

*На правах рукописи*



**ТУКТАМЫШЕВ ИЛЬШАТ РИНАТОВИЧ**

**ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ  
ЭКОСИСТЕМ НА НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПАШНЯХ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

1.5.15. Экология (биологические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Уфа – 2025

Работа выполнена в лаборатории геоботаники и растительных ресурсов обособленного структурного подразделения Уфимского института биологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук.

**Научный руководитель:**

**Федоров Николай Иванович**  
доктор биологических наук, доцент

**Официальные оппоненты:**

**Лашинский Николай Николаевич**  
доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук», главный научный сотрудник, заведующий лабораторией географии и экологии биоразнообразия

**Моисеев Павел Александрович**  
доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук», заведующий лабораторией геоинформационных технологий

**Ведущая организация:**

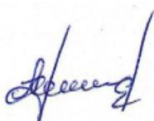
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Югорский государственный университет»

Защита диссертации состоится «5» декабря» 2025 года в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.2.352.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» по адресу: 460018, Оренбургская область, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» по адресу 460018, Оренбургская область, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13 и на сайте <http://www.osu.ru/doc/5595/asp/247>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Аринжанов Азамат Ерсайнович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Социально-экономический кризис, поразивший сельское хозяйство России в начале 1990-х годов, привёл к тому, что многие пастбища, сенокосы и пашни перестали использоваться (Люри и др., 2010; Prishchepov et al., 2012b; Kalinina et al., 2018, 2019). Республика Башкортостан (РБ) по размерам залежных площадей с естественным лесовозобновлением занимает первое место по России (Глушков и др., 2019). В 2019 г. в РБ древесной растительностью были покрыты значительные площади залежей, в том числе неиспользуемые более 20 лет – около 1 млн га, более 8 лет – 3.3 млн га (Глушков и др., 2019). За 25-30 лет на многих залежах сформировались полноценные лесные насаждения. Видовое разнообразие деревьев на заброшенных пашнях зависит главным образом от наличия семенных источников, состава пород близлежащих лесных насаждений, плодородия почв и режима их использования до и после прекращения распашки (Boydak., 2004; Широких и др., 2017; Crouzeilles et al., 2020; Kohler et al., 2020). В Башкирском Предуралье в качестве основных лесообразующих пород на залежах наиболее часто выступают *Betula pendula* Roth. и *Pinus sylvestris* L. (Широких и др., 2017). Последствия постагрогенной сукцессии на пахотных землях РБ не получили должной оценки ни с экологической, ни с хозяйственной точки зрения. Это обусловлено тем, что до сих пор до конца не установлены реальные масштабы зарастания неиспользуемых пахотных земель и характеристики формирующихся на этих землях лесных насаждений (Люри и др., 2010). Большая часть зарастающих древесными видами заброшенных пахотных земель уже не может быть использована в сельском хозяйстве в ближайшем будущем, но некоторые из них пригодны для лесного хозяйства, плантационного лесоводства, защитных лесонасаждений и т. д. (Cramer et al., 2008; Meiners et al., 2009; Люри и др., 2010). Одним из положительных моментов лесовосстановления на залежных землях является секвестрация углерода в фитомассе древесных видов и почве, особенно на этапе формирования древостоя (Smith et al., 2007; Vuichard et al., 2009; Рыжова и др., 2015). Таким образом, изучение древесной растительности на залежах и возможности ее дальнейшего использования имеют высокую актуальность для Южно-Уральского региона.

**Степень разработанности темы.** К моменту начала проведения исследований в широколиственно-лесной зоне были изучены флористические и синтаксономические закономерности восстановительных сукцессий на залежах и охарактеризованы стадии зарастания заброшенных пахотных угодий в широколиственно-лесной зоне Предуралья (Широких и др., 2017), а в лесостепной зоне исследования не проводились. В целом, имеющиеся данные не позволяли охарактеризовать степень распространения залежей и возможности их дальнейшего использования.

**Целью работы** является выявление закономерностей формирования лесных экосистем на неиспользуемых пахотных землях Башкирского Предуралья.

**Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:**

1. Провести рекогносцировочное и маршрутное обследование изучаемой территории для выделения модельных участков и пробных площадок с использованием космоснимков, и их ГИС-картирования и изучить изменение состава, структуры площадей сельскохозяйственных земель на модельных территориях за период с 1985 по 2022 гг. в Башкирском Предуралье.

2. Разработать методы дистанционной оценки надземной биомассы древесного яруса на залежах и содержания в ней углерода с использованием лазерного сканирования, а также

методов ретроспективного анализа формирования древостоя с использованием космоснимков.

3. Провести анализ пространственно-временных изменений проективного покрытия древесной растительности на неиспользуемых пашнях с использованием ретроспективных космоснимков.

4. Рассчитать продуктивность, запасы фитомассы в древесной и травянистой растительности на залежах и содержания в ней углерода в широколиственно-лесной зоне Башкирского Предуралья.

5. Разработать рекомендации по дальнейшему использованию залежной растительности в Башкирском Предуралье.

**Научная новизна.** Впервые выявлены причины различия состава древесного яруса на зарастающих лесом неиспользуемых пахотных угодьях в широколиственно-лесной и лесостепной зонах Башкирского Предуралья. Разработаны дистанционные методы анализа текущих и ретроспективных значений проективного покрытия крон древостоя, а также его биомассы и содержания в ней углерода. Показано, что на распространение березняков на заброшенных пахотных землях влияют несколько переменных окружающей среды: совпадение направления распространения семян с направлением ветров в период рассеивания семян, высота деревьев-источников семян и выпас скота. Содержание углерода в стволовой древесине березы на залежах в Башкирском Предуралье близко к аналогичным данным, полученным для гемибореальной зоны Прибалтики. Залежи с массовым лесовозобновлением древесных видов являются эффективными естественными резервуарами для накопления углерода. Установлены особенности депонирования углерода древостоем березняков и почвой в зависимости от типа почв.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность и апробация результатов и выводов подтверждена использованием современных методов ГИС – технологий, геоботаники, аналитической химии. При интерпретации результатов, полученных в ходе проведенных полевых и экспериментальных работ, была проанализирована литература по теме диссертационного исследования. Полученные результаты обеспечены значительным объемом материала и согласуются с уже имеющимися данными из отечественной и зарубежной литературы. При анализе данных проводился статистический анализ полученных в ходе полевых работ результатов, в том числе моделирования с использованием регрессионного анализа и валидации моделей.

**Теоретическая и практическая значимость.** Разработаны методы анализа дистанционной оценки биомассы разновозрастного древостоя березняков на залежах и запаса в ней углерода с использованием лидарной съемки с БПЛА. Полученные результаты по анализу пространственно-временной структуры зарастания заброшенных пашен позволяют прогнозировать зарастание березой и сосной и ход лесовосстановительной сукцессии на заброшенных пашнях. Рассмотрены перспективы дальнейшего использования древесной растительности на зарастающих лесом заброшенных полях. Показано, что залежи с массовым лесовозобновлением являются эффективными естественными резервуарами для накопления углерода. Заложены модельные опыты по использованию березняков на залежах для создания карбоновых ферм. По результатам диссертационных исследований опубликованы «Методические рекомендации по оценке депонирования углерода репрезентативными экосистемами Республики Башкортостан» и опубликована база данных по содержанию углерода в растительности и почве неиспользуемых сельскохозяйственных земель в широколиственно-лесной зоне Республики Башкортостан.

**Личный вклад автора** состоит в анализе литературных данных по теме исследования, участии в полевых экспедициях по сбору данных, их обработке и анализе данных, описании результатов исследования, участии в формулировании выводов, а также в подготовке статей и материалов к публикации по теме диссертации (совместно с научным руководителем). Текст диссертации написан автором лично.

**Методология и методы исследования.** В работе использован комплексный междисциплинарный подход, включающий дистанционные методы (анализ спутниковых и аэрофотоснимков, в том числе с применением LiDAR-съёмки), использование цифровой модели рельефа и почвенных карт, геоботанические описания и стационарные пробные площади для оценки биомассы и запасов углерода. Полевые исследования сочетались с лабораторными анализами образцов почвы и фитомассы, а также со статистической обработкой данных и построением регрессионных моделей. Такой интегрированный подход позволил исследовать пространственно-временные изменения проективного покрытия древесной растительности, продуктивность фитоценозов и динамику накопления углерода в почве и растительности.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Использование значений яркости красного канала на ранневесенних космоснимках может быть эффективно для оценки текущих и ретроспективных значений проективного покрытия древостоя, а лидарная съёмка с БПЛА — для оценки наземной биомассы и запасов в ней углерода в разновозрастном древостое на залежах.

