5,0 – слабое загрязнение. Это связано с тем, что участок полигона располагается в пределах интенсивно обрабатываемых почв, а так же на участке проводится выращивание зерновой и овощной культуры, Исследуемый участок находится вдали от транспортных дорог, и промышленности.

Почвы всех рассматриваемых хозяйств по валовому содержанию и содержанию подвижной формы меди, относятся к группе 1, которая соответствует концентрациям элементов в почвах ниже 0,5 ПДК (ОДК). Максимальное валовое содержание меди в почвах изученных хозяйств было установлено на ключевых участках полигона «Мельниково», которое изменялось от 31 до 45 мг/кг. В целом, по содержанию валовой меди в почвах, изучаемые хозяйства располагаются в следующий убывающий ряд: «Мельниково» > «Приневское» > «Агротехника» > «Меньково».

Почвы всех рассматриваемых хозяйств, по содержанию подвижной формы цинка, можно отнести к группе 1, которая соответствует концентрациям элементов в почвах ниже 0,5 ПДК (ОДК). По валовому содержанию – «Мельниково», «Меньково», «Приневское» – также к группе 1, а «Агротехника» – к группе 2, верхние значения которой соответствуют ПДК (ОДК) элемента. Наибольшее содержание валовой формы цинка, которое достигало 54 мг/кг, установлено в почве хозяйства «Мельниково». Наименьшее количество валового цинка было определено в хозяйстве «Приневское» – 30,6 мг/кг,

По содержанию подвижной формы кобальта, почвы рассматриваемых хозяйств можно отнести к группе 1, которая соответствует концентрациям элементов в почвах ниже 0,5 ПДК (ОДК).

Наиболее высокое содержание валового кобальта было установлено в хозяйстве «Мельниково», которое на разных ключевых участках варьировало от 6 до 7,1 мг/кг. По содержанию подвижной формы микроэлемента в почвах изучаемых хозяйств располагаются в следующий убывающий ряд: «Агротехника» > «Меньково» > «Мельниково» > «Приневское». Распределение содержания валовой формы кобальта в почвах хозяйств было несколько иным – «Мельниково» > «Меньково» > «Приневское» > «Агротехника».

По валовому содержанию и содержанию подвижной формы свинца, почвы всех рассматриваемых хозяйств можно отнести к группе 1, которая соответствует концентрациям элементов в почвах ниже 0,5 ПДК (ОДК).

В почвах исследуемых хозяйств не было отмечено превышений нормативов ПДК и ОДК по валовому содержанию и содержанию подвижных форм никеля.

По содержанию подвижной формы никеля исследуемые почвы, можно отнести к группе 1, которая соответствует концентрациям элементов в почвах ниже 0,5 ПДК (ОДК), по валовому содержанию – ЗАО «Агротехника», ФГУП ОПХ «Меньково», ЗАО «Приневское» – также к группе 1, а ЗАО «Мельниково» – к группе 2, верхние значения которой соответствуют ПДК (ОДК) элемента.

Результаты исследований свидетельствуют о значительных концентрациях мышьяка в почвах исследуемых сельскохозяйственных предприятий Ленинградской области. Так в почвах хозяйства «Мельниково» установлены достоверно наибольшие концентрации мышьяка, которые варьировали в пределах от 2,69 до 3,33 мг/кг. В почвах полигона «Приневское» валовое содержание мышьяка составило от 1,94 до 2,46 мг/кг. В почвах сельскохозяйственного предприятия «Меньково» обнаружены концентрации рассматриваемого элемента от 1,67 до 3,05 мг/кг. Наименьшее валовое содержание, составляющее от 1,36 до 2,45 мг/кг, выявлено в почвах хозяйства «Агротехника». Почвы хозяйств «Приневское» и «Меньково», по валовому

содержанию мышьяка, можно отнести к группе 1, которая соответствует концентрациям элементов в почвах ниже 0,5 ОДК, а «Мельниково» и «Агротехника» – к группе 2, верхние значения которой соответствуют ОДК элемента. На рисунке 36 представлено среднее валовое содержание мышьяка в пахотных горизонтах почв исследуемых полигонов Ленинградской области.

