

*На правах рукописи*



**Гичан Дмитрий Владимирович**

**ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПОТОКИ И ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В  
ПОЧВАХ ПОСТАГРОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ВОЛОГОДСКОЙ  
ОБЛАСТИ**

**Специальность 4.1.6 – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры,  
агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук**

Москва — 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А.С. Исаева Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН)»

**Научный руководитель:** **Тебенькова Дарья Николаевна**, кандидат биологических наук, заведующий Лабораторией климаторегулирующих функций лесов Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А.С. Исаева Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН) (г. Москва)

**Официальные оппоненты:** **Курганова Ирина Николаевна**, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения им. В.А. Ковды Российской академии наук - обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки "Федеральный исследовательский центр "Пушкинский научный центр биологических исследований Российской академии наук" (ИФХиБПП РАН), (г. Пушкино)

**Гавриков Владимир Леонидович**, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-учебной лаборатории экологического мониторинга Института экологии и географии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ), (г. Красноярск)

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН) (г. Москва)

Защита состоится «06» октября 2026 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.228.05 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН) по адресу: 660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50/28, ИЛ СО РАН, конференц-зал. Тел./факс (391) 243- 36-86; e-mail: institute\_forest@ksc.krasn.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ИЛ СО РАН и на сайте организации <http://forest.akadem.ru>

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

доктор биологических наук, доцент



Гродницкая Ирина Дмитриевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы.**

Адаптация к климатическим изменениям – один из наиболее актуальных вызовов современности, поиск решений которого оказывает значительное влияние на политические и управленческие решения во всем мире (Стратегия..., 2021; African ..., 2022; The Working Guidance ..., 2021). Перед Россией стоит амбициозная задача – достижение баланса между антропогенными выбросами парниковых газов и их поглощением не позднее 2060 года, при этом объём поглощения парниковых газов экосистемами лесными экосистемами должен быть не менее 1200 млн т CO<sub>2</sub> экв. (327,9 млн т С) (Стратегия..., 2021). Одним из путей к достижению углеродной нейтральности может стать вовлечение земель, выбывших из сельскохозяйственного использования в природно-климатическую деятельность.

В России площади постагрогенных экосистем, покрытых древесно-кустарниковой растительностью, оценивается от 30 до 100 млн га (Люри, 2010; Барталев, 2023; Гичан, Тебенькова, 2023; Ярошенко, 2025). По экспертным оценкам, сохранение лесов и выращивание новых быстрорастущих насаждений на таких территориях позволит в перспективе обеспечить дополнительный прирост до 300 млн м<sup>3</sup> хозяйственно ценной древесины в год и получить дополнительный объём поглощения парниковых газов в размере около 400 млн т CO<sub>2</sub> в год (Резолюция ..., 2021; Ярошенко, 2025; Резолюция ..., 2026).

Для реализации и верификации климатических проектов важно проводить достоверную оценку всех пулов углерода (Michaelowa et al., 2019). Комплексные оценки запасов углерода на постагрогенных землях России малочисленны (Владыченский и др., 2013; Карелин и др., 2017; Наквасина, Шумилова, 2021; Курганова и др., 2022) и не охватывают всего разнообразия почвенных условий таких территорий. В частности, отсутствуют сравнительные оценки запасов углерода между луговыми и мелколиственными постагрогенными биогеоценозами (далее – БГЦ) с дерново-подзолистыми остаточно-карбонатными почвами.

Для вовлечения постагрогенных земель в природно-климатическую деятельность необходимо понимание механизмов влияния растительности на экосистемные процессы, которые определяют формирование запасов углерода в составе почвенного органического вещества (далее – ПОУ) на постагрогенных землях России. Для таких экосистем слабо изучены потоки поступления углерода с растительным опадом, отсутствуют данные о поступлении и выносе углерода в составе растворенных органических соединений (далее – растворенный органический углерод, РОУ).

**Цель работы** – оценить влияние лесной и луговой растительности на потоки и запасы углерода в дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почвах постагрогенных биогеоценозов Вологодской области.

### **Задачи исследования:**

1. Дать сравнительную оценку запасов углерода в дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почвах луговых и мелколиственных постагрогенных биогеоценозов.

2. Дать сравнительную оценку потоков углерода в постагрогенных луговых и мелколиственных биогеоценозах, включая: (1) поступление углерода в почву с растительным опадом и атмосферными выпадениями; (2) вынос углерода с почвенными водами и эмиссией CO<sub>2</sub> из почв.

3. Выявить информативные показатели потоков, определяющие различия почвенных пулов углерода постагрогенных луговых и мелколиственных биогеоценозов.

4. Оценить вклад растительности в варьирование запасов углерода в постагрогенных дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почвах Вологодской области.

### **Научная новизна.**

1. Показано, что растительные сообщества влияют на пулы углерода в дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почвах постагрогенных экосистем, определяя потоки углерода:

- поступление растительного опада (включая качественные и количественные характеристики),
- поступление РОУ с атмосферными выпадениями в вегетационный период (май, июль),
- вынос РОУ с почвенными водами в сентябре,
- эмиссию CO<sub>2</sub> в осенний период (сентябрь, октябрь).

2. Установлено, что влияние растительности на вариацию запасов углерода подстилки в луговых и мелколиственных постагрогенных экосистемах Вологодской области обусловлено показателями процессов разложения органического вещества, включая концентрацию N в растительном опаде (31 % вариации) и почвенное дыхание в октябре (28 %), а также размерами поступления РОУ с атмосферными выпадениями в мае (16 %).

3. Показано, что значительный вклад в вариацию запасов углерода старопахотной толщи постагрогенных экосистем вносят процессы поступления органического вещества, включая размеры поступления РОУ с атмосферными выпадениями в мае (15 %) и поступления углерода с растительным опадом (13 %). При этом поток углерода с дыханием почвы в октябре обуславливает 13 % вариации.

4. Показано, что мелколиственные БГЦ характеризуются более эффективной фиксацией РОУ в горизонте подстилки и старопахотной минеральной толще почвы, по сравнению с луговыми. В березняках поступление РОУ с атмосферными выпадениями преобладает над его выносом с почвенными водами в среднем на 22 кг С/га/год, в то время как из луговых экосистем с вертикальным стоком РОУ в иллювиальный горизонт почвы выносятся 17 кг С/га/год.

## **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Диссертация направлена на решение задач, относящихся к одному из важнейших приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации: «Объективная оценка выбросов и поглощения климатически активных веществ, снижение их негативного воздействия на окружающую среду и климат, повышение возможности качественной адаптации экосистем, населения и отраслей экономики к климатическим изменениям». Натурные оценки могут быть использованы для обновления конверсионных коэффициентов в Национальном кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, развития моделей динамики запасов углерода и поглощения выбросов парниковых газов на постагрогенных землях южной тайги.

Полученные оценки могут использоваться для прогноза динамики экосистемных функций и услуг лесов в условиях комбинированного влияния природных и антропогенных факторов. Полученные результаты подтверждают целесообразность включения неиспользуемых сельскохозяйственных территорий в учет поглощения парниковых газов в Национальном кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов.

Выявленные информативные показатели влияния растительности на пул почвенного углерода могут быть использованы для принятия эффективных управленческих решений в области лесного и сельского хозяйства, в том числе с целью реализации климатических проектов.

### **Защищаемые положения:**

1. Растительность определяет динамику потоков углерода в постагрогенных луговых и мелколиственных экосистемах: поступление с растительным опадом (включая качественные и количественные характеристики опада), размеры поступления и выноса РОУ и эмиссию парниковых газов из почв.

2. Растительность определяет вариацию запасов углерода подстилки и старопахотной толщи 0 – 30 см дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почв постагрогенных луговых и мелколиственных БГЦ за счёт формирования и регулирования потоков углерода.

3. Информативными показателями потоков углерода, определяемых типом растительных сообществ, которые влияют на пулы углерода в дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почвах постагрогенных экосистем, являются размеры поступления и качество (концентрация N, отношение C/N) растительного опада, размеры поступления РОУ с атмосферными выпадениями в вегетационный период, размеры выноса РОУ с почвенными водами в иллювиальный горизонт и эмиссией CO<sub>2</sub> из почв осенью.

4. Наибольший вклад в вариацию запасов углерода в подстилке и старопахотной толще вносят качественные и количественные характеристики опада, поступление РОУ в мае, почвенное дыхание в октябре.

### **Степень достоверности и апробация результатов исследования.**

Достоверность результатов исследования обеспечивается значительным объемом экспериментального материала, собранного в течение трех лет мониторинга на 19 пробных площадях, исследования на которых проводились в соответствии с общепринятыми методами лесной таксации, почвоведения, геоботаники. Анализ данных учитывал межгодовую, межсезонную и внутривременную вариабельность исследуемых показателей. Лабораторные исследования выполнены в Экоаналитической лаборатории ИБ Коми НЦ УрО РАН, аккредитованной в системе Росаккредитации. Обоснованность полученных результатов подтверждена соответствующими статистическими критериями.