2. На распространение березняков на заброшенных пахотных землях влияет совпадение направления распространения семян с направлением преобладающих ветров, высота деревьев-источников семян и выпас скота. У сосны совпадение направления распространения семян с направлением ветра играет меньшую роль чем у березы, что связано с тем, что семена сосны имеют большую массу по сравнению с семенами березы.

3. При зарастании залежей березняками выявлены зависимости между выживаемостью сеянцев и расстоянием до семенных деревьев: (1) распространение семян и плотность сеянцев уменьшаются с увеличением расстояния до семенных деревьев и (2) вероятность выживаемости сеянцев увеличивается из-за снижения конкуренции.

4. Наиболее спелые, 25-30-летние насаждения *Betula pendula* обеспечивают самый высокий среднегодовой прирост биомассы деревьев, а залежи с массовым лесовозобновлением древесных видов являются эффективными естественными резервуарами для накопления углерода.

**Связь работы с научными программами.** Диссертационная работа выполнена при поддержке Гранта Российского научного фонда № 22-24-00186, <https://rscf.ru/project/22-24-00186/>, Гранта Министерства образования и науки Республики Башкортостан НОЦ-РМГ-2022 «Создание методологических основ оценки баланса парниковых газов и определения потенциала депонирования углерода в экосистемах» и Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Программа создания и функционирования карбонового полигона на территории Республики Башкортостан «Евразийский карбоновый полигон» на 2022-2023 годы.

**Объем и структура диссертации.** Работа изложена на 149 страницах, состоит из введения, 7 глав, выводов и приложения, содержит 39 рисунков и 24 таблицы. Список цитируемой литературы включает 221 источник, из них 185 на иностранном языке.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК РФ и 3 статьи индексируемые

в системе международного цитирования WOS.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность своему научному руководителю д.б.н. Н.И. Федорову за поддержку, советы, организацию и формулирование основной идеи работы, сотрудникам лаборатории геоботаники и растительных ресурсов УИБ УФИЦ РАН: д.б.н. В.Б. Мартыненко, д.б.н. П.С. Широких, д.б.н. С.Н. Жигуновой, д.б.н. Э.З. Баишевой, к.б.н. А.А. Мулдашеву, к.б.н. Д.Т. Габбасовой, И.Г. Бикбаеву, Г.В. Шендель, Д.М. Гулову, В.Д. Гимазетдинову, сотрудникам лаборатории лесоведения УИБ УФИЦ РАН: д.б.н. А.Ю. Кулагину, д.б.н. Г.А. Зайцеву, д.с.-х.н. Р.Х. Гиниятуллину, д.б.н. Р.В. Уразгильдину, к.б.н. О.В. Тагировой, сотрудникам лаборатории почвоведения УИБ УФИЦ РАН: д.б.н. И.М. Габбасовой, д.б.н. Р.Р. Сулейманову, к.б.н. М.А. Комиссарову, к.б.н. Л.В. Сидоровой УИБ УФИЦ РАН за помощь в сборе материала, консультации, замечания и рекомендации.

## ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В главе представлен обзор причин прекращения использования пахотных земель в России и за рубежом (Cramer et al., 2008; Люри и др., 2010; Prévosto et al., 2011; Широких и др., 2017; Глушков и др., 2019; Шварц и др., 2023). Рассмотрены методы изучения восстановительных сукцессий на заброшенных пашнях (Александрова, 1964; Wang et al., 1996; Wiens, 1997; Миркин и др., 1998; Foster, Tilman, 2000; Turner et al., 2001; Грабарник, 2007; Миркин, Наумова, 2012; Uri et al., 2012; Prishchepov et al., 2012; Alcantara et al., 2012, 2013; Широких и др., 2017; Estel et al., 2015). Проанализированы литературные данные о закономерностях формирования древесной растительности на заброшенных пашнях (Greene et al., 1989; Perala et al., 1990; Nathan et al., 1999; Horn et al., 2001; Cramer et al., 2008; Люри и др., 2010; Uri et al., 2012; Широких и др., 2017; Fedorov et al. 2023), способы хозяйственного использования зарастающих пашен в России и мире (Vogel et al., 1998; Gong et al., 2006; Kuemmerle et al., 2010; Люри и др., 2010; Estel et al., 2015; Рыжова и др., 2015; Fayet et al., 2022; Subedi et al., 2022), а также способы повышения эффективности депонирования углерода древесной растительностью на залежах (Bergh, 1997; Johnson et al., 2001; Houghton et al., 2005; Peres et al., 2006; Aun et al., 2021).

## ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Материалы исследования.** В главе приведена краткая характеристика географического положения, климата ([URL:https://chelsea-climate.org/](https://chelsea-climate.org/)), особенностей рельефа (Абдрахманов и др., 2005), почв (Карта Башкирской АССР, 1975) и растительности Башкирского Предуралья (Широких и др., 2017; 2021; Fedorov et al., 2023).

**Объекты исследования.** Объектами исследования являлись древостой, формирующиеся на неиспользуемых пахотных угодьях на двух модельных территориях (МТ) размером 10×10 км в широколиственно-лесной и лесостепной зонах РБ: МТ Мишкинская 55.648003 с.ш., 56.185718 в.д., МТ Белебеевская 54.165673 с.ш., 54.227907 в.д.

**Методы исследования.** Выявление заброшенных пахотных угодий проводилось с использованием ретроспективных и современных космоснимков Landsat, Sentinel-2 и ALOS AVNIR-2 за период 1985–2022 гг. (Федоров и др., 2022). ГИС-картирование (сеточное и полигональное), расчёт площадей залежей, анализ рельефа и расстояния древостоя от источника семян выполнялись в программе QGIS 3.26. Геоботанические описания древесной растительности проводились на площадках 20×20 м, травянистых типов — на площадках 5×5 м с использованием подходов эколого-флористической классификации (Миркин, Наумова,

2004). Стадии зарастания залежей древесной растительностью определялись по методике П.С. Широких (2017) с выделением вариантов (таблица 1). Характеристики древостоя оценивались наземными лесотаксационными методами (Нуурра et al., 2020) и лазерным сканированием LIDAR-камерой на БПЛА Matrice 300 RTK (Næsset et al., 2002; Popescu et al., 2008; Fedorov et al., 2023). Надземная биомасса березняков определялась методом модельных деревьев на 35 круговых площадках диаметром 30 м (Тишин, 2015), возраст деревьев — с использованием древесного бура Haglöf. Биомасса и мортмасса травяного яруса, а также подземная биомасса оценивались на тех же площадках с закладкой пяти квадратных площадок 50×50 см (15–20 на каждой стадии лесовосстановления). Срезалась фитомасса и собиралась мортмасса. Содержание органического углерода в почве (слой 0–30 см) определялось по образцам, отобраным почвенным буром в центре участков. Кроме того, на каждом участке выкопаны профильные разрезы 3×1×0,5 м, где пробы брали через каждые 10 см до глубины 50 см. Содержание углерода анализировалось на элементном анализаторе CHNS EA-3100 (Fedorov et al., 2023). По аналогичной методике изучалась биомасса и содержание углерода в травянистых сообществах (сенокосах, пастбищах и неиспользуемых залежах). Статистическая обработка выполнялась методом регрессионного анализа и однофакторного дисперсионного анализа ANOVA в программе STATGRAPHICS 19 Centurion (URL: <https://www.statgraphics.com>).

Таблица 1 - Характеристика различных стадий и вариантов зарастания видов на залежных землях *Betula pendula* в широколиственно-лесной зоне и *Pinus sylvestris* в лесостепной зоне Башкирского Предуралья.