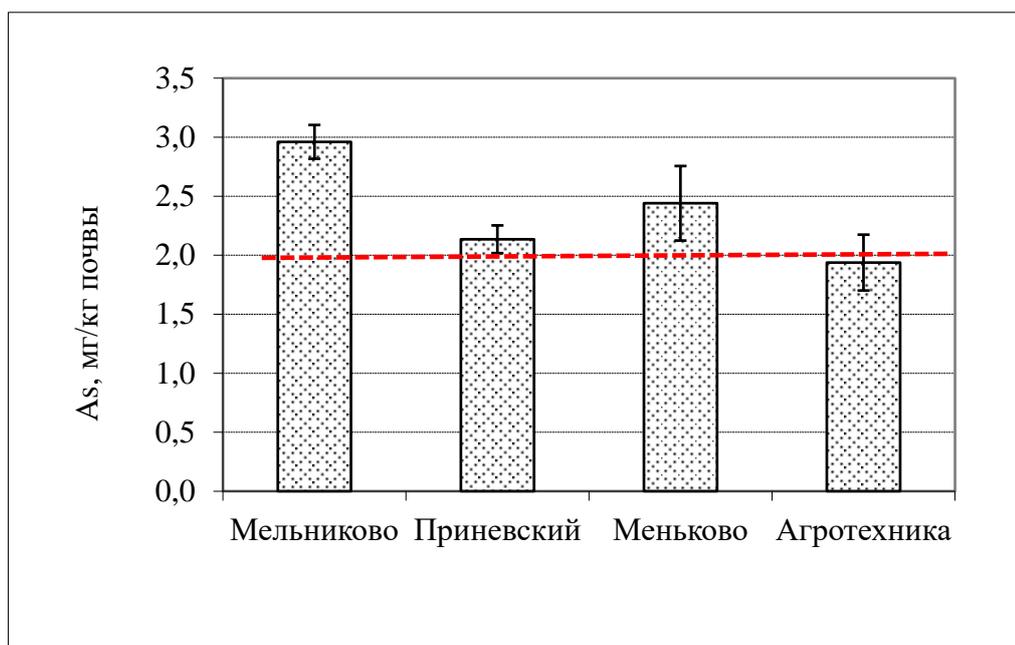


Рисунок 36. – Среднее валовое содержание мышьяка в почвах тестовых полигонов

Как можно видеть на графике, максимальное валовое содержание мышьяка, составляющее 2,96 мг/кг, определено для почв хозяйства «Мельниково». Наименьшее, без достоверных различий с почвами полигона «Приневское», содержание, равное 1,94 мг/кг, выявлено в почвах предприятия «Агротехника». Во всех рассматриваемых хозяйствах отмечено превышение ПДК по содержанию мышьяка в почве.

В соответствии с изменениями в ГН 2.1.7.2041-06, устанавливающим величину ПДК валового содержания мышьяка равной 2,0 мг/кг, почвы рассматриваемых хозяйств можно классифицировать по доле от ПДК.

Содержание мышьяка в почвах полигона «Мельниково» достигает величины 1,5ПДК. В почвах предприятия «Приневское» – 1,1ПДК. В почвах тестового полигона «Меньково» концентрация мышьяка составила 1,2ПДК. Для почвы полигона «Агротехника» доля предельно-допустимой концентрации рассматриваемого элемента составила 1,0ПДК.