Основные результаты работы представлены и обсуждены на семинарах ЦЭПЛ РАН (Москва, 2022 – 2026), X Всероссийской научной конференции (с международным участием), посвященной памяти Розалии Михайловны Морозовой (1928 – 2017) «Актуальные вопросы теории и практики лесного почвоведения» (Петрозаводск, 2023), XXXI Всероссийской молодежной научной конференции (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2024), XXXI Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Продуктивность лесов в условиях меняющегося климата» (Петрозаводск, 2024), IX съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Казань, 2024), Отчетной конференции ЦЭПЛ РАН «Углерод в наземных экосистемах: мониторинг» (Москва, 2024, 2025), X Всероссийской научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука» (Санкт-Петербург, 2025), XI Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной памяти Н. В. Орловского (1899—1986 г.г.) «Экологические функции лесных почв и биоразнообразии лесов» (Красноярск, 2025).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 3 из перечня ВАК (2 статьи в журналах 1 уровня «Белого списка», 1 статья в журнале 3 уровня «Белого списка», 8 тезисов докладов на всероссийских (с международным участием) и национальных научных конференциях), зарегистрирована 1 база данных.

**Личный вклад автора.** Автор принимал непосредственное участие в полевых исследованиях пулов и потоков углерода. Им лично проведена статистическая обработка полученных данных и интерпретация результатов.

**Благодарности:** Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю Тебеньковой Д.Н. за руководство исследованиями и содействие на всех этапах работы, а также коллективу ЦЭПЛ РАН за помощь научного, технического, организационного характера. Отдельная благодарность АО Апатит за советы, консультации и содействие на всех этапах работы.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения; семи глав, заключения, списка литературы. Общий объем диссертации 148 страниц, включая 12 таблиц, 28 рисунков. Список использованной литературы содержит 297 наименований, в том числе 151 на иностранном языке.

## ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Значительное количество отечественных и зарубежных исследований постагрогенных экосистем посвящено оценке динамики пулов углерода в процессе зарастания земель древесно-кустарниковой растительностью (Данилов и др., 2018; Мошкина и др., 2019; Леднёв, Дмитриев, 2021; Дмитриев, Леднёв, 2023; Tikhonova et al., 2025). Часть из них посвящена оценке пула почвенного углерода на территории южной тайги европейской части России (Люри, 2010; Чалая, 2012; Телеснина и др., 2021; Курганова и др., 2022). Изучено изменение запаса углерода для подзолистых и дерново-подзолистых почв (Телеснина и др., 2017), для агроземов и подзолов (Люри и др., 2010) при постагрогенной сукцессии. В ходе этих исследований показано, что запасы углерода изменяются по направлению к среднему уровню углерода зонального типа почв, при этом они могут как увеличиваться (Чалая, 2012; Курганова и др., 2021), так и уменьшаться (Люри 2010; Романовская, 2012) в зависимости от типа растительных сообществ, окультуренности и нативных свойств почв. Для экосистем южной тайги с дерново-подзолистыми остаточными карбонатными почвами отсутствуют оценки запасов почвенного углерода, однако имеются единичные оценки для подзоны средней тайги (Наквасина, Шумилова, 2021).

Смена типа растительных сообществ при зарастании постагрогенных земель приводит к кардинальным изменениям в функционировании экосистем, что оказывает влияние на потоки углерода и, как следствие, на запасы углерода почв (Курганова и др., 2021, 2023). Дыхание почвы является одним из основных потоков углерода между наземной экосистемой и атмосферой (Raich, Potter, 1995; Bond-Lamberty, Thomson, 2010; Xu, Shang, 2016), характеризую процессы разложения органического вещества почвы (Кудеяров и др., 2007; Курганова, 2010). В постагрогенных экосистемах России активно изучались процессы почвенного дыхания (Романовская, 2008; Курганова, 2010; Чалая, 2012; Карелин, 2017; Суховеева и др., 2023), в частности, в южной тайге (Курганова, 2010; Чалая, 2012). Однако такие оценки на дерново-подзолистых остаточных карбонатных почвах прежде не проводились.

Потоки РОУ играют важную роль в углеродном балансе наземных экосистем, достигая 17 % чистой экосистемной продукции (Gielen et al., 2011). Растительность оказывает значимое влияние как на объемы РОУ, так и на их химический состав (Лукина, Никонов, 1996, 1998). Однако для постагрогенных экосистем России до сих пор не были оценены размеры поступления углерода с атмосферными выпадениями и выноса с почвенными водами.

Качественные и количественные характеристики опада, зависящие от видовой специфичности растений (Лукина и др., 2021; Иванова, 2022; Осипов, 2024), продуктивности растительных сообществ (Novak et al., 2014; Собачкин и др., 2017) и видовой разнообразия (Scherer - Lorenzen, 2005), определяют формирование пула углерода подстилки. Показано, что процессы разложения подстилки, обусловленные качеством опада, играют важную роль в перераспределении органического вещества в минеральном профиле почвы (Кузнецова и др., 2021; Лукина и др., 2021). Для постагрогенных территорий

имеются только единичные оценки поступления углерода с растительным опадом (Телеснина и др., 2019).

Для лесных экосистем на непостагrogenных землях России накоплено значительное количество данных о процессах поступления углерода с опадом (Ведрова, 2011; Пристова и др., 2011; Болдескул и др., 2015; Бобкова, Кузнецов, 2022), потоках РОУ (Лукина, Никонов, 1998; Аржанова, Елпатьевский, 2005; Шильцова, Ласточкина, 2006; Султанбаева и др., 2015; Кожевникова и др., 2017; Кузнецова и др., 2022), дыхании почв (Кудеяров, 1995; Замолотчиков, 2003; Курганова, 2010; Осипов, 2023). Однако в постагrogenных экосистемах эти процессы отличаются по сравнению с лесами на непостагrogenных землях ввиду более высокой продуктивности древостоев, обусловленной относительно высоким плодородием почв (Zomer et al., 2016).

Анализ современных исследований, посвященных пулам и потокам углерода на постагrogenных землях, показал, что на таких объектах в России не проводились комплексные оценки показателей экосистемных процессов, отражающих влияние растительности на формирование запасов ПОУ, что связано с недостатком данных о формировании растительного опада и отсутствием данных о поступлении и выносе РОУ.

## ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Характеристика объектов исследования

Исследования проводили в БГЦ трёх типов: луг разнотравно-злаковый (далее луг), березняк злаковый и березняк ольхово-ивовый высокотравный (далее березняк высокотравный) (таблица 1). БГЦ расположены на бывшей пашне АО «Нелазское» и совхоза «Абакановский» соответственно. По данным Департамента сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Вологодской области сельскохозяйственные угодья не используются более 20 и 30 лет соответственно.

Таблица 1 – Таксационная и геоботаническая характеристика БГЦ

Показатель	Биогеоценоз		
	Луг	Березняк злаковый	Березняк высокотравный
Состав древостоя	–	9Б1ОЛС+ИВД ед. ОС, Е	6Б2ИВД2ОЛС ед. ОС, Е
Возраст преобладающей древесной породы, лет.	–	10–15	20–25
Запас, м <sup>3</sup> /га	–	103	186
Густота, тыс. шт./га		1,7	1,2
Состав подроста		8Б2ИВ+ОЛС ед.ОС, Е	5ИВ4Б1ОЛС ед. ОС, Е
Подлесок		<i>Acer platanoides</i> , <i>Ulmus glabra</i> , <i>Sorbus aucuparia</i>	<i>Viburnum opulus</i> , <i>Frangula alnus</i> , <i>Grossularia reclinata</i> ,
Доминанты напочвенного покрова	<i>Dactylis glomerata</i> , <i>Agrostis capillaris</i> , и др.	<i>Dactylis glomerata</i> , <i>Festuca pratensis</i> , и др.	<i>Aconitum septentrionale</i> , <i>Athyrium filix-femina</i> , <i>Filipendula ulmaria</i> , и др.

Тип почв исследуемых БГЦ – дерново-подзолистая постагрогенная остаточно-карбонатная супесчаная на карбонатной морене (Шишов и др., 2004), Albic Enalcaric Retisols (WRB..., 2022). Профиль почв O – AYra – AYEL – ELf – BELf – BTf,ca – Csa,f. Горизонт подстилки в луговом типе БГЦ представлен луговым очесом, в мелколиственных – подгоризонтом LF. Почвы БГЦ всех типов характеризуются легким гранулометрическим составом: супесчаные крупнопылевато-пылеватые.