Стадии зарастания	I	II	III	IV	V
Высота деревьев, м	$\frac{0,5-1,5^*}{0,2-0,5}$	$\frac{2-3}{2-3}$	$\frac{5-8}{4-6}$	$\frac{9-14}{6-12}$	$\frac{15-18}{13-15}$
Возраст деревьев, лет	$\frac{3-8}{3-5}$	$\frac{9-14}{6-8}$	$\frac{15-20}{15-20}$	$\frac{20-25}{20-25}$	$\frac{25-30}{30-40}$
Диаметр стволов, см	–	1–4	6–8	10–14	$\frac{16-20}{16-20}$
Вариант 1 (ППК древесного яруса, %)	$\frac{5-10}{1-5}$	$\frac{30-50}{15-30}$	$\frac{60-80}{60-70}$	$\frac{75-90}{70-90}$	$\frac{75-90}{70-90}$
Вариант 2 (ППК древесного яруса, %)	$\frac{1-5}{1-3}$	$\frac{10-20}{10-20}$	$\frac{30-50}{30-40}$	$\frac{50-60}{50-60}$	$\frac{50-60}{50-60}$

Примечание: ППК – проективное покрытие крон древесного яруса, %,

Вариант 1 – густой древостой; Вариант 2 – разреженный древостой, \* числитель – береза, знаменатель – сосна

**Объем работ за 2020-2024 гг.** Всего в работе использовано 146 космоснимков спутников Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8, Sentinel-2, ALOS AVNIR-2 за 1985-2022 гг. Выполнено 250 геоботанических описаний. Для оценки биомассы и запасов углерода в древесной растительности на 35 круговых площадках диаметром 30 м, заложенных на участках неиспользуемой пашни, зарастающих березой, было отобрано 70 образцов фитомассы по 3 повторности из каждого элемента (листья, ветви, ствол). Для оценки запасов биомассы и углерода в травянистой растительности на залежах, зарастающих березой на разных стадиях лесовосстановления, закладывались площадки размером 50×50 см (по 15-20 на каждой стадии зарастания). Оценка продуктивности надземной и подземной фитомассы проводилась в разных типах залежной растительности (пастбище, влажный сенокос, суходольный сенокос, неиспользуемая травянистая залежь). При этом в каждом типе

закладывалось по 40 пробных площадок размером 50×50 см. Всего для анализа содержания углерода в надземной биомассе, мортмассе, подземной биомассе и почвах, было отобрано 1985 образцов. Для определения возраста древостоя отобрано 170 кернов. Кроме того, заложены 189 пробных площадей для березы и 170 для сосны размером 30×30 м центры которых совпадали с центрами выделенных полигонов, на карте-сетке на которых, оценивались состав и проективного покрытия крон для разработки метода оценки проективного покрытия по красному каналу космоснимков.

### **ГЛАВА 3. ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ С 1990-Х ГГ. НА МОДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ В ШИРОКОЛИСТВЕННО-ЛЕСНОЙ И ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНАХ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

Анализ космоснимков Landsat 5 (1985–2010 гг.) показал, что в середине 1990-х площадь пашни на МТ «Мишкинская» достигала 4738 га, а на МТ «Белебеевская» — 3005 га, что обусловлено преобладанием на последней крутых склонов, малопригодных для земледелия. С 1990-х площадь пашни сократилась на 72 % на МТ «Мишкинская» и на 64 % на МТ «Белебеевская». Доля залежей, зарастающих древесной растительностью, примерно одинакова — чуть более половины заброшенных площадей, что соответствует литературным данным по РБ (URL: <https://maps.greenpeace.org/maps/aal/>). На МТ «Мишкинская» выше доля сенокосов на заброшенных землях, тогда как на МТ «Белебеевская» пашни не используются как пастбища; часть залежей занята лесными культурами, карьерами щебня и повторно распахана после раскорчевки (рисунок 1).

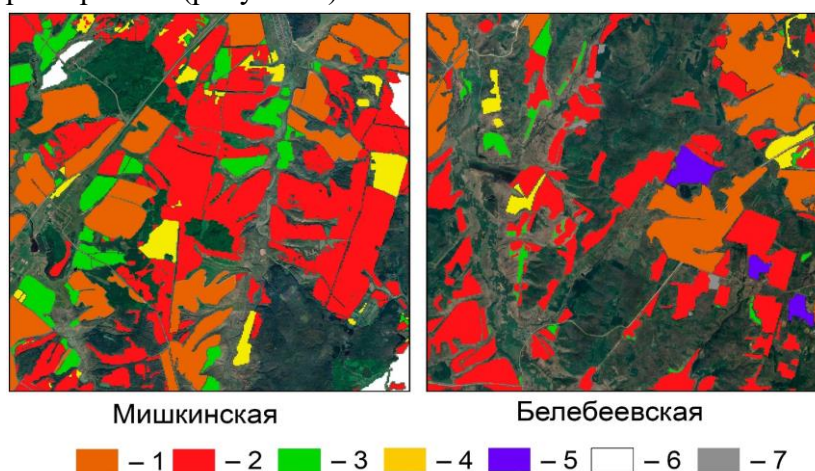


Рисунок 1 - Современное использование распаханых в 1985 году полей на модельных территориях: «Мишкинская» в широколиственно-лесной зоне, «Белебеевская» в лесостепной зоне Республики Башкортостан: 1 – пашни, 2 – залежи, зарастающие деревьями, 3 – залежи, зарастающие травянистой растительностью, 4 – сенокосы, 5 – раскорчевки древесной растительности на залежах, 6 – пастбища, 7 – посадки и карьеры для добычи щебня.

### **ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОЙ ОЦЕНКИ НАДЗЕМНОЙ БИОМАССЫ И СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В ДРЕВЕСНОМ ЯРУСЕ И РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ПРОЕКТИВНОГО ПОКРЫТИЯ ДРЕВОСТОЯ**

Для разработки дистанционной оценки запасов надземной биомассы древостоя и содержания в ней углерода с использованием лидарной съемки построено по 8 моделей регрессионной зависимости фитомассы стволовой древесины с ветвями и фитомассы листьев

березняков от характеристик древостоя, рассчитанных по LiDAR-съемке. Все модели описываются нелинейными уравнениями. Значения корреляции (R) между фитомассой стволовой древесины с ветвями и характеристиками древостоя, рассчитанные по данным LiDAR-съемки, почти во всех случаях превышают 0,90, а детерминации ( $R^2$ ) составляют более 78%. Установлено, что фитомасса стволовой древесины с ветвями, а также фитомасса листьев наиболее точно рассчитываются по произведению количества деревьев на их среднюю высоту (рисунок 2).

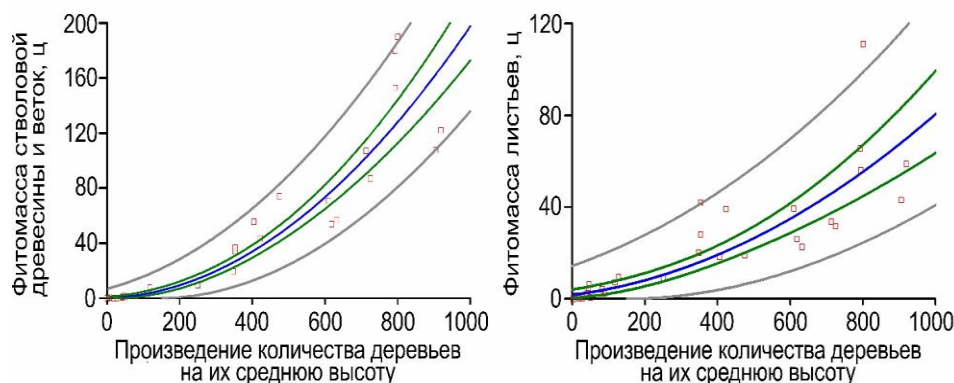


Рисунок 2 - Регрессионные модели расчета фитомассы стволовой древесины с ветвями и фитомассы листьев березняков по характеристикам древостоя, рассчитанным по произведению количества деревьев на их среднюю высоту.

С использованием коэффициентов пересчета запасов углерода в древесине и листьях, рассчитанных для березняков в широколиственно-лесной зоне (Fedorov et al., 2023), предложен способ расчета углерода по данным лидарной съемки:

$$CS = (3,33595 + 0,1372 \times X)^2 \times 0,485 + (3,38375 + 0,0254409 \times X)^2 \times 0,488$$

где CS — запасы углерода в березняке, X — произведение количества деревьев на их среднюю высоту.

Ошибка оценки запасов углерода по этой формуле в березняках 9-20 – летнего возраста с проективным покрытием более 30% составляет от 7,9. до 21,4%, а в березняках 20 – летнего возраста и старше – от 0,2 до 6,8 %. Предложенный метод позволяет использовать БПЛА для оценки запасов углерода в березняках на заброшенных пашнях.