Ориентировочно-допустимая концентрация (ОДК), устанавливающая величину валового содержания мышьяка, для песчаных и супесчаных почв, согласно ГН 2.1.7.2511-09, имеет значение 2,0 мг/кг, для кислых (суглинистых и глинистых) с $pH(KCl) < 5,5$ – 5,0 мг/кг, для близких к нейтральным и нейтральным (суглинистых и глинистых) с $pH(KCl) > 5,5$ – 10,0 мг/кг. Из чего следует, что почвы рассматриваемых тестовых полигонов по доле от ОДК распределяются следующим образом: дерново-подзолистая глеевая тяжелосуглинистая почва с $pH=5,2$ хозяйства «Мельниково» – 0,6 ОДК; дерново-глееватая среднесуглинистая почва с $pH=6,4$ полигона «Приневское» – 0,2 ОДК; дерново-подзолистая супесчаная с $pH=5,7$ полигона «Меньково» – 0,2 ОДК; дерново-слабоподзолистая иллювиально-железистая супесчаная $pH=5,1$ полигона «Агротехника» – 1,0 ОДК.

Для эколого-токсикологической оценки, почвы хозяйств «Приневское» и «Меньково», по валовому содержанию мышьяка, можно отнести к группе 1, которая соответствует концентрациям элементов в почвах ниже 0,5 ОДК, а «Мельниково» и «Агротехника» – к группе 2, верхние значения которой соответствуют ОДК элемента.

Данные результатов эксперимента по биологической активности и эмиссии CO_2 представлены в Приложении 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ экологического состояния реперных участков Ленинградской области, включенных в исследование. Все участки отличаются по уровню техногенной нагрузки, природно-климатическим условиям.

1.1. Почвы реперных участков различаются по гранулометрическому составу: в Мельниково - тяжелосуглинистые почвы на ленточных глинах, в Агротехнике - слабосуглинистые почвы на озерно-ледниковых отложениях, в Приневском – среднесуглинистые на моренах, в Меньково – супесчаные на красноцветных песках.

1.2. Основные экологические проблемы реперных участков:

Мельниково: отсутствие навозохранилища, слив отходов КРС на поля, наличие незаконных свалок твердых бытовых отходов.

Агротехника: большое количество заброшенных земель, в большей степени развито молочное животноводство с последствиями стойлового содержания крупного рогатого скота.

Приневское: выброс загрязняющих веществ со стороны Санкт-Петербурга, проблемы загрязнения воздуха и почв автотранспортом, массовое жилищное строительство, большое количество промзон, утилизация твердых бытовых отходов, использование химических удобрений для увеличения урожайности культур.

Меньково – биологический полигон, на котором изучаются различные препараты, в том числе и в больших дозах, отрицательно влияющих на состояние окружающей среды.

2. Сравнение микробного дыхания дерново-подзолистых почв разных агроэкосистем.

Из полученных данных по показателю микробного дыхания четырех исследуемых полигонов, можно выделить благоприятный полигон с активным микробным дыханием Приневское, так как на данном участке значения достигли максимума, и составили 5,08 мг С-СО₂/кг/час., на глубине 0-5 см.

Базальное дыхание очень сильно зависит от таких показателей, как влажность и температура почвы.

Таким образом можно сделать вывод, что на этом участке хорошая проникаемая способность и большое поступление влаги, это помогает поступлению питательных веществ в глубь почвы. А так же на участке благоприятная климатическая температура, чем она выше тем лучше она влияет на показатели почвы взаимодействуя с растениями, тем самым увеличивается базальное дыхание почвы. Дополнением к этому можно сказать, что на этом участке благоприятная микрофауна, такие как дождевые черви и термиты, которые взаимодействуют с почвой, улучшают аэрацию и уменьшают насыпную плотность почвы.

Так же мы видим, что на всех участках базальное дыхание уменьшается с повышением глубины почвенного разреза. Минимальные значения базального дыхания, говорят нам об обратном, что в нижние слои почвы данных участков Мельниково, Агротехника и Меньково, мало проникает влаги и температура там ниже, и от этих показателей почва теряет способность для большого выделения почвенного дыхания.