### **Методология и методы исследования**

В березняке злаковом заложено 10 пробных площадей (ПП), в березняке высокотравном – 5 ПП, на лугу – 4 ПП, каждая площадью 0,96 га. ПП закладывались в виде прямоугольника со сторонами 80 × 120 м. Для учета внутрипространственной вариабельности в пределах каждой ПП организованы 6 учётных площадок размером 20 × 20 м, где проведены таксационные и геоботанические работы, а также отборы почвенных образцов.

*Пулы углерода.* На каждой ПП определяли запасы углерода фитомассы с подразделением на древесной, подрост, подлесок и живой напочвенный покров, мортмассы с подразделением на сухостой, валеж и пни, а также запасы углерода в подстилке и минеральных горизонтах почвы. Таксационные обследования проводили методом сплошного подеревного перечета по общепринятым методикам таксации лесосек (Загребев и др., 1992; Об утверждении..., 2022). На основании данных таксации рассчитывали запасы углерода древесной, подрост, подлеска и сухостойных деревьев с использованием соответствующих конверсионных коэффициентов (Приказ Минприроды..., 2022). Геоботанические описания проводились на каждой ПП в шестикратной повторности, с составлением полного флористического списка. Названия видов растений даны по (Черепанов, 1995). Оценку запасов углерода в пуле напочвенного покрова проводили методом укусов в пределах каждой ПП в трёхкратной повторности, в период максимального накопления фитомассы (август) (Базилевич и др., 1978, Ритм углерода..., 2025). Корни отбирали рамкой 25 × 25 см в березняках на глубину 15 см, на лугу – рамкой 10 × 10 см на глубину 0 – 15 и 15 – 30 см. Оценки запаса углерода в валеже и пнях проводили в пределах каждой ПП на площадках 17,4 × 17,4 м, по методикам (Шорохова, Шорохов, 1999; Shorohova, Kapitsa, 2015; Бобкова и др., 2015; Шорохова, 2020), для пересчёта абсолютно сухой массы на углерод использовали коэффициент 0,5. Оценку запаса углерода в подстилке проводили на каждой ПП в шестикратной повторности с использованием рамки 25 × 25 см. Для оценки пула углерода в минеральных горизонтах почвы на каждой пробной площади отбирали образцы из опорного почвенного разреза глубиной до 100 см. и проводили пятикратный отбор образцов из минеральных горизонтов с использованием почвенного бура. Отбор образцов осуществляли по генетическим горизонтам: O, AYra, AYEL, ELf, BTf,ca. Запасы углерода пересчитывали на слои 0 – 5, 5 – 15, 15 – 30, 30 – 50 и 50 – 100 см для сравнения между БГЦ. Расчёт запаса ПОУ проводили по стандартной формуле (Приказ Минприроды..., 2022).

Потоки углерода. Проведены оценки потоков углерода, включая поступление углерода с атмосферными выпадениями и вынос с почвенными водами (2023 – 2025 гг.), поступление углерода с атмосферными выпадениями и вынос с почвенными водами с глубины 30 см (2023 – 2025 гг.) и вынос с почвенными водами с глубины 10 см (2025 г.), поступление углерода с растительным опадом (2024 – 2025 гг.), эмиссию CO<sub>2</sub> из почвы (2023 – 2025 гг.). Для оценки поступления РОУ с атмосферными выпадениями и его выноса с почвенными водами были установлены гравитационные лизиметры, конструкции Джона Дерома (Clarke et al., 2020) и осадкоприемники (Ритм углерода..., 2025). Гравитационные лизиметры и осадкоприемники установлены на каждой ПП в каждом типе БГЦ, для лесных экосистем – в подкروновых элементах мозаики. Почвенные лизиметры заложены на глубину 10 и 30 см в горизонте АУра и под горизонтом АУЕЛ соответственно. Для отбора образцов древесного опада на каждой ПП установлены опадоуловители площадью сбора 0,9 м<sup>2</sup> (Иванова, 2021). Оценки поступления углерода с опадом напочвенного покрова рассчитывали на основании данных укосов, так как в БГЦ всех типов в напочвенный покров образован однолетними растениями и укосы проводили в период максимального накопления фитомассы. Мониторинг эмиссии CO<sub>2</sub> из почв осуществляли в вегетационный период методом закрытых камер-накопителей с использованием модифицированных инфракрасных газоанализаторов AZ (Panikov, Gorbenko, 1992; Kurganova et al., 2003; Лопес де Гереню и др., 2005). На каждой ПП было установлено по 6 камер для учета пространственной вариабельности. Из камер удаляли надземные зеленые части растений.

Химический и физический анализ образцов. Содержание углерода и азота определяли методом газовой хроматографии на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O) ("CE Instruments", Италия), в соответствии с методикой измерений № 88-17641-004-2016 (ФР.1.31.2016.23502). Определение водородного показателя (рН) водной вытяжки проводили по методике № 88-17641-004-2018 (ФР.1.31.2018.31639), гранулометрического состава почв – пипеточным методом по ГОСТ 12536-2014, валового содержания металлов в почве – атомно-эмиссионным и атомно-абсорбционным методом (атомно-абсорбционные спектрофотометры AA -6800 и AA-7000 (Shimadzu, Япония)), содержания углерода карбонатов-маномитрическим методом с использованием кальциметра (Cools et al., 2016). Содержание Ca, K, Mg, Na, Fe в образцах почвы определяли при обработке образцов 1М CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (Halonen, 1983; Methods..., 1989). В образцах атмосферных выпадений и почвенных вод концентрации общего растворенного углерода и растворенного углерода в составе неорганических соединений определяли методом термокаталитического окисления с бездисперсионной ИК-регистрацией с помощью анализатора TOC-VCPN (Shimadzu, Япония). Концентрацию РОУ определяли, как разницу между данными показателями.

Статистический анализ. Статистический анализ данных проводили с использованием программной среды R (4.3.2) (R Core Team, 2024). Для проверки значимости различий среднего использован тест ANOVA ( $p \leq 0,05$ ) и

непараметрический тест Краскела-Уоллиса с попарным сравнением по тесту Данна. Для проведения корреляционного анализа использовался коэффициент корреляции Пирсона. Оценку вклада информативных показателей в вариацию запасов углерода в подстилке и минеральной толще почв проводили методом иерархического разложения (Chevan and Sutherland, 1991). Анализ выполнен с помощью пакета hier.part (Walsh et al., 2004).

### ГЛАВА 3 СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПУЛОВ УГЛЕРОДА

Экосистемные запасы углерода в березняках в 1,7 раз выше по сравнению с лугом (таблица 2). Основными пулами углерода в березняках являются почва и фитомасса, доля которых составляет 44 % и 55 % соответственно. На лугу 94 % углерода находится в пуле почвы. Изменения типа растительного сообщества с лугового на мелколиственные сопровождаются 12-кратным увеличением запасов углерода фитомассы, при этом запас углерода в метровом слое минеральной толщи почв не различается между БГЦ. Смена типа биогеоценоза с лугового на мелколиственные приводит к снижению запасов углерода напочвенного покрова на 73 %. Пул надземной фитомассы напочвенного покрова на лугу составляет 1,8 т С/га, что в 3,8 раз больше, чем в мелколиственных БГЦ, запасы углерода в подземной фитомассе напочвенного покрова (2,2 т С/га) в 12,5 раз больше (Gichan et al., 2026).

Таблица 2 – Запасы углерода в основных пулах (т С/га, в числителе) и доля от общего запаса углерода в биогеоценозе (% в знаменателе).

Тип БГЦ	Пул углерода					
	фитомасса		подстилка	минеральные слои почвы (0-100 см)	мортмасса	всего
	надземная	подземная				
Луг	$\frac{1,8 \pm 0,1}{1,9}$	$\frac{3,9 \pm 1,1}{4,2}$	$\frac{2,1 \pm 0,07}{2,2}$	$\frac{85,8 \pm 7,3}{91,7}$	-	$\frac{93,6 \pm 13,4}{100}$
Березняк злаковый	$\frac{38,3 \pm 5,6}{28,5}$	$\frac{13,0 \pm 1,5}{9,7}$	$\frac{3,6 \pm 0,06}{2,7}$	$\frac{86,4 \pm 4,2}{58,2}$	$\frac{1,3 \pm 0,2}{1,0}$	$\frac{134,4 \pm 10,1}{100}$
Березняк высокотравный	$\frac{70,6 \pm 4,1}{38,8}$	$\frac{17,1 \pm 1,0}{9,4}$	$\frac{2,3 \pm 0,05}{1,3}$	$\frac{95,9 \pm 8,5}{49,2}$	$\frac{2,5 \pm 0,6}{1,4}$	$\frac{182,0 \pm 10,4}{100}$

Примечание:  $\pm$  – стандартная ошибка среднего. Подземная фитомасса напочвенного покрова приведена для мощности 0 – 15 см. Серая заливка ячеек – различия значимы при  $p \leq 0,05$  при сравнении между каждым из исследуемых БГЦ.