Для оценки текущих и ретроспективных значений проективного покрытия крон (ППК) на зарастающих деревьями участках заброшенных пахотных земель использовали полигональную сетку с размером квадрата 30×30 м (Федоров и др., 2022), центры которых совпадали с центрами выделенных полигонов на карте-сетке. Всего на 189 пробных площадях с доминированием березы и на 170 пробных площадях с доминированием сосны были получены данные о ППК, составе древостоя и высоте деревьев (Федоров и др., 2022). Было рассчитано несколько уравнений регрессии для зависимости ППК от значений яркости красного (RED), ближнего инфракрасного (NIR), двух коротковолновых инфракрасных каналов (SWIR), а также относительного нормализованного индекса лесного снега (NDFSИ) в квадратах полигона по 8 снимкам спутников Landsat 8 и Sentinel-2 на разные даты зимы и ранней весны 2020-2022 года. Наилучший результат показал расчет по красному каналу ранневесенних снимков (8 апреля 2021 года) (рисунок 3) (Федоров и др., 2023):

$$ППК_B = (12,9157 - 17,4903 \times RED)^2$$

где ППК<sub>Б</sub> — проективное покрытие крон березы, RED — значения яркости красного канала (Федоров и др., 2022).

Уравнение имеет коэффициент корреляции  $R = -0,90$  и коэффициент детерминации  $R^2 = 81\%$  (Федоров и др., 2022). Аналогичная оценка проективного покрытия по ранневесенним снимкам была отработана и для древостоев с доминированием сосны обыкновенной. Оптимальное уравнение для сосны было рассчитано по ранневесеннему снимку за 24 марта 2022 года (рисунок 3).

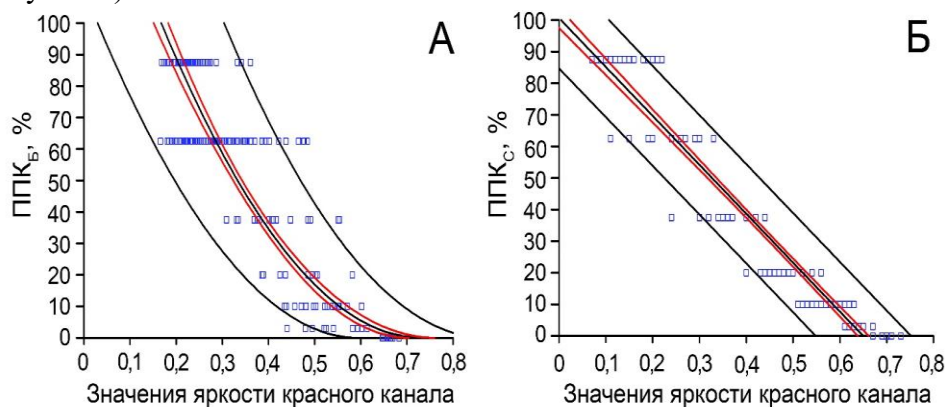


Рисунок 3 - Регрессионные модели зависимости проективного покрытия кроны от значений яркости красного канала: А — для березы; Б — для сосны.

$$\text{ППК}_C = 100,654 - 154,906 \cdot \text{RED}$$

где  $\text{ППК}_C$  – проективное покрытие кроны сосны, RED - значения яркости красного канала.

Уравнение имеет коэффициент корреляции  $R = -0,97$  и коэффициент детерминации  $R^2 = 94\%$ . Предложенный метод позволяет проводить ретроспективный анализ формирования древостоя на залежах.

## ГЛАВА 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗАЛЕЖАХ В ШИРОКОЛИСТВЕННО-ЛЕСНОЙ И ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНАХ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Анализ ретроспективных космоснимков с использованием красного канала показал, что формирования древесной растительности на залежах на модельной территории в широколиственно-лесной зоне началось в 1999-2002 гг. (Fedorov et al., 2023), а в лесостепной зоне – в 2000-2010 гг. В качестве источников семян (ИС) в большинстве случаев выступали посадки березы (лесополосы). На участках залежей, расположенных вблизи сосновых насаждений, залежи зарастали сосной обыкновенной (*P. sylvestris*), однако такие участки в широколиственно-лесной зоне не занимали значительных площадей. В этой зоне древостои березы занимают 95% от общей площади, зарастающих лесом залежей. Смешанные сосново-березовые древостои занимают всего 3%, а чистые сосняки – 2% (рисунок 4). К настоящему времени на заброшенных полях сформировались загущенные березняки возрастом 18-22 лет, находящиеся в основном на 4 стадии лесовосстановления. В связи с неодновременным прекращением использования пашни в разных частях территории есть небольшие участки березняков возрастом 25 лет (пятая стадия зарастания). Молодые березняки, находящиеся на 1-3 стадии, почти отсутствуют.

В лесостепной зоне посадки сосны имеют большее распространение. В связи с этим наблюдается зарастание заброшенных полей сосной, а монодоминантные сосняки составляют 52% от общей площади бывшей пашни. Смешанные сосново-березовые древостои занимают 47% от общей площади зарастающих полей, а чистые березняки – менее

одного процента. Сосна отличается от березы более медленным ростом (Санников, 1985), поэтому на МТ Белебеевская встречаются сосняки только 1-3 стадий зарастания залежей.

Почти полное отсутствие чистых березняков на этой МТ связано с тем, что условия, благоприятные для семенного размножения березы, на Бугульминско-Белебеевской возвышенности бывают реже, чем в широколиственно-лесной зоне (примерно один раз в 7–10 лет) (Краснобаева и др., 2007). В крайне сухое и жаркое лето 2010 г. отмечалась как атмосферная, так и почвенная засуха (до глубины 1,5 м и более), что повлекло гибель подроста березы (Газизуллин и др., 2014). Локальные засухи в лесостепной зоне часто сопровождаются низовыми пожарами, способствующими естественному возобновлению сосны, продолжению формирования древостоя сосны на залежах и сокращению площади травянистых сообществ. Вблизи урбанизированных территорий встречаются интразональные сообщества с кленом ясенелистным (*Acer negundo* L.), которые так же, как и чистые березняки, не занимают больших площадей. Рассмотрим пространственно-временные изменения проективного покрытия березняков в ходе лесовосстановительных сукцессий на МТ «Мишкинская». Анализ проведен на 4-х пробных площадях (ПП). Источниками семян на 3-х ПП были посадки березы, а на одной (ПП2) источником семян была узкая полоса естественного березняка в понижении рельефа.

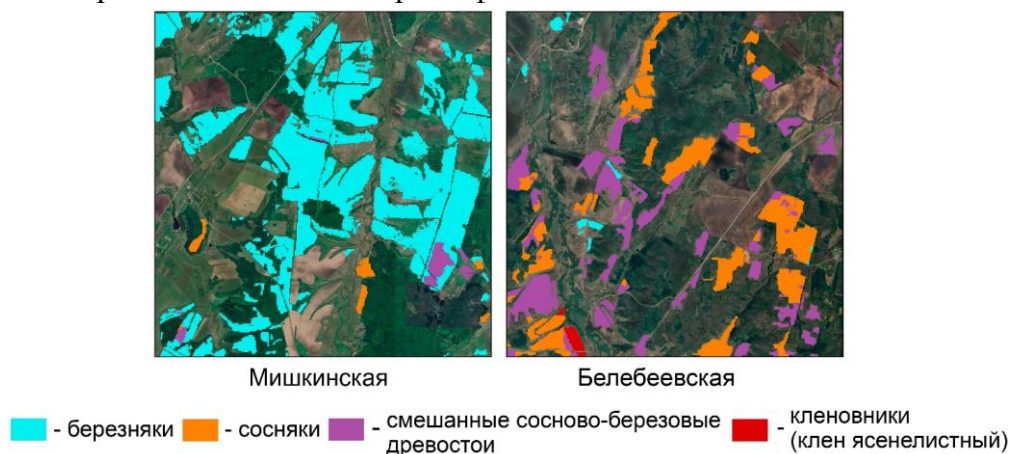


Рисунок 4 - Пространственное распределение различных древостоев на модельных территориях.

Протяженность ПП от источников семян до противоположного края зарастающей ПП составляла от 391 м до 776 м. В период рассеивания семян березы (июль-сентябрь) преобладали западные и северо-западные ветра. Направление разноса семян не совпадало с преобладающими направлениями ветров (рисунок 5).