3. Оценка взаимосвязи эмиссии CO₂ почв с их микробными, химическими и физическими свойствами

Почва является источником, а также поглотителем обмена CO₂ и способствует связыванию углерода. Скорость выбросов CO₂ в почву варьируется для разных культур и различных органических удобрений.

Некоторые физические, химические и биологические свойства почв, климатические параметры (например, температура и количество осадков) и гидрологические параметры (например, влажность почвы) отвечают за характеристику пространственной и временной изменчивости выбросов CO₂. Кроме того, сельскохозяйственная деятельность и методы управления также влияют на выбросы CO₂, поскольку они могут изменить органическое вещество почвы или почвенный углерод.

По полученным данным мы можем оценить исследуемые полигоны. На полигоне Мельникого зафиксированы максимальные значения эмиссии, которые связаны с таким антропогенным воздействием, как слив отходов КРС, находящихся рядом с полигоном ферм. А так же на данном участке производятся сельскохозяйственные работы, которые прямо воздействуют на изменение физических показателей почвы, таких как гранулометрический состав, от него зависит переувлажнение почвы, связанное с проведением работ, таких как орошение, выращивание овощей. Так же большое объём внесения удобрений для получения максимального количества продукции, влияет на изменение рН среды, и химический состав почвы.

4. Оценка загрязненности почв тяжелыми металлами.

По полученным данным исследования, можно выделить полигон Меньково, он менее загрязнён и подвержен накоплению тяжелых металлов, Это связано с его расположением вдали от промышленных производств, автотранспортных дорог. Самым главным является показатель обработки данных сельскохозяйственных почв, который играет важную роль в поступлении тяжелых металлов в почву. Тем самым мы можем наблюдать, что проведение научно-исследовательских работ сотрудниками Агрофизического института, таких как, выращивание зерновой и овощной культуры приводит к минимуму накопления металлов, это говорит нам, что использование новейших технологий и методик обработки сельскохозяйственных угодий, ведет к улучшению состояния почвы. А также применение выращивания различных культур, таких как пшеница, и другие, могут способствовать очищать почву от тяжелых металлов.

По максимальному содержанию тяжелых металлов можно выделить исследуемый полигон Приневское, это связано с такими факторами воздействия, как загрязнения воздуха и почв автотранспортом, полигон расположен очень близко к дорожной магистрали, автотранспорт является одним из основных загрязнителей почвы тяжелыми металлами, он является источником всех металлов, которые мы изучили на данном участке.

Истирание покрышек приводит к попаданию в почву таких металлов как кобальт, медь [16].

По полученным данным этот полигон является объектом максимальных значений, так кобальта 9,7 мг/кг и медь 23,7 мг/кг, использование тормозных масел ведет к поступлению цинка в почву, по его содержанию Приневское так же является полигоном с максимальным содержанием цинка 126,7 мг/кг. Таким образом, тяжелые металлы, такие как медь, цинк и другие элементы, попадают в окружающую среду из различных источников в результате использования автотранспорта.

Следующий фактор, это массовое жилищное строительство. В наше время строительство новых жилых комплексов и объектов инфраструктуры неизбежно связано с загрязнением почвы тяжелыми металлами. Многие современные строительные материалы содержат тяжелые металлы, которые могут выделяться в окружающую среду при разрушении зданий или в процессе эксплуатации, а так же процессе строительства часто отсутствует должный контроль за выбросами вредных веществ, включая тяжелые металлы, что приводит к их попаданию в почву. А так же близкое расположение промышленных зон рядом, влияет на попадание тяжелых металлов в почву данного полигона.

РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ

Одной из острых проблем в аграрном секторе является ухудшение экологического состояния пахотных земель, загрязнение сельскохозяйственных угодий токсическими веществами, вследствие резкого уменьшения объема применения органических и минеральных удобрений происходит снижение почвенного плодородия.