Показано, что тип растительного сообщества в постагрогенных экосистемах обуславливает различия в запасах углерода подстилки и старопахотной толщи (0 – 30 см) дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почв. Запасы углерода подстилки в луговом БГЦ на 30 % меньше, чем в лесных БГЦ (рисунок 1). Запасы углерода подстилки березняка злакового в 1,5 раза выше по сравнению с березняком высокотравным, в почвенном слое 0 – 5 см наблюдается обратная закономерность. В минеральном слое почв до 30 см запасы углерода в луговом БГЦ на 12 – 23 % больше, чем в лесных БГЦ: для слоя 0 – 5 см запасы ПОУ в луговом БГЦ на 12 % больше, чем в березняке

злаковым, в почвенном слое 5 – 30 см в луговом БГЦ запасы в среднем на 23 % больше, чем в мелколиственных БГЦ. Запасы ПОУ в минеральных слоях ниже 30 см не различаются между исследуемыми постагрогенными типами БГЦ (Gichan et al., 2026).

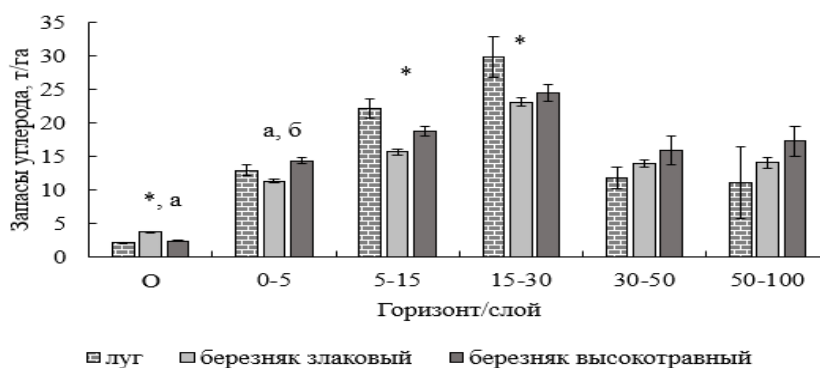


Рисунок 1 – Запасы почвенного углерода.

$p < 0,05$  при сравнении между: \* – лугом и мелколиственными БГЦ; а – мелколиственными БГЦ; б – лугом и березняком злаковым. Здесь и далее планки погрешности показывают стандартную ошибку среднего

## ГЛАВА 4 ПОСТУПЛЕНИЕ УГЛЕРОДА С РАСТИТЕЛЬНЫМ ОПАДОМ

С опадом на лугу поступает 1,8 т С/га/год, что в 1,6 раза выше, чем в мелколиственных БГЦ (рисунок 2а). Луговой БГЦ отличается опадом более высокого качества по сравнению с лесными БГЦ. В луговом БГЦ средневзвешенное концентрация азота в растительном опаде на 20% выше, а соотношение C/N в 1,3 раз уже, чем в березняках (рисунок 2б). В березняках доля древесно-кустарникового опада составляет 60 % от общего опада, из которых от 10 % до 25 % приходится на трудноразлагаемые фракции. Качественные и количественные характеристики опада влияют на аккумуляцию углерода в горизонте подстилки: ежегодное поступление углерода с опадом в мелколиственных биогеоценозах составляет 31 % – 50 % от запаса углерода подстилки, на лугу – 84 %.

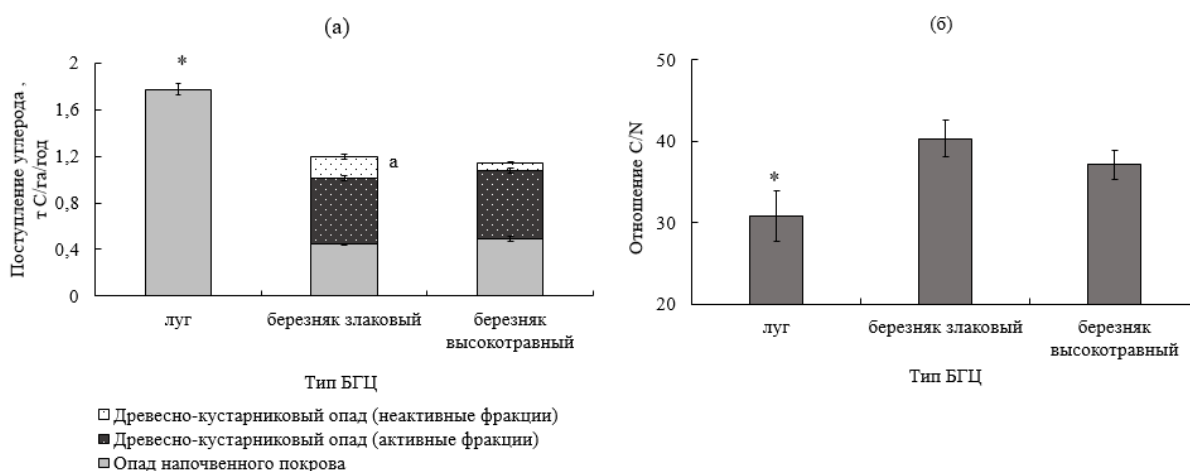


Рисунок 2 – Поступление углерода с опадом (а) и отношение C/N (б) в опаде.

$p < 0,05$  при сравнении между: а – неактивными фракциями древесно-кустарникового опада березняка злакового и березняка высокогорного, \* – лугом и березняками



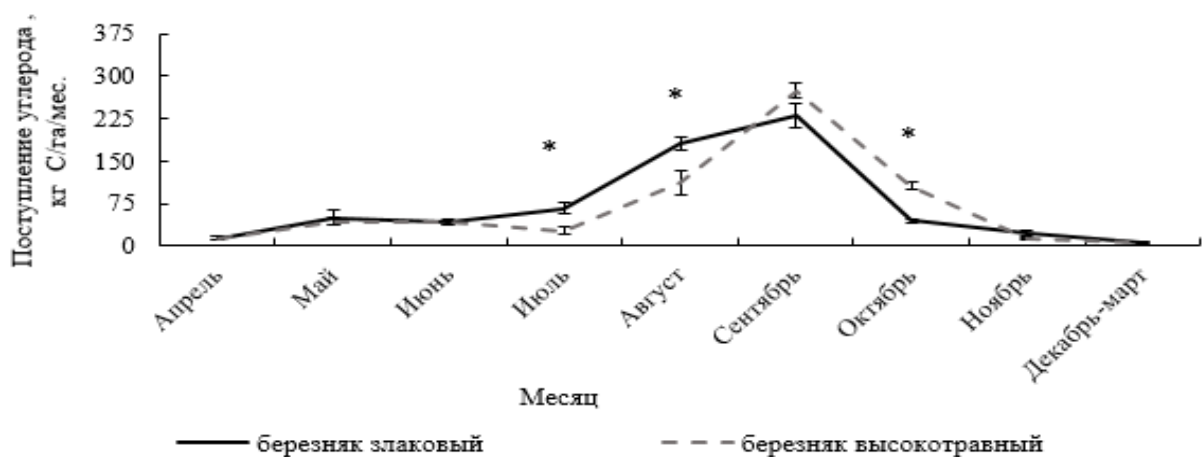


Рисунок 4 – Поступление углерода с древесно-кустарниковым опадом.

\* –  $p < 0,05$  при сравнении между березняками

## ГЛАВА 5 ЭМИССИЯ CO<sub>2</sub> ИЗ ПОЧВ

Эмиссия CO<sub>2</sub> из почвы за вегетационный период для постагрогенных луговых и мелколиственных БГЦ значительно не различается и варьирует в диапазоне от 8,4 до 9,2 т С/га. Однако месячная динамика почвенного дыхания с августа по октябрь различна между исследуемыми БГЦ. В августе поток CO<sub>2</sub> из почвы на лугу составляет 1,9 т С/га/мес., что в 1,2 раза больше по сравнению с березняком высокотравным (рисунок 5). В сентябре и октябре почвенное дыхание в луговом БГЦ больше, чем в березняках в 1,5 – 2,3 раза. В октябре эмиссия CO<sub>2</sub> для березняка высокотравного в 1,8 раз больше по сравнению с березняком злаковым. Выявленные различия в эмиссии CO<sub>2</sub> между БГЦ главным образом обусловлены влиянием растительности – качественными и количественными характеристиками опада, а также месяцем его поступления. Для лесных экосистем выявлена средняя положительная корреляция почвенного дыхания с температурой воздуха ( $r = 0,37$ ) и отрицательная – с поступлением неактивных фракций опада ( $r = -0,31$ ).