Из рисунка 6 видно, что на ПП1 в 2009 году ППК березняка в среднем составляло 24% на расстоянии до 100 м и не более 5% на расстоянии 200-600 м. Сила влияния фактора «расстояние от источника семян» составила 0,76, а к 2022 году снизилась до 0,18 (таблица 2). На ПП2 с более низкой высотой деревьев-источников семян, ППК и сила влияния данного фактора изменялась слабо. В 2022 году ППК выровнялось на расстоянии до 300 м от источника семян и достигло в среднем 80%, а на противоположном краю участка образовалось редколесье. На ПП3 с направлением ветра, противоположным направлению распространения семян, сформировалась четкая тенденция к уменьшению ППК по мере удаления от источника семян. В 2022 году сомкнутый древостой на этой ПП сформировался только на расстоянии до 200 м от семенных деревьев. В период формирования древостоя (в 2009 г.) на подверженном выпасу скота ПП4 ППК был выше, чем на других ПП, и составлял

53%, а сила влияния фактора «расстояние от источника семян» составляла 0,90. В 2022 году сила влияния этого фактора снизилась до 0,45 (таблица 2), при этом ППК древостоя стало максимальным на расстоянии 600–800 м от источника семян (рисунок 6).

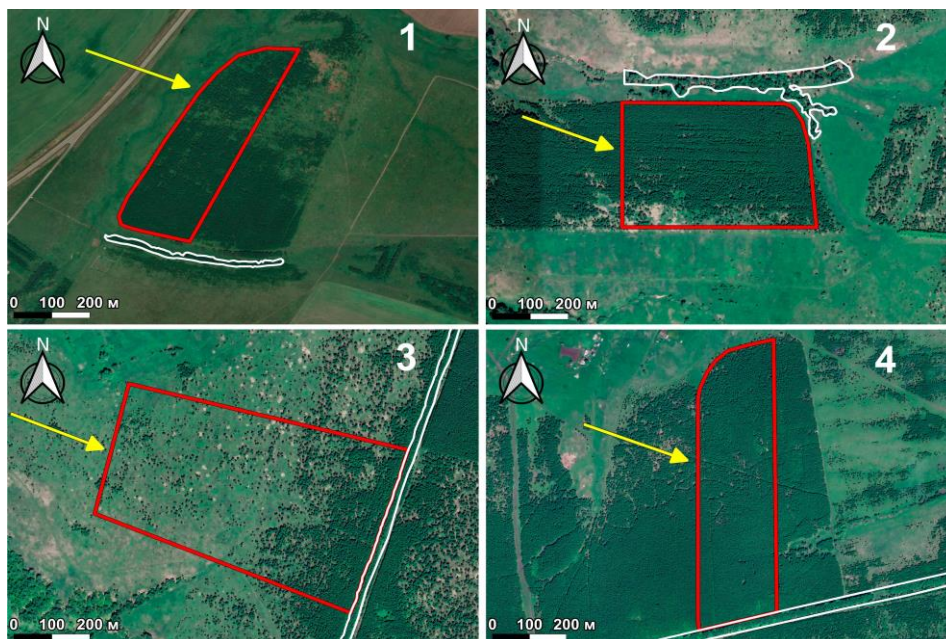


Рисунок 5 - Преобладающее направление ветра и расположение источников семян на зарастающих березой повислой (*Betula pendula*) пробных площадях, расположенных на заброшенной пашне в широколиственно-лесной зоне Башкирского Предуралья. Примечания: Желтые стрелки показывают преобладающее направление ветра, а белые линии указывают участки с взрослыми березами - источниками семян.

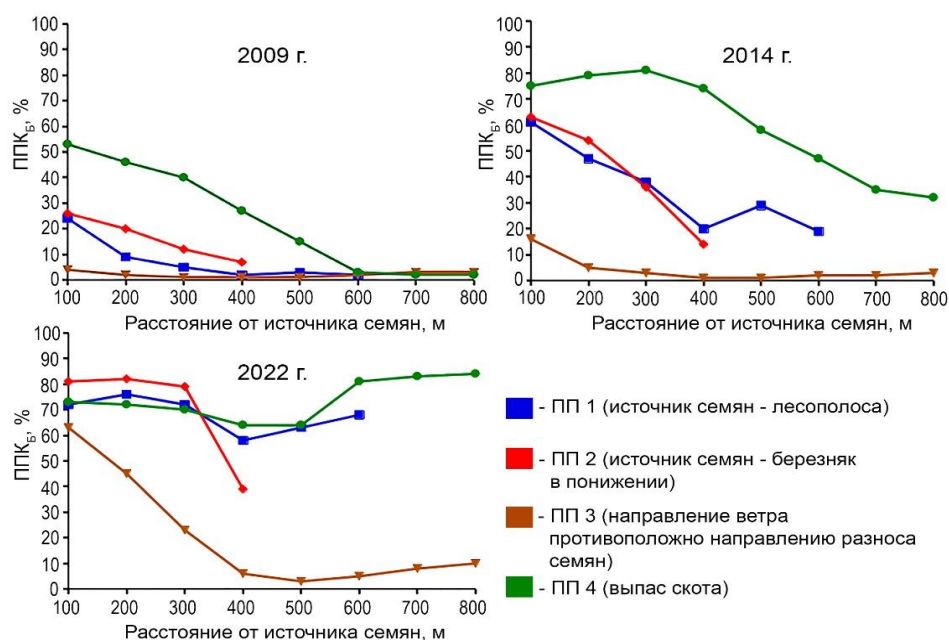


Рисунок 6 - Влияние расстояния от источника семян на проективное покрытие *Betula pendula* при зарастании неиспользуемой пашни на пробных площадях в широколиственно-лесной зоне Башкирского Предуралья.

Таблица 2 - Изменение силы влияния фактора удаленности от семенных деревьев на проективное покрытие кроны *Betula pendula* при формировании древостоев на заброшенных пашнях в широколиственно-лесной зоне Башкирского Предуралья.

№ пробной площади	Сила влияние фактора $\eta^2$						
	2009 г.	2012 г.	2014 г.	2016 г.	2017 г.	2021 г.	2022 г.
1	0,76	0,57	0,53	0,49	0,45	0,24	0,18
2	0,61	0,70	0,69	0,64	0,67	0,63	0,63
3	0,40	0,72	0,64	0,69	0,68	0,76	0,78
4	0,90	0,86	0,74	0,47	0,35	0,40	0,45

Примечание  $\eta^2$  – отношение межгрупповой дисперсии к общей.

Аналогичным образом проводился анализ пространственно-временных закономерностей распространения самосева сосны на 4-х ПП, зарастающих сосной обыкновенной в лесостепной зоне Башкирского Предуралья (рисунок 7).

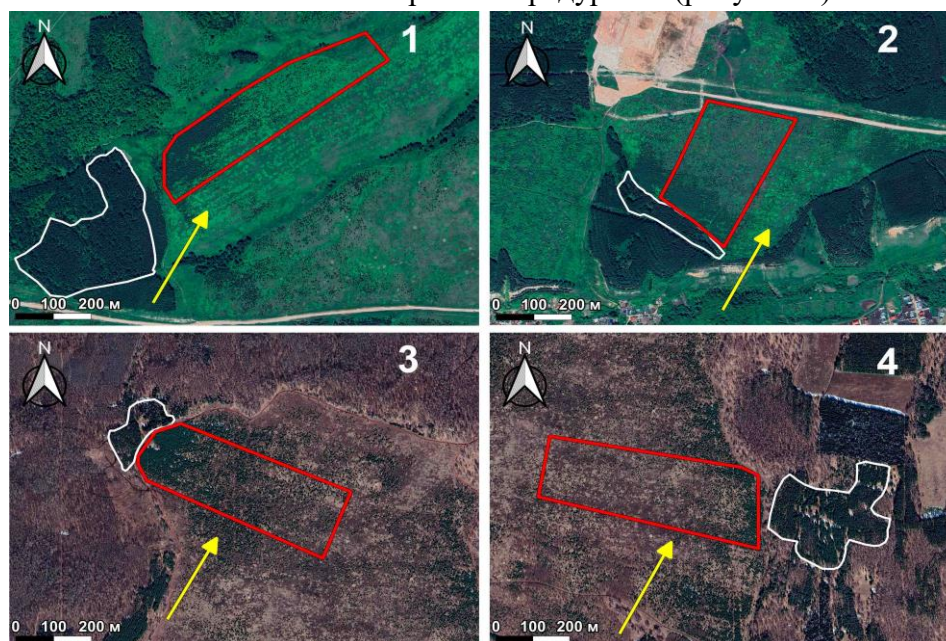


Рисунок 7 - Преобладающее направление ветра и расположение источников семян на зарастающих сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*) пробных площадях, расположенных на заброшенной пашне в лесостепной зоне Башкирского Предуралья.

Примечания: Желтые стрелки показывают преобладающее направление ветра, а белые линии указывают участки с взрослыми соснами - источниками семян.