Успешное ведение экологического земледелия требует высокой биологической активности почвы. Только тогда органические вещества, попадающие в почву, могут действительно эффективно использоваться окружающей биотой.

Биологическая активность почвы играет ключевую роль в обеспечении её плодородия. Этот показатель зависит от различных факторов, начиная от погодных условий и заканчивая методами обработки и использования удобрений. Способы обработки почвы и внесение различных видов удобрений имеют огромное значение для биологической активности. Например, минеральные удобрения могут временно увеличить урожайность, но при этом снизить биологическую активность почвы из-за негативного влияния на микроорганизмы. В то время как органические удобрения способствуют улучшению биологической активности и сохранению плодородия почвы на долгосрочной перспективе.

Проведенный анализ исследования почвенного дыхания, помогает выявить нам такие факторы, как напряженность окислительных процессов, протекающих прежде всего с участием микроорганизмов, и определяющих режим органического вещества почвы. Однако отсутствие стандартизированной единой методики изучения биологических свойств почв, делает весьма затруднительным сравнение данных, полученных разными исследователями, а также недостаточности имеющихся сведений о величине их показателей на различных почвах, при применении разнообразных

агротехнических приемов и проявлении различных деградационных процессов.

Изучены показатели биологической активности почвы по агроклиматическим зонам Ленинградской области, почв, длительно подвергавшихся антропогенному воздействию.

Рекомендации:

использование устойчивых методов земледелия, Один из способов снижения эмиссии углекислого газа из почвы – это, переход на устойчивые методы земледелия. Использование минимальной обработки почвы, ротации культур, а также внедрение агроэкологических практик помогает сохранить углерод в почве и снизить его выброс в атмосферу.

овышение содержания органического вещества в почве, путем добавления компоста, навоза или зеленых удобрений способствует увеличению углерода в почве и снижению эмиссии CO₂.

практика нулевой обработки почвы – это, метод при котором почва не обрабатывается плугом или другими инструментами. Это позволяет сохранить структуру почвы и уменьшить выброс углекислого газа за счет сохранения естественных процессов разложения органического материала.

ключать оценку биологической активности почв газохроматографическим методом в качестве биоиндикатора для оперативной диагностики интенсивности почвенных процессов и характера их изменений, что особенно важно для выявления функциональной роли почв в биосфере.

использовать методы определения потенциальной биологической активности для диагностики потенциального плодородия почв, степени удобренности, окультуренности, эродированности, а также загрязненности какими-либо химическими веществами (ТМ, нефтью, пестицидами и др.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ананьева Н. Д., Благодатская Е. В., Демкина Т. С. Оценка устойчивости микробных комплексов почв к природным и антропогенным воздействиям // Почвоведение. 2002. № 5. С. 580–587.
2. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды // - М.: Изд-во Недр, 1976. 247 с.
3. Большаков В.А., Белобров В.П., Шишов Л.Л. Словник. Термины, их краткое определение, справочные материалы по почвенной экологии, географии и классификации почв // - М.: Почвоведение. 2004. 138 с.
4. Борисочкина Т.И., Водяницкий Ю.Н. Загрязнение агроландшафтов России тяжелыми металлами: источники, масштабы, прогнозы // - М.: Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2007. - № 60. - С. 82-89.
5. Васин, В. Г. Растениеводство: учебное пособие / В. Г. Васин, Н. Н. Ельчанинова. – Самара: РИЦ СГСХА, 2009. 528 с.
6. Войно Л.И., Павликова Т.А. Устойчивость и изменение численности почвенных микроорганизмов // - М.: Изд-во МГУП, 2003. С. 160-162.
7. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Ферментативная индикация загрязненных почв тяжелыми металлами // Изд-во Агрехимия. 2006. - № 11. - С. 84-95.
8. Ганькин А.В., 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.
9. Голодяев Г.П. Биологическая активность горно-лесных почв южного Приморья // – Л.: Изд-во Наука, 1972. – 246 с.
10. Евдокимов И.В., Ларионова А.А., Экспериментальная оценка вклада дыхания корней растений в эмиссию углекислого газа из почвы // Почвоведение. 2010. 1479-1488 с.

11. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв // М.: МГУ, 2005. 445 с.
12. Зырин Н.Г., Горбатов В.С. и др. Система полевых и лабораторных исследований при контроле загрязнения почв тяжелыми металлами // - М.: 1980. 163 с.
13. Зырина Н.Г., и Садовниковой Л.К. Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах // - М.: 1975. 110 с.
14. Иващенко К.В. Биомасса и дыхательная активность почвенных микроорганизмов в экосистемах // Почвоведение. 2014. - № 9. - С. 1077-1088.
15. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 236 с.
16. Кавтарадзе Д.Н. Автомобильные дороги в экологических системах. // М.: 1999. 240 с.
17. Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов – на-Дону: Изд-во РГУ, 2003. 216 с.
18. Кашапов Р.Ш. О балансе органического углерода в природно-хозяйственной системе. // - М.: 2002. С. 39–42.
19. Кашулина Г.М., Чекушин В.А. Богатырев И.В. Физическая деградация и химическое загрязнение почв Северо-Запада Европы // - М.: 2007. С. 74-78.
20. Коваленко М.В. Биологические показатели и плодородие почвы // Актуальные вопросы агрономической науки в XXI веке. Самара, 2004. С.424-430.
21. Кирюшин, В.И. Агрономическое почвоведение. // - М.: Изд-во Колос. 2010. 687 с
22. Комаров А.А., Суханов П.А. О мониторинге плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ленинградской области // Известия СПбГАУ. 2010. - № 21. - С. 11-17.

23. Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. // - М.: Изд-во Наука, 2007. - 315 с.
24. Ладонин Д.В. Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения // Почвоведение. 2002. - № 6. - С. 682-692.
25. Лисецкий Ф.Н., Маркова Е.В. Оценка различий биологической активности почв по скорости трансформации растительного вещества // Успехи современного естествознания. 2014. - № 8. - С. 99-102.
26. Макаров Б.Н. Газовый режим почвы. // - М.: Агропромиздат, 1988. с.
27. Мокроносов А.Т., Кудеяров В.Н. Сток и эмиссия углерода на территории России. Государственная научно-техническая программа России // Глобальные изменения природной среды и климата. Избранные научные труды / Под общ. ред. акад. Н.П. Лаверова. – М.: 1997. С. 292–306.
28. Нетрусова. А.И. Экология микроорганизмов // - М.: Изд-во Юрайт, 2015. 268 с.
29. Пуртова Л.Н., Костенков Н.М., Семаль В.А., Комачкова И.В. Эмиссия углекислого газа из почв природных и антропогенных ландшафтов // Фундаментальные исследования. 2013. - № 3. - С. 585-589.
30. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. // - М.: Изд-во ГЕОС, 2015. 233 с.
31. Семенов А.М. Семенов В.М., Ван Бругген А.Х.К. Диагностика здоровья и качества почвы // Изд-во Агрохимия. 2011. - № 12. - С. 4-20.
32. Стольников Е. В., Ананьева Н. Д., Чернова О. В. Микробная биомасса, ее активность и структура в почвах Европейской территории России // Изд-во Почвоведение. 2011. - № 4. - С. 479–494.
33. Суханов П.А., Немчинова Н.И., Комаров А.А. Оценка состояния окружающей среды в зоне интенсивного земледелия // СПбГАУ. 2011. - № 24. - С. 91-98.
34. ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторинг.

35. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, 2020.
36. Ходжаева А.К. Диагностика биологических свойств почвы при органической и традиционной системе земледелия // Изд-во Агрохимия. 2010. - № 5. - С. 3-12.
37. Шевцова Л.К., Романенков В.А., Канзываа С.О. Структура баланса углерода и биоэнергетическая оценка его компонентов в агроценозах длительных полевых опытов // Изд-во Агрохимия. 2015. - № 12. - С. 67–75.
38. Яковлев А.С. Плеханова И.О., Кудряшов С.В. // Современные проблемы загрязнения почв. II Межд. научн. конф. Т. 1. М.: 2007. С. 286-290 с.
39. Baldocchi D.D., Hincks B.B., Meyers T.P. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases // Ecology. 1988. V. 69. Issue 5. P. 1331-1340.
40. Balogh J., Foti S., Pinter K., Burri S., Eugster W., Papp M., Nagy Z. Soil CO₂ efflux and production rates // Plant and Soil. 2015. V. 388. P. 157-173.
41. Bond-Lamberty B., Bailey V.L., Vargas R. Globally rising soil heterotrophic respiration over recent decades // Nature. 2018. V. 560. P. 80-83.
42. Granli, T.AndBockman, O.C. Nitrous oxide from agricultural. Norwegian Journal of Agricultural Sciences Supplement. 1994. pp. 1-128.
43. Leskovar D., Othman Y.A. Organic and conventional farming differentially influenced soil respiration. // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2018. V. 18. Issue 3. P. 865-880.
44. Minocha R, Minocha S.C. Effects of soil pH on plant respiration / Plant respiration: from cell to ecosystem. Advances in photosynthesis and respiration. Lambers H. The Netherlands, Springer, 2005. P. 159-176.
45. Nevison C.D., Esser G., Holland E.A. A global model of changing N₂O emissions from natural and perturb bed soil. // Climate Change, 1996. vol. 32, pp. 327-378.

46. Schmittner A, Oschlies A, Matthews HD, Galbraith ED Future changes in climate, and biogeochemical cycling. 2008. pp. 121-135.
47. Lobell DB, et al. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. 2008. pp. 607–610.
48. Humfeld H. A method for measuring carbon dioxide evolution from soil // *Soil Science*. 1930. V. 30. No. 1. P. 1-11.
49. Qian Y., Wang W. Seasonality, rather than nutrient addition or vegetation types, influenced short-term temperature sensitivity of soil organic carbon decomposition // *PLoS one*. 2016.
50. Walker T.S., Bais H.P., Grotewold E., Vivanco J.M. Root exudation and rhizosphere biology // *Plant Physiology*. 2003. V. 132. P. 44-51.
51. Raich J.W., Potter C.S. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils // *Global Biogeochemical Cycles*. 1995. V. 9. P. 23-36.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1. Данные результатов эксперимента по биологической активности и эмиссии CO₂.