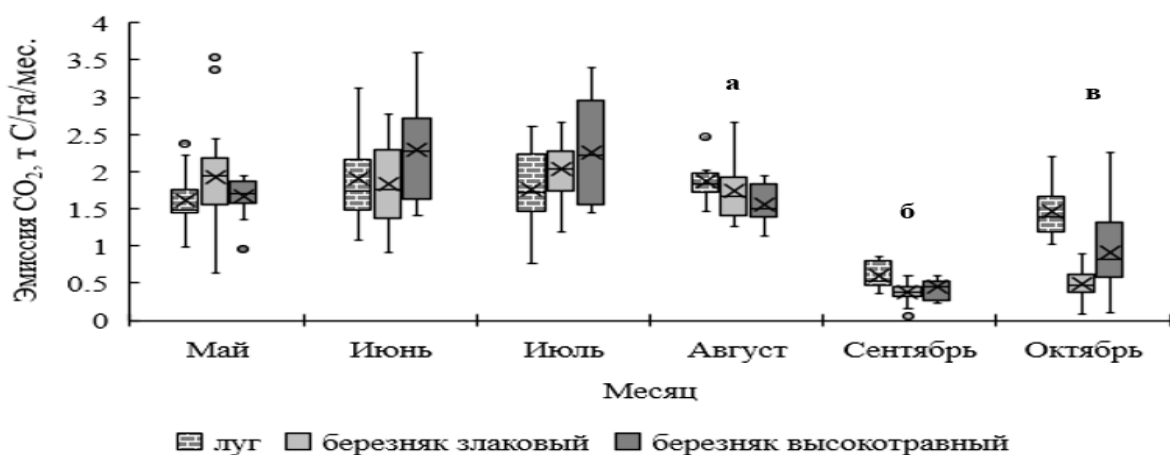


Рисунок 5 – Месячная динамика эмиссии CO<sub>2</sub> из почвы за вегетационный период.  $p < 0,05$  при сравнении между: а – лугом и березняком высокотравным, б – лугом и березняками, в – каждым из БГЦ

## ГЛАВА 6 ПОТОКИ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Древесная растительность оказывает значительное влияние на концентрации и потоки РОУ с атмосферными выпадениями. При прохождении осадков сквозь лесной полог концентрация РОУ увеличивается в 4 раза. За счёт этого поток РОУ с атмосферными выпадениями в мелколиственных БГЦ в 3 раза выше, чем на лугу разнотравном (рисунок 6) (Гичан и др., 2025).

Мелколиственные БГЦ отличаются меньшим выносом РОУ из почв по сравнению с лугом: из 10-см толщи почвы в 1,7 раз, 30-см толщи почв – в 2,2 раза (рисунок 6). Низкие показатели выноса РОУ в лесных экосистемах связаны как с объемами воды, так и с пониженной концентрацией РОУ в ней. Вынос РОУ из 10-см слоя в березняке высокотравном в 1,7 раз больше, чем в березняке злаковом.

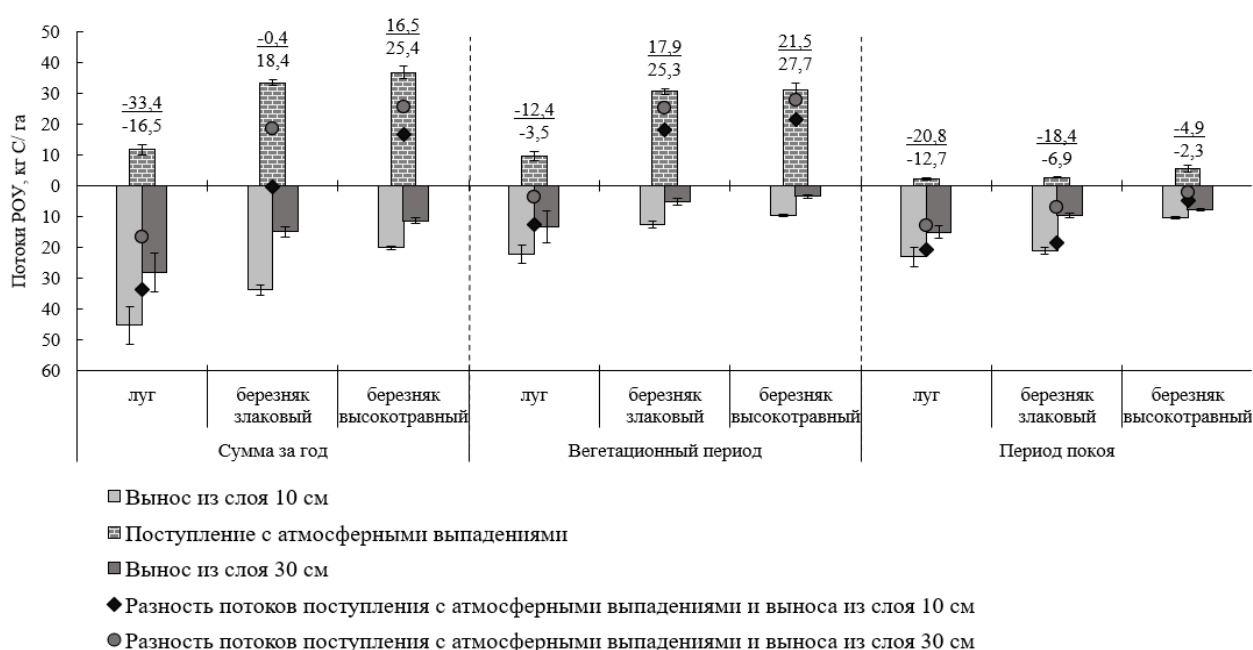


Рисунок 6 – Потоки РОУ.

Цифры в графиках показывают разность потоков поступления с атмосферными выпадениями и выноса из слоя 10 см (числитель) и слоя 30 см (знаменатель). Оценки потоков за вегетационный период (май–октябрь) и период покоя (ноябрь–апрель), представлены в виде суммы потоков за 6 мес

Таким образом, мелколиственные БГЦ характеризуются более эффективной фиксацией РОУ в горизонте подстилки и старопахотной минеральной толще почвы, по сравнению с луговым типом БГЦ. В березняках поступление РОУ с атмосферными выпадениями преобладает над его выносом с почвенными водами из слоя 0 – 30 см в среднем на 21,9 кг С/га/год, в то время как из луговых экосистем с вертикальным стоком РОУ выносятся 16,5 кг С/га/год.

В вегетационный период поступление РОУ с атмосферными выпадениями в мелколиственных БГЦ в 3,2 раза больше по сравнению с лугом (рисунок 6). Различия между типами БГЦ объясняются разницей в поступлении

РОУ в мае – июле и в сентябре – октябре (рисунок 7а). Вынос РОУ с почвенными водами из слоя 30 см значительно не различается между исследуемыми типами БГЦ, однако прослеживается тренд на увеличение выноса в ряду березняк высокотравный < березняк злаковый < луг от 3,5 до 13,2 кг С/га (рисунок 6). Однако, в июне и июле вынос РОУ из слоя 30 см на лугу в 7 раз больше по сравнению с березняками, в сентябре на 1,4 кг С/га/мес. (рисунок 7б). За вегетационный период аккумуляция углерода из РОУ в мелколиственных БГЦ составляет 26,5 кг С/га в слое 0 – 30 см. На лугу из 30-см почвенного слоя вымывается 3,5 кг С/га.