Источниками семян на всех ПП были насаждения сосны. Протяженность ПП от источников семян до противоположного края составляла от 540 до 912 м. Направление преобладающих ветров в период распространения семян совпадала на первой и второй ПП. На ПП1 источник семян располагался на склоне. Из рисунка 8 видно, что на ПП1 в 2016 году ППК сосны на расстоянии до 200 м составляло 21%, а на расстоянии до 500 м менее 15%. К 2022 году ППК на расстоянии до 200 м составило 74%, тогда как на расстоянии 700 м и более оставалось ниже 10%. Сила влияния фактора расстояния от источников семян на ППК сосны увеличилось с 0,32 до 0,72 (таблица 3). На ПП2 забрасывание произошло позже, чем на остальных ПП, в результате чего древостой сосны оказался более молодым. в 2019 году ППК сосны на расстоянии до 100 м составляло 30%, а к 2022 году уже увеличилось до 74%. Сила влияния фактора расстояния от источников семян возросла с 0,26 до 0,84 (таблица 3). На ПП3

в 2016 году ППК сосны было выше возле источника семян составляло в среднем 35%. Сила влияния фактора с увеличением возраста древостоя возросло с 0,48 до 0,73 (табл. 3). Преобладающие направление ветра не совпадало с направлением распространения семян. На ПП4 в 2019 году ППК до 100 м составляло в среднем 38%, а к 2022 году выросло до 64%, но на расстоянии более 300 м составляет менее 20%. Сила влияния фактора расстояния от источников семян увеличилось с 0,47 до 0,76 (таблица 3). Преобладающие направление ветра не совпадало с направлением распространения семян.

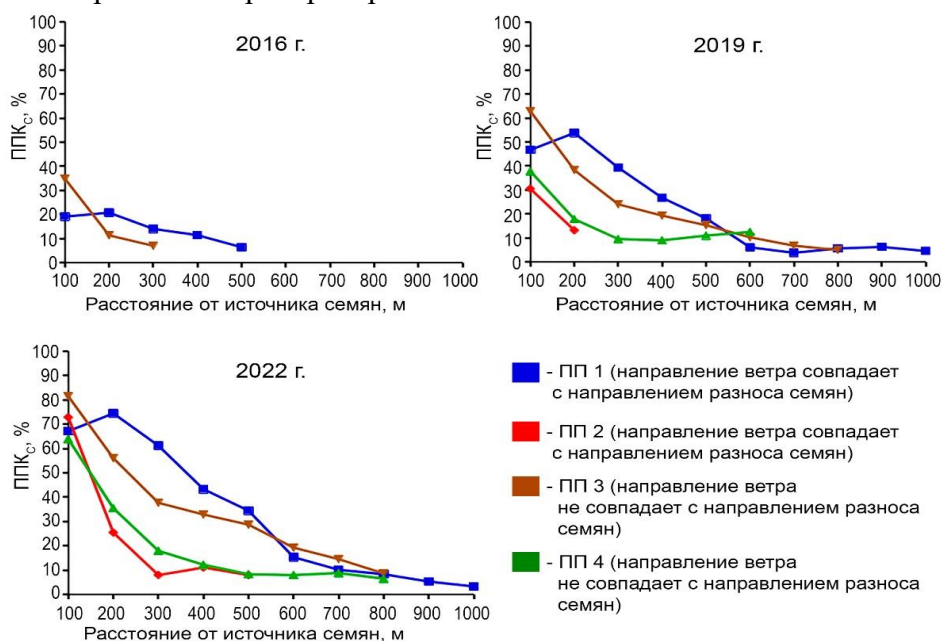


Рисунок 8 - Влияние расстояния от источника семян на проективное покрытие *Pinus sylvestris* при зарастании неиспользуемой пашни на пробных площадях в лесостепной зоне Башкирского Предуралья.

Таблица 3 - Изменение силы влияния фактора удаленности от семенных деревьев на проективное покрытие кроны *Pinus sylvestris* при формировании древостоев на заброшенных пашнях в лесостепной зоне Башкирского Предуралья.

Совпадения ветра с направлением распространения семян	Сила влияние фактора $\eta^{2*}$				
	2016 г.	2017 г.	2019 г.	2020 г.	2022 г.
ПП1 - совпадает	0,32	0,31	0,67	0,73	0,72
ПП2 - совпадает	--**	--**	0,26	0,81	0,84
ПП3 - не совпадает	0,48	0,64	0,71	0,80	0,73
ПП4 - не совпадает	--**	--**	0,47	0,81	0,76

Примечание  $\eta^{2*}$  – отношение межгрупповой дисперсии к общей., \* \*- древесный подрост ниже уровня снега.

Таким образом, на распространение березняков на заброшенных пахотных землях в широколиственно-лесной зоне Предуралья влияют несколько переменных окружающей среды: совпадение направления преобладающих ветров с направлением разноса семян, высота деревьев – источников семян, а также выпас скота. В целом, выявлены две зависимости между выживаемостью сеянцев и расстоянием до семенных деревьев: (1) перенос семян и плотность сеянцев уменьшаются с увеличением расстояния от семенного дерева и (2) вероятность выживаемости семян/саженцев увеличивается из-за снижения конкуренции. Совпадение направления преобладающих ветров с направлением

распространения семян у сосны играло меньшую роль чем у березы, что связано с большей массой семян у сосны по сравнению с семенами березы.

## ГЛАВА 6. ЗАПАСЫ ФИТОМАССЫ И УГЛЕРОДА В РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗАЛЕЖАХ МОДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В ШИРОКЛИСТВЕННО-ЛЕСНОЙ ЗОНЕ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Залежи являются крупными аккумуляторами углерода и способствуют сокращению выбросов парниковых газов, играя тем самым важную роль в процессах глобального изменения климата (Sileika et al., 2006; Lal et al., 2015; Kalinina et al., 2015; Kurganova et al., 2015). Установлено, что запасы надземной фитомассы травяного яруса залежей на МТ «Мишкинская» сильно зависят от типа залежной растительности. На пятой стадии зарастания запасы фитомассы древесного яруса в ходе лесовосстановительной сукцессии увеличивались до 2450,23 ц/га (таблица 4). Сравнение показателей травяного яруса залежной растительности показало, что максимальные запасы надземной фитомассы травянистого яруса характерны для влажного луга с сенокосным использованием, которые составляют в среднем 38,23 ц/га и статистически достоверно не отличаются от начальной стадии зарастания березой. Минимальные запасы подземной фитомассы характерны для 1 и 2 стадий зарастания залежей березой, а максимальные - для сухого луга с сенокосением. Минимальные запасы мортмассы, в основном состоящей из ветоши злаков, характерны для залежной растительности 1 стадии зарастания березой и в пастбищных сообществах. Максимальные запасы мортмассы выявлены на 5 стадии зарастания березой (таблица 4).

Содержание углерода в надземной фитомассе древесного яруса березняков составляло от 48,7% до 49,5%, а в надземной фитомассе их травянистого яруса – от 39,2% до 43,3% (таблица 5) В мортмассе и в подземной фитомассе оно варьировало сильнее и в разных типах залежной растительности составляло, соответственно, от 36,5% до 47,9% и от 26,9% до 43,3% (таблица 5). В целом, содержание углерода в древесине березы на залежах в Башкирском Предуралье близко к аналогичным данным, полученным для березняков в гемибореальной зоне Прибалтики (Uri et al., 2012).

Таблица 4 - Запасы биомассы травяного и мохового ярусов на разных типах залежной растительности на модельной территории «Мишкинская» в широколиственно-лесной зоне Башкирского Предуралья.