Вариант	N	Смик, мг кг-1	БД, мг С-CO ₂ кг/ час	qCO ₂ 10х-3	Сорг г/кг	Смик/Сорг %	N ₂ O-N mg/1kg/h at BR	
Мельниково Приозерский р-н	0-10	1	1016,94	4,75	4,67	28,66	3,55	1,36
		2	1004,13	4,85	4,83	27,91	3,60	1,40
		3	991,15	4,92	4,96	27,00	3,67	1,40
	Ср. зн.		1004,08	4,84	4,82	27,86	3,61	1,39
		Ст.откл.	12,89	0,08	0,14	0,83	0,06	0,03
	(10-20)	4	744,14	2,03	2,73	9,32	2,79	1,23
		5	719,88	1,95	2,71	9,17	2,92	1,20
		6	748,71	1,77	2,60	8,98	2,85	1,23
	Ср. зн.		737,58	1,91	2,68	9,16	2,85	1,22
		Ст.откл.	15,50	0,14	0,07	0,17	0,07	0,02
	20-30	7	675,17	2,00	2,96	26,80	2,52	1,10
		8	651,04	2,14	3,29	27,20	2,39	1,15
		9	619,02	2,06	3,33	28,62	2,16	1,15
	Ср. зн.		648,41	2,07	3,20	27,54	2,36	1,13
		Ст.откл.	28,17	0,07	0,20	0,96	0,18	0,03
Приневское Всеволожский р-н	0-10	10	907,45	2,62	2,88	33,78	2,69	1,22
		11	914,67	2,83	2,86	33,65	2,72	1,20
		12	901,53	2,78	3,08	33,42	2,70	1,28
	Ср. зн.		907,88	2,74	2,94	33,62	2,70	1,23
		Ст.откл.	6,58	0,11	0,12	0,18	0,02	0,04
	окт.20	13	847,68	2,77	3,09	30,80	2,75	1,53
		14	835,85	2,65	3,18	31,42	2,66	1,44
		15	838,87	2,85	3,16	30,80	2,72	1,47
	Ср. зн.		840,80	2,76	3,14	31,01	2,71	1,48
		Ст.откл.	6,14	0,10	0,05	0,36	0,05	0,05
	20-30	16	723,90	2,57	3,55	28,81	2,51	1,11
		17	739,56	2,61	3,53	29,17	2,54	1,14
		18	734,48	2,47	3,36	28,20	2,60	1,13
	Ср. зн.		732,65	2,55	3,48	28,73	2,55	1,13
		Ст.откл.	7,99	0,07	0,10	0,49	0,05	0,01

Вариант	N	Смик, мг кг-1	БД, мг С- СО2 кг/ час	qCO2 10х-3	Сорг г/кг	Смик/Сорг %	N2O-N mg/1kg/h at BR	
Агротехника Тосненский р-н	0-10	19	1056,92	2,65	2,50	34,18	3,09	1,64
		20	1050,85	2,50	2,38	34,18	3,07	1,59
		21	1070,56	2,60	2,43	33,58	3,19	1,59
	Ср. зн.		1059,45	2,58	2,44	33,98	3,12	1,61
	Ст.откл.		10,09	0,08	0,06	0,35	0,06	0,03
	(10-20)	22	848,20	1,93	2,29	34,16	2,48	1,43
		23	820,49	1,96	2,39	33,50	2,45	1,38
		24	857,19	1,89	2,20	33,50	2,56	1,42
	Ср. зн.		841,96	1,93	2,30	33,72	2,50	1,41
	Ст.откл.		19,13	0,04	0,09	0,38	0,06	0,03
	20-30	25	778,84	1,80	2,31	34,13	2,28	1,28
		26	773,00	1,82	2,35	33,64	2,30	1,29
		27	810,88	1,75	2,22	33,73	2,40	1,30
	Ср. зн.		787,57	1,79	2,29	33,83	2,33	1,29
Ст.откл.		20,40	0,03	0,06	0,26	0,07	0,01	
Меньково Гатчинский р-н	0-10	28	941,77	2,79	2,19	35,98	2,62	1,64
		29	919,96	2,01	2,19	35,70	2,58	1,58
		30	933,86	2,06	2,21	35,35	2,64	1,61
	Ср. зн.		931,87	2,29	2,19	35,67	2,61	1,61
	Ст.откл.		11,04	0,44	0,01	0,32	0,03	0,03
	(10-20)	31	985,41	1,89	1,92	34,11	2,89	1,24
		32	1064,74	1,76	1,79	34,84	3,06	1,24
		33	1020,45	1,83	1,83	33,05	3,09	1,22
	Ср. зн.		1023,53	1,83	1,85	34,00	3,01	1,23
	Ст.откл.		39,76	0,07	0,07	0,90	0,11	0,01
	20-30	34	793,66	1,68	2,12	33,83	2,35	1,09
		35	779,16	1,75	2,24	33,96	2,29	1,11
		36	776,23	1,82	2,23	33,22	2,34	1,09
	Ср. зн.		783,02	1,75	2,20	33,67	2,33	1,10
Ст.откл.		9,33	0,07	0,07	0,40	0,03	0,01	