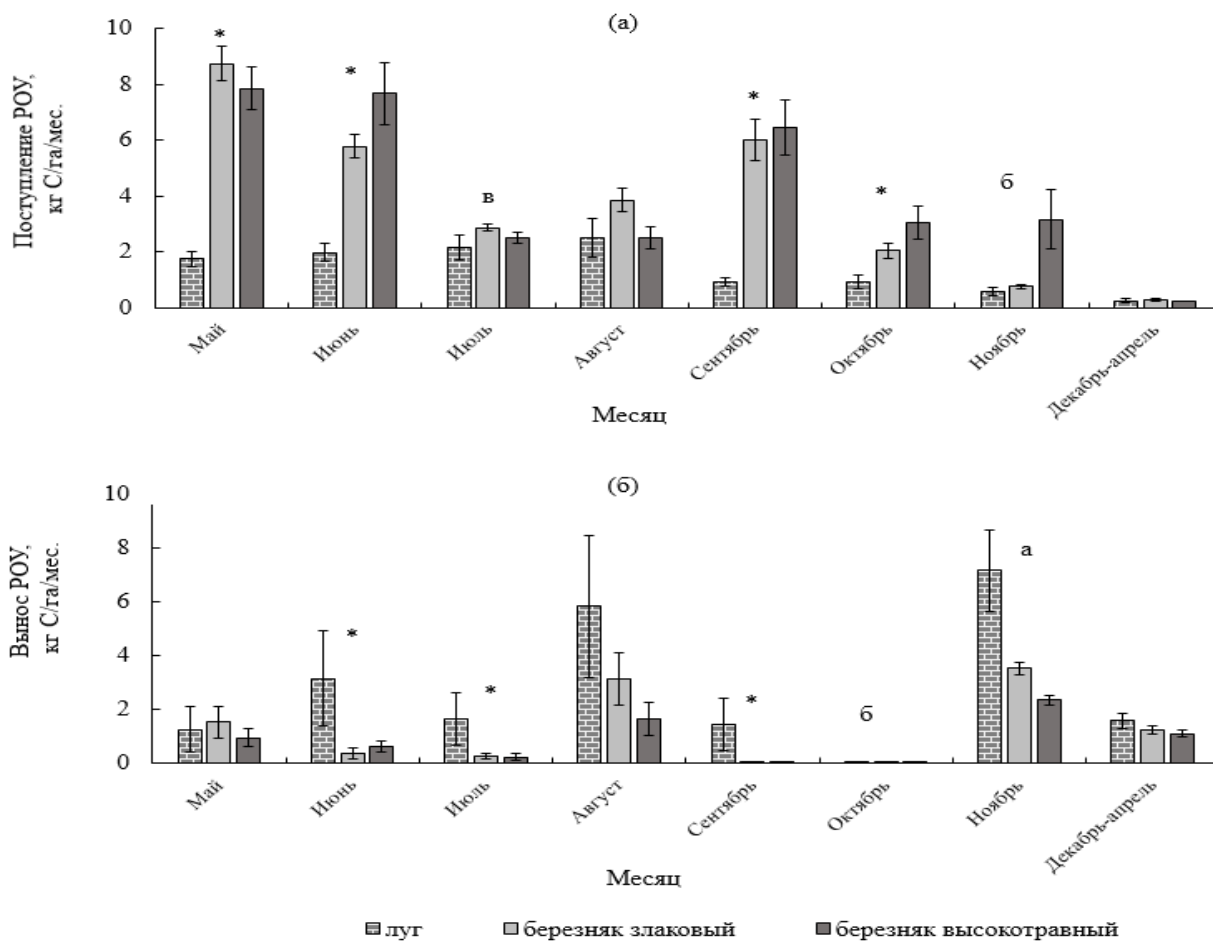


Рисунок 7 – Сезонная динамика поступления РОУ с атмосферными выпадениями(а) и выноса РОУ с почвенными водами из слоя 30 см (б).

$p < 0,05$  при сравнении между: \* – лугом и березняками, а – каждым из БГЦ, б – березняком высокотравным и остальными БГЦ, в – березняком злаковым и лугом

В период покоя поступление РОУ с атмосферными выпадениями не различалось в исследуемых типах БГЦ и в среднем составляет 3,5 кг С/га. Однако выявлены значимые различия в выносе РОУ из 30-см слоя: на лугах в 1,4 раза больше по сравнению с мелколиственными БГЦ, за счёт потоков РОУ в ноябре. В период покоя для каждого БГЦ наблюдается вымывание РОУ из горизонта подстилки и старопашотной толщи, которое увеличивается в ряду березняк высокотравный < березняк злаковый < луг от -2,3 до -12,7 кг С/га.

## ГЛАВА 7 ИНФОРМАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЛИЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗАПАСЫ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА

Тип растительных сообществ определяет количественные и качественные характеристики (концентрация C/N, содержание N) растительного опада. При этом опад на лугу отличается узким отношением C/N и большей концентрацией N (высокое качество), по сравнению с лесными БГЦ. В березняке высокотравном качество опада выше, чем в березняке злаковом. Качество опада влияет на процессы разложения подстилки и объясняет различия в запасе углерода подстилки между исследуемыми типами БГЦ. Установлена отрицательная связь между запасами углерода подстилки постагрогенных БГЦ и концентрацией N в растительном опаде ( $r = -0,32 - -0,68$ ), однако с отношением C/N корреляция положительная ( $r = 0,28 - 0,51$ ). При разложении опада углерод подстилки мигрирует в нижележащие горизонты, связываясь с ППК (Телеснина и др., 2017; Кузнецова и др., 2021; Лукина и др., 2021). Установлена положительная связь между запасами углерода в старопахотной толще и поступлением углерода с растительным опадом ( $r = 0,49 - 0,55$ ). Большая часть активной фракции опада в изучаемых типах БГЦ высокого качества, что объясняет высокую скорость разложения опада и миграцию органического вещества в минеральный слой почвы 0 – 30 см. Чем больше количество легкоразлагаемого опада, тем больше пул углерода в минеральном слое почв. Анализ связи между качественными и количественными характеристиками опада и вариацией запасов углерода отдельных слоёв старопахотной толщи позволил выявить следующие закономерности. Выявлена отрицательная корреляция между запасами углерода в слое 0 – 5 см и концентрацией N в растительном опаде ( $r = -0,35$ ). Слой 0-5 см непосредственно контактирует с подстилкой, поэтому влияние качества опада на этот слой более выражено, чем в нижележащих слоях. Установлены связи между запасами ПОУ в слое 5 – 30 см и количественными показателями растительного опада, а именно, поступлением углерода с растительным опадом в целом и опадом напочвенного покрова, в частности, коэффициенты корреляции варьируют от 0,53 до 0,67. На лугу формируется более качественный опад в большем количестве, что способствует ускорению миграции соединений углерода в слой 5 – 30 см по сравнению с березняками. Это объясняет различия в запасах углерода в слое 5 – 30 см между лугом и мелколиственными БГЦ.

Почвенное дыхание, как показатель, связанный с активностью гетеротрофов, отражает процессы разложения в горизонте подстилки, которые во многом обусловлены качеством и количеством поступающего опада (Chen et al., 2014; Shi et al., 2020). Установлена отрицательная корреляция ( $r = -0,59 - -0,76$ ) между запасами углерода подстилки и почвенным дыханием в сентябре – октябре. В мелколиственных БГЦ за счёт более низких качественных и количественных характеристик опада эмиссия CO<sub>2</sub> в данные месяцы (период массового листопада и его первичного разложения) меньше по сравнению с лугом, что объясняет большие запасы углерода подстилки в березняках по

сравнению с лугом. Для луга высокая эмиссия по сравнению с мелколиственными БГЦ отражает более активное разложение подстилки и, следовательно, миграцию углерода из подстилки в старопашотный слой. Корреляция между почвенным дыханием в сентябре – октябре и запасами ПОУ в старопашотной толще составляет 0,32 для сентябрьских потоков  $\text{CO}_2$  и 0,68 – для октябрьских. При этом эмиссия из почв в августе положительно связана только с запасами ПОУ в слое 0 – 5 см ( $r = 0,49$ ), эмиссия в сентябре и октябре – с запасами в слое 5 – 30 см ( $r = 0,51 - 0,69$ ).

В березняках поступление РОУ с атмосферными выпадениями выше, чем на лугу. Выявлена положительная корреляция между поступлением РОУ за вегетационный период, в частности в мае, и запасами углерода в подстилке ( $r = 0,51 - 0,68$ ), и отрицательная с запасами ПОУ в старопашотной толще ( $r = -0,41 - -0,61$ ). Связи между поступлением РОУ с атмосферными выпадениями и запасами углерода в подстилке могут быть обусловлены замедлением процесса биodeградации из-за наличия в атмосферных выпадениях ароматических и гидрофобных структур, оказывающих ингибирующее действие на активность ферментов организмов-деструкторов (Marschner, Kalbitz, 2003). Поэтому более высокое поступление РОУ в мелколиственных БГЦ, чем в луговом БГЦ способствует сохранению углерода подстилки. По-видимому, большее поступление углерода с атмосферными выпадениями может способствовать замедлению разложения подстилки и меньшему выщелачиванию РОУ, поэтому миграция углерода в минеральные слои снижается.

Анализ связи между поступлением РОУ и запасами углерода в отдельных слоях старопашотной толщи позволили установить следующие информативные показатели: для слоя 0 – 5 см поступление РОУ в июле и мае (для обоих показателей  $r = -0,43$ ), для слоёв 5 – 15 см и 15 – 30 см поступление РОУ в мае ( $r = -0,58$ ), что согласуется с закономерностями, полученными для старопашотной толщи.