Типы залежной растительности	Запасы, ц/га					Общая биомасса
	В надземной фитомассе древесного яруса	В надземной части травяного яруса	В мортмассе	В фитомассе мхов	В подземной фитомассе	
Травянистые сообщества						
Сенокос влажный	-	38,23±1,48	45,15±2,46	-	98,42±10,83	181,80±11,37
Травянистая залежь	-	26,48±2,97	57,80±6,63	0,004±0,003	88,84±6,10	173,15±9,50
Сенокос сухой	-	21,96±1,95	14,71±1,77	-	101,47±6,44	138,15±8,02
Пастбище	-	7,64±0,72	4,84±0,83	2,23±0,85	82,04±6,26	96,75±5,98
Зарастающие лесом залежи						
C1B1*	0,27±0,15	34,70±1,65	5,21±0,59	-	23,96±1,67	64,14±2,00
C1B2	1,09	32,36±2,18	2,64±0,53	-	25,10	61,19

Продолжение таблицы 4

C2B1	6,77±2,31	32,60±1,95	9,73±1,03	-	23,75±2,03	72,85±4,59
C2B2	28,85±7,83	21,77±1,93	21,81±3,29	-	30,81±4,35	103,24±7,63
C3B1	217,50±94,43	17,41±3,55	38,89±3,75	-	53,12±9,02	326,92±14,21
C3B2	403,01	1,27±0,34	67,05±6,26	-	59,47	530,80
C4B1	554,44 1±108,81	6,28±1,37	56,25±9,34	-	30,48±4,50	647,45±119,33
C4B2	703,40±48,18	1,41±0,45	70,40±4,25	-	42,03±2,58	817,23±48,01
C5B2	2450,23±849,76	2,85±0,34	112,30±6,97	-	43,27±1,96	2608,64±848,78

Примечание: С - Стадия зарастания, В – Вариант.

Таблица 5 - Содержание углерода в биомассе в разных типах залежной растительности на модельной территории «Мишкинская» в широколиственно-лесной зоне Башкирского Предуралья.

Типы залежной растительности	Содержание углерода, %				
	В надземной фитомассе древесного яруса	В надземной части травяного яруса	В мортмассе	В фитомассе мхов	В подземной фитомассе
Травянистые сообщества					
Травянистая залежь	-	42,9±0,2	41,1±0,4	38,4±0,01	39,4±0,4
Сенокос сухой	-	42,0±0,1	37,8±0,4	-	39,3±0,5
Сенокос влажный	-	41,9±0,1	40,8±0,3	-	39,7±0,4
Пастбище	-	41,1±0,3	36,5±0,6	36,5±0,4	39,4±0,3
Зарастающие лесом залежи					
C1B1	50,33±0,3	42,4±0,3	40,2±0,7	-	34,3±1,9
C1B2	50,29±0,7	42,4±0,2	43,4±0,3	-	33,5±2,0
C2B1	48,9±0,3	43,3±0,2	43,4±0,3	-	30,4±2,0
C2B2	49,2±0,3	42,9±0,2	43,3±0,7	-	36,9±3,4
C3B1	48,9±0,4	42,6±0,2	45,4±0,7	-	33,8±2,7
C3B2	48,6±0,2	39,2±1,1	47,9±0,5	-	39,4±0,8
C4B10,	48,5±0,2	41,9±0,5	46,9±0,4	-	38,3±2,8
C4B2	48,4±0,3	40,7±0,7	47,3±0,5	-	43,3±0,8
C5B2	48,8±0,2	42,7±0,3	46,5±0,5	-	41,5±0,9

Примечание: С - Стадия зарастания, В – Вариант.

Содержание углерода в серой лесной почве в ходе лесовосстановления за 25 лет увеличилось почти в два раза, достигая 4,4% на 5 стадии зарастания (табл. 6). На всех сукцессионных стадиях содержание углерода в темно-серой лесной почве было в 1,5–2,5 раза выше, чем в серой лесной почве и в ходе лесовосстановления статистически достоверно увеличивалось только на пятой стадии (таблица 6).

Общий запас депонированного углерода в растительности всех типов залежей на МТ «Мишкинская» составил 122,9 тыс. тонн С, что соответствует 449,5 тыс. тонн CO<sub>2</sub>-экв., а средняя скорость секвестрации углерода в древостое березы за 25 лет составляет 2,7 т/га/год. Таким образом показано, что залежи с массовым лесовозобновлением являются эффективными естественными резервуарами для накопления углерода.

Таблица 6 - Содержание углерода, аккумулированного в почвах на разных стадиях зарастания *Betula pendula* на залежах в широколиственно-лесной зоне Предуралья

Типы залежной растительности	Содержание углерода в почве, %	
	В серой лесной (0-30 см)	В темно-серой лесной (0-30 см)
C1B1	2,50±0,09	5,32±0,15*
C2B1	2,22±0,05	5,73±0,35* **
C3B1	3,57±0,24*	6,02±0,19** ***
C4B1	3,76±0,35*	6,22±0,29***
C1B2	2,21±0,08	-
C2B2	3,01±0,20	4,75±0,20*
C3B2	-	5,12±0,18*
C4B2	-	4,61±0,21*
C5B2	4,43±0,20	5,89±0,17

Примечание: С - Стадия зарастания, В – Вариант, \* – отмечены статистически не достоверные значения пар.

## ГЛАВА 7. О ПЕРСПЕКТИВАХ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАЛЕЖНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

При оценке перспектив дальнейшего использования ключевую роль играют тип почв, рельеф, потребность в том или ином типе хозяйственного использования. Почвенный покров на «Мишкинской» МТ представлен преимущественно серыми лесными, реже темно-серыми лесными почвами (Абдрахманов, 2005). На «Белебеевской» МТ преобладают выщелоченные, карбонатные и типичные черноземы. На МТ «Белебеевская» доля естественных пастбищ выше вследствие холмисто-увалистого рельефа (Абдрахманов и др., 2005), в связи с этим, травянистую растительность залежей на склонах целесообразно использовать в качестве сенокосов, а на выровненных участках – раскорчевывать и повторно распахать для посевов многолетних трав или зерновых культур. На МТ «Мишкинская» березняки, произрастающие на залежах с более бедными серыми лесными почвами, в среднем, имеют возраст около 24 лет, и приближаются к возрасту рубок (40-60 лет). Древесина березы может быть использована не только в качестве топлива, но и при производстве фанеры, ДСП и т.д. Быстрорастущие деревья *B. pendula*, могут способствовать как высокому производству древесной биомассы, так и увеличению запасов органического углерода в почве за относительно короткий период времени (Cannell et al., 1995; Crigal et al., 1998; Laganier et al., 2010; Dimitriou et al., 2012, 2017).

Из рисунка 9 видно, что, начиная с 3 стадии лесовосстановления, большая часть запасов углерода депонирована в древесном ярусе. При этом, запасы углерода на залежах, зарастающих древесной растительностью, но скорость между пятой (25-30 лет) и шестой (50 лет) несколько снижается. Для разработки и апробирования методик увеличения секвестрационного потенциала березняков, находящихся на 4-5 стадии лесовосстановления, создана модельная карбоновая ферма, на которой заложены 15 круговых пробных площадей диаметром 30 м. Секвестрационный потенциал участка березняков, выбранных для создания карбоновой фермы, находящихся на 4-5 стадии лесовосстановления, составляет от 342,4 ц/га до 820,0 ц/га, что соответствует 1256,6 и 3009,4 центнеров CO<sub>2</sub> (экв.) /га. На этих площадках начаты опыты по использованию различных концентраций удобрений и прореживанию загущенного древостоя.

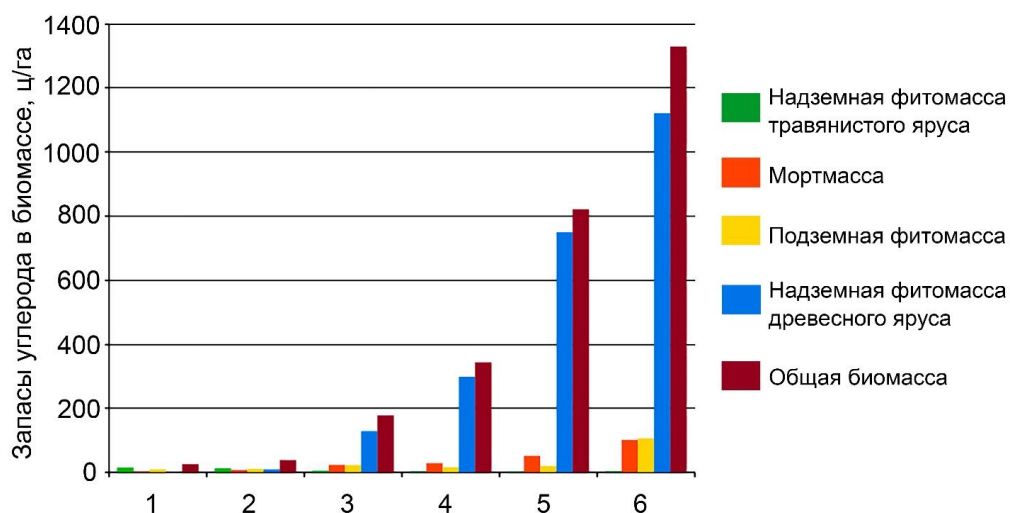


Рисунок 9 - Изменение запасов углерода на единицу площади в зависимости от стадии лесовосстановления на участке карбоновой фермы модельной территории «Мишкинская». 1-5 — стадии лесовосстановления, 6 — спелый березняк возрастом 50 лет.