Связь между выносом РОУ с лизиметрическими водами в сентябре и запасами углерода подстилки ( $r = -0,43$ ) объясняется качеством опада и процессами вымывания РОУ при разложении подстилки. Пик поступления опада приходится на сентябрь. В луговом БГЦ горизонт подстилки сформирован опадом высокого качества с быстрым оборотом и, как следствие, запасы углерода подстилки в этом типе БГЦ меньше, чем в березняках, а концентрации и вынос РОУ в лизиметрических водах соответственно больше.

Таким образом информативными показателями потоков углерода, определяемых растительностью и влияющих на вариацию запасов углерода в подстилке постагрогенных БГЦ, являются: качество опада (концентрация N, отношение C/N), поступление РОУ в целом за вегетационный период, за счёт поступления в мае, почвенное дыхание в сентябре – октябре, а также вынос РОУ в сентябре; для старопашотной толщи: поступление углерода с растительным опадом, поступление РОУ в целом за вегетационный период, за счёт поступления в мае, а также дыхание почвы в сентябре – октябре.

Установлено, что влияние растительности на варьирование запасов углерода подстилки в луговых и мелколиственных постагрогенных экосистемах

Вологодской области в большей степени обусловлено содержанием азота в растительном опаде и почвенным дыханием в октябре. Вклад данных показателей в вариацию запасов почвенного углерода подстилки составляет 31 и 28 % соответственно (рисунок 8а). Несколько меньше вклад поступления РОУ в мае – 16 %. Наибольший вклад в вариацию запасов углерода старопашотной толщи среди показателей, обусловленных влиянием растительности, вносят размеры поступления РОУ с атмосферными выпадениями в мае (15 %), поступления углерода с растительным опадом (13 %) и дыхание почвы в октябре (13 %).

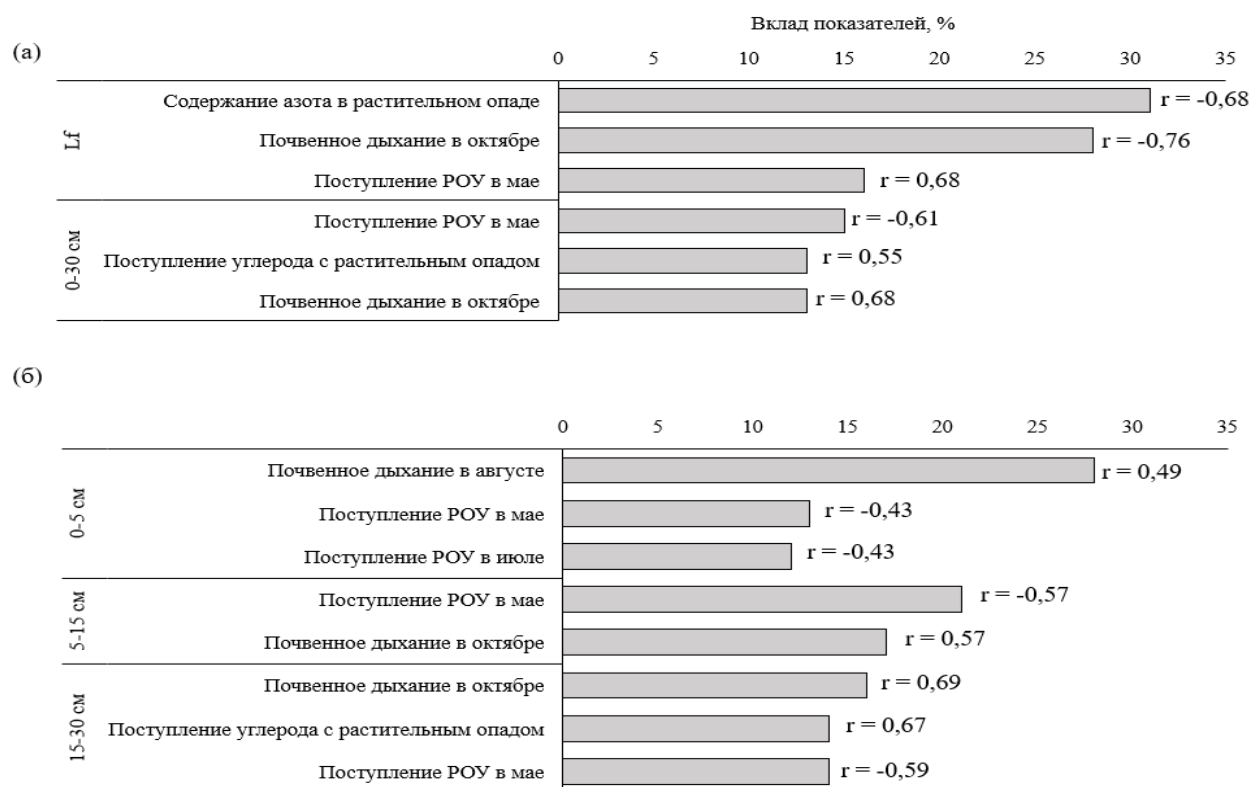


Рисунок 8 – Вклад информативных показателей в вариацию запасов углерода подстилки и старопашотной толщи (0 – 30 см) (а), а также отдельных слоёв старопашотной толщи (б) между исследуемыми БГЦ.

Каждый показателей является статистически значимым  $p < 0,05$ ,  $n = 25$ .  $r$  – коэффициент корреляции между показателями и запасами ПОУ.

Наибольший вклад в варьирование запасов ПОУ в слое 0 – 5 см вносит эмиссия  $\text{CO}_2$  в августе (28 %), а также поступление РОУ в мае и июле, вклад которых составляет 13 % и 12% соответственно (рисунок 8б). Для слоя 5 – 15 см наибольший вклад в варьирование запасов ПОУ обуславливают поступление РОУ в мае (21 %) и эмиссия  $\text{CO}_2$  в октябре (17 %), для слоя 15 – 30 см – эмиссия  $\text{CO}_2$  в октябре (16 % вариации).

## ВЫВОДЫ

1. Выявлены достоверные различия в запасах углерода подстилки и старопашотной толще (0 – 30 см) дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почв между луговыми и мелколиственными постагрогенными типами БГЦ. В

подстилке березняков запасы углерода на 40 % выше по сравнению с лугом разнотравным и составляют 2,1 т/га. В старопахотной толще запас углерода в мелколиственных БГЦ ниже, чем в луговом БГЦ: в слое 0 – 5 см березняка злакового запас ниже на 12 % (1,6 т С/га), в слоях 5 – 15 и 15 – 30 см в почвах мелколиственных типов БГЦ – на 22 % (5,0 т С/га) и 20 % (6,0 т С/га) соответственно.

2. Запасы углерода в подстилке березняка злакового вдвое выше (3,6 т С/га), а в слое 0 – 5 см на 30 % ниже (11,3 т С/га), чем в березняке высокотравном, за счёт большего (в 2,7 раз) поступления неактивных фракций опада.

3. Установлены отличия экосистемных потоков, обеспечивающих поступление и вынос углерода из мелколиственных и луговых постагрогенных экосистем:

3.1 Общее поступление углерода с растительным опадом на лугу составляет 1,8 т С/га/год, что в 1,5 раза выше, чем в мелколиственных БГЦ. В березняках доля древесно-кустарникового опада составляет 60 % от общего поступления, из которых от 10 % до 25 % приходится на трудноразлагаемые фракции опада. Качественные характеристики опада, в частности поступление трудноразлагаемой фракции древесного опада, определяют относительно высокие запасы углерода подстилки в мелколиственных БГЦ по сравнению с луговым.

3.2 Поступление РОУ с атмосферными выпадениями в мелколиственных БГЦ в 3 раза выше, чем с атмосферными выпадениями на лугу разнотравном за счёт большего поступления РОУ в мае – июле и в сентябре – октябре. Вынос РОУ из почв для мелколиственных БГЦ в 3,4 раза ниже по сравнению с лугом за счёт выноса в июне – июле, сентябре и ноябре, что обеспечивает закрепление в почвах 22 кг С/га в год, то время как из луговых экосистем выносятся 17 кг С/га в год.

3.3 Осенью (сентябрь – октябрь) эмиссия  $\text{CO}_2$  из почв луга разнотравного выше, чем из почв мелколиственных БГЦ: в сентябре – в 1,3 раза (0,5 т С/га/мес.), в октябре – в 1,8 раз (1,3 т С/га/мес.), что связано с большим поступлением и разложением опада более высокого качества в луговых экосистемах, чем в мелколиственных.

4. Различия в запасах углерода подстилки и старопахотной толщи дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почв между мелколиственными и луговыми постагрогенными БГЦ определяются потоками углерода, обусловленных влиянием растительности. Влияние растительности характеризуется рядом информативных показателей:

- запасы углерода подстилки связаны с качеством опада (концентрация N, отношение C/N), поступлением РОУ с атмосферными выпадениями в вегетационный период, почвенным дыханием в сентябре – октябре, а также выносом РОУ с почвенными водами в сентябре.