## ВЫВОДЫ

1. ГИС-картирование и анализ двух модельных территорий размером 100 км<sup>2</sup> в широколиственно-лесной и лесостепной зонах Башкирского Предуралья показали, что доля пахотных угодий в лесостепной зоне с холмисто-увалистым рельефом была ниже, чем на модельной территории с более выровненным рельефом в широколиственно-лесной зоне. Данное соотношение сохранилось и на заброшенных пахотных угодьях, причем процент площади заброшенной пашни, зарастающей древесными видами, в обеих зонах одинаков и составляет чуть больше половины общей площади залежей. В широколиственно-лесной зоне в древостое зарастающих залежей преобладает *Betula pendula*, а в лесостепной зоне – *Pinus sylvestris*, что связано с большей устойчивостью подроста сосны к засухам и распространением после пожаров.

2. Различия в современном использовании залежной растительности в анализируемых зонах обусловлены текущими потребностями в сенокосных и пастбищных кормах: в широколиственно-лесной зоне выше доля залежей, используемых в качестве сенокосов и пастбищ, а в лесостепной зоне часть залежей использована для создания лесных культур, добычи щебня, а также для распахивки после раскорчевки древостоя.

3. Использование значений яркости красного канала на ранневесенних космоснимках может быть эффективно для оценки текущих и ретроспективных значений проективного покрытия крон древостоя, а лидарная съемка с БПЛА — для оценки наземной биомассы древостоя и запасов в ней углерода.

4. На распространение березняков на заброшенных пахотных землях в широколиственно-лесной зоне Предуралья влияют несколько переменных окружающей среды: совпадение направления преобладающих ветров с направлением распространения семян, высота деревьев-источников семян и выпас скота. Совпадение направления преобладающих ветров с направлением распространения семян у сосны играет меньшую роль чем у березы, что связано с большей массой семян сосны по сравнению с семенами березы. В целом выявлены две зависимости между выживаемостью сеянцев и расстоянием до семенных деревьев: (1) распространение семян и плотность сеянцев уменьшаются с увеличением расстояния до семенного дерева и (2) вероятность выживаемости семян/саженцев увеличивается из-за снижения конкуренции.

5. Содержание углерода в стволовой древесине березы и в травяном ярусе не зависело от стадий сукцессии, что во многом соответствует литературным данным. В серой лесной почве по мере роста древостоев содержание углерода увеличилось с 2,5 до 4,4%, а в более плодородной темно-серой лесной почве изменялось незначительно. При этом биомасса и депонирование углерода древостоями на пробных площадях, расположенных на темно-серых лесных почвах, было выше, чем на серых лесных почвах.

6. Средняя скорость секвестрации углерода в древостое березы за 25 лет составила 2,7 т/га/год, что позволяет сделать вывод о том, что залежи с массовым лесовозобновлением древесных видов являются эффективными естественными резервуарами для накопления углерода.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки

1. Федоров Н.И., Широких П.С., Мартыненко В.Б., **Туктамышев И.Р.** Использование зимних и ранневесенних космоснимков для оценки проективного покрытия березняков на залежах // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2022. – №. 59. – С. 110-127.

2. Широких П.С., Федоров Н.И., **Туктамышев И.Р.**, Бикбаев И.Г., Мартыненко, В.Б. Закономерности лесовосстановительных сукцессий на заброшенных сельскохозяйственных землях Башкирского Предуралья // Экология. – 2023. – №. 3. – С. 179-187.

3. Баишева Э.З., Федоров Н.И., Жигунова С.Н., Широких П.С., Комиссаров М.А., Габбасова И.М., Мулдашев А.А., Бикбаев И.Г., **Туктамышев И.Р.**, Шендель Г.В., Сулейманов Р.Р., Гарипов Т.Т. Продуктивность растительности и запасы углерода в луговой степи на залежи в Башкирском Предуралье (Южно-Уральский регион) // Юг России: экология, развитие. – 2023. – Т. 18. - №. 4. – С. 64-73.

### Статьи в научных изданиях входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science

4. Fedorov N., Bikbaev I., Shirokikh P., Zhigunova S., **Tuktamyshev I.**, Mikhaylenko O., Martynenko V., Kulagin A., Giniyatullin R., Urazgildin R., Komissarov M., Belan L. Estimation of Carbon Stocks of Birch Forests on Abandoned Arable Lands in the Cis-Ural Using Unmanned Aerial Vehicle-Mounted LiDAR Camera // Forests. – 2023. – Vol. 14. – Article 2392. DOI:10.3390/f14122392.

5. Fedorov N., Shirokikh P., Zhigunova S., Baisheva E., **Tuktamyshev I.**, Bikbaev I., Komissarov M., Zaitsev G., Giniyatullin R., Gabbasova I., Urazgildin R., Kulagin A., Suleymanov R., Gabbasova D., Muldashev A., Maksyutov S. Dynamics of Biomass and Carbon Stocks during Reforestation on Abandoned Agricultural Lands in Southern Ural Region // Agriculture. – 2023. – Vol. 13. №. 7. – P. 1427. DOI:10.3390/agriculture13071427.

6. Fedorov N., **Tuktamyshev I.**, Bikbaev I., Shirokikh P., Zhigunova S., Baisheva E., Martynenko V. Spatiotemporal dynamics of *Betula pendula* crown cover on abandoned arable land in a broad-leaved forest zone of Bashkir Cis-Ural // Forests. – 2024, Vol. 15. – Article 34. DOI:10.3390/f15010034.

### Свидетельство о регистрации базы данных

7. Широких П.С., Федоров Н.И., **Туктамышев И.Р.**, Бикбаев И.Г., Шагалиев Р.Д., Белан Л.Н. Содержание углерода в растительности и почве неиспользуемых сельскохозяй-

ственных земель в широколиственно-лесной зоне Республики Башкортостан. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2024620232, 17.01.2024. Заявка от 27.12.2023.

#### **Прочие публикации**

8. **Туктамышев И.Р.**, Широких П.С., Муллагулов Р.Ю. Об информативности спектральных каналов и NDVI спутника ДЗЗ Landsat 5 TM Landsat 7 ETM+ для оценки стадий зарастания леса заброшенных сельскохозяйственных территорий // Экобиотех. – 2021. Т. 4. №. 3. С 178-185.

9. **Туктамышев И.Р.**, Федорова Ю.А., Федоров Н.И., Широких П.С. Закономерности современного использования заброшенных сельскохозяйственных земель в широколиственно-лесной и лесостепной зонах Республики Башкортостан // Экобиотех. – 2022. – Т. 5. - № 3. – С. 152-160.

10. **Туктамышев И.Р.** Пространственные закономерности формирования березняков на залежах в широколиственно-лесной зоне Башкирского Предуралья // Куражсковские чтения. – 2023. – С. 297-300.

#### **Методические рекомендации**

11. Федоров Н.И., Максютлов Ш.Ш., Широких П.С., Мартыненко В.Б., Баишева Э.З., Мулдашев А.А., Жигунова С.Н., Бикбаев И.Г., **Туктамышев И.Р.**, Сулейманов Р.Р., Габбасова И.М., Комиссаров М.А., Сулейманов А.Р., Кулагин А.Ю., Зайцев Г.А., Гиниятуллин Р.Х., Уразгильдин Р.В., Гладких С.А., Рабаев Р.У., Белан Л.Н., Туктарова И.О., Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Шагалиев Р.Д., Бахтиярова Р.С., Арасланова Л.Х., Сайфуллин И.Ю., Вильданов И.Р., Витценко А.Ю., Русаков И.А., Нагаев Э.М., Купавых В.А., Барышников С.Н., Фирстов А.О. Методические рекомендации по оценке депонирования углерода репрезентативными экосистемами Республики Башкортостан. Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфимский институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН. – 2023. – 50 с.

**ТУКТАМЫШЕВ ИЛЬШАТ РИНАТОВИЧ**

**ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ  
ЭКОСИСТЕМ НА НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПАШНЯХ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

1.5.15. Экология (биологические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Подписано в печать 25.09.2025 г.  
Формат 60х90 1/16. Бумага офсетная.  
Отпечатано на цифровом оборудовании в типографии ООО «Принт+»,  
450054, г. Уфа, ул. пр-т. Октября, 71.  
Заказ №56. Тираж 100 экз.