- запасы углерода старопахотной толщи связаны с поступлением углерода с растительным опадом, поступлением РОУ с атмосферными выпадениями за вегетационный период, дыханием почв в сентябре – октябре. При этом качество

опада (концентрация N) связано с запасами углерода в почвенном слое 0 – 5 см, а размеры поступления углерода с растительным опадом связаны с запасами ПОУ в слое 5 – 30 см. Поступление РОУ с атмосферными выпадениями в июле и мае положительно связано с запасами ПОУ в слое 0 – 5 см, при этом запасы углерода в слое 5 – 30 см связаны только с майскими потоками. Поступление РОУ в целом за вегетационный период является информативным показателем вариации запасов ПОУ в слое 15 – 30 см. Эмиссия углекислого газа из почв в августе связаны только с запасами ПОУ в слое 0 – 5 см, эмиссия в сентябре и октябре – с запасами ПОУ в слое 5 – 30 см.

5. Наибольший вклад в вариацию запасов почвенного углерода в постагрогенных мелколиственных и луговых типах БГЦ с дерново-подзолистыми остаточно-карбонатными почвами вносят следующие информативные показатели:

- в подстилке – содержание азота в растительном опаде (31 % вариации), почвенное дыхание в октябре (28 %) и поступление РОУ с атмосферными выпадениями в мае (16 %).

- в старопахотной толще – поступление РОУ в мае (15 %), поступление углерода с растительным опадом (13 %) и дыхание почвы в октябре (13 %).

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи, опубликованные в изданиях из перечня ВАК РФ:*

1. **Gichan, D.V.** Carbon Pools in Forest and Meadow Postagrogenic Ecosystems on Albic Endocalcaric Retisols of Southern Taiga / D.V. Gichan, D.N. Tebenkova, V.N. Ivanova, N.E. Shevchenko, E.V. Ruchinskaya, A.A. Kolycheva, A.D. Nikitina, N.V. Korotkova, A.D. Kataev, D.V. Demidov, N.R. Sharapova // *Eurasian Soil Science*. — 2026. — Vol. 59. — №. 5. — P. 1-12. DOI 10.1134/S1064229325603841 (ВАК, РИНЦ, «Белый список», RSCI)

2. **Гичан, Д.В.** Оценка потоков растворенного органического углерода и азота на неиспользуемых сельскохозяйственных землях Вологодской области / Д.В. Гичан, Д.Н. Тебенькова, В.Н. Иванова, Е.В. Ручинская, А.А. Колычева, Д.В. Демидов, Н.Р. Шарапова // *Почвоведение*. — 2025. — № 10. — С. 1293–1309 DOI 10.31857/S0032180X25100053. (ВАК, РИНЦ, «Белый список», RSCI)

3. **Гичан, Д.В.** Заращение земель сельскохозяйственного назначения древесной растительностью: масштабы, причины, пути использования. Обзор / Д.В. Гичан, Д.Н. Тебенькова // *Вопросы лесной науки*. — 2023. — Т. 6. — №. 3. — С. 24-75. DOI 10.31509/2658-607x-202363-131. (ВАК, «Белый список», РИНЦ)

*Публикации в других научных изданиях:*

4. **Гичан, Д.В.** Динамика поступления растительного опада в березовых молодняках на неиспользуемых сельскохозяйственных землях Вологодской области / Д.В. Гичан, Д.Н. Тебенькова, В.Н. Иванова, С.А. Аргеткина // *Экологические функции лесных почв и биоразнообразие лесов : Материалы XI Всероссийской научной конференции с международным*

участием, посвященной памяти Николая Васильевича Орловского (1899—1986 г.г.), Красноярск, 29 сентября 03 2025 года. — Красноярск: ФИЦ КНЦ СО РАН. — 2025. — С. 36-37. — EDN ORPXUO.

5. **Гичан, Д.В.** Запасы углерода в лесных и луговых биогеоценозах на неиспользуемых сельскохозяйственных землях Вологодской области / Д.В. Гичан, Д.Н. Тебенькова, В.Н. Иванова, А.А. Колычева // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы X всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 21–23 мая 2025 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова. — 2025. — С. 46-49. — EDN XKNGYO.

6. Иванова, В.Н. Запасы углерода в древостое при постагрогенном восстановлении. / В.Н. Иванова, Д.Н. Тебенькова, **Д.В. Гичан** // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы X всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 21–23 мая 2025 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова. — 2025. — С. 49-51. — EDN VRNNYX.

7. **Гичан, Д.В.** Влияние древесной растительности на поступление растворенного углерода с атмосферными выпадениями и вынос с почвенными водами на заброшенных сельскохозяйственных землях южной тайги области / Д.В. Гичан, Д.Н. Тебенькова, // Тезисы докладов IX съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Казань, 12–16 августа 2024 г.). — Москва: МАКС Пресс. — 2024. — С. 447-448. URL: [https://kpfu.ru/portal/docs/F2105999149/TEZISY.IX.Sezd.pochvovedov\\_.Kazan\\_2024.\\_2\\_.pdf](https://kpfu.ru/portal/docs/F2105999149/TEZISY.IX.Sezd.pochvovedov_.Kazan_2024._2_.pdf) (дата обращения: 24. 04. 2026).

8. **Гичан, Д.В.** Учет вклада карбонатов при оценке запасов органического углерода в почве на примере дерново-подзолистых постагрогенных карбонатсодержащих почв вологодской области / Д.В. Гичан, Д.Н. Тебенькова, В.Н. Иванова // Продуктивность лесов в условиях меняющегося климата : тезисы докладов, Петрозаводск, Россия, 02–07 сентября 2024 года. — Петрозаводск: ФИЦ «Карельский научный центр РАН». — 2024. — С. 31-32. — EDN PTZQXW. — URL:[https://kpfu.ru/portal/docs/F2105999149/TEZISY.IX.sezd.pochvovedov.Kazan\\_2024.\\_2\\_.pdf](https://kpfu.ru/portal/docs/F2105999149/TEZISY.IX.sezd.pochvovedov.Kazan_2024._2_.pdf) (дата обращения: 24.04.2026).

9. Мануйлова, П.И. Фракционный состав растительного опада формирующегося в березовых молодняках, на заброшенных сельскохозяйственных землях Вологодской области. / П.И. Мануйлова, **Д.В. Гичан**, Д.Н. Тебенькова // Продуктивность лесов в условиях меняющегося климата : тезисы докладов, Петрозаводск, Россия, 02–07 сентября 2024 года. — Петрозаводск: ФИЦ «Карельский научный центр РАН». — 2024. — С. 64-65. — EDN PTZQXW. — URL:[https://kpfu.ru/portal/docs/F2105999149/TEZISY.IX.sezd.pochvovedov.Kazan\\_2024.\\_2\\_.pdf](https://kpfu.ru/portal/docs/F2105999149/TEZISY.IX.sezd.pochvovedov.Kazan_2024._2_.pdf) (дата обращения: 24.04.2026).

10. **Гичан, Д.В.** Поступление растворенного углерода и азота с атмосферными выпадениями и их вынос с почвенными водами на заброшенных сельскохозяйственных землях южной тайги / Д.В. Гичан, Д.Н. Тебенькова // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы докладов XXXI Всероссийской молодежной научной конференции, посвященной 300-летию

Российской академии наук, 80-летию Коми научного центра Уральского отделения РАН, 80-летию со дня рождения А. И. Таскаева, Сыктывкар, 18–22 марта 2024 года. – Сыктывкар: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2024. — С. 105-107. — EDN CHGEKU.

11. **Гичан Д. В.**, Тебенькова Д. Н. Запасы углерода и азота в остаточно-карбонатных почвах, заброшенных с.-х. Земель вологодской области // Актуальные вопросы теории и практики лесного почвоведения: тезисы докладов, Петрозаводск, Россия, 18–22 сентября 2024 года. – Петрозаводск: ФИЦ «Карельский научный центр РАН». — 2023. — С. 54-54. — [https://www.spsl.nsc.ru/FullText/KONFE/lesn\\_pochvoved\\_2023\\_cont.pdf](https://www.spsl.nsc.ru/FullText/KONFE/lesn_pochvoved_2023_cont.pdf) (дата обращения: 01. 05. 2026).

*Базы данных*

12. **Гичан, Д.В.** Таксационные характеристики березовых древостоев, сформированных на заброшенной пашне Череповецкого района Вологодской области. / Д.В. Гичан, Д.Н. Тебенькова, В.Н. Иванова, А.А. Колычева, Е.В. Ручинская, Н.Е. Шевченко, Д.В. Демидов, М.В. Стеркин, Н.Р. Шарапова // Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2025625437 дата государственной регистрации 25 ноября 2025 